



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DISEÑO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UN APARCAMIENTO DE BICICLETAS DE DOBLE ALTURA SEGURO Y AUTOSUFICIENTE

Autor: Rodrigo Basante Moreno

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Madrid

Agosto de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

***Diseño y estudio de la viabilidad de un aparcamiento de bicicletas de
doble altura seguro y autosuficiente***

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 20/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Rodrigo Basante Moreno

Fecha: 28/08/2021

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'R' followed by 'Basante' and a small mark at the end.

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Fuertes Kronberg

Fecha: 29/08/2021

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'C' followed by 'Fuertes' and 'Kronberg' in a cursive script.

Proyecto Fin de Máster

DISEÑO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UN APARCAMIENTO DE BICICLETAS DE DOBLE ALTURA SEGURO Y AUTOSUFICIENTE

**Presentado por D. Rodrigo Basante Moreno para la obtención del título de
Ingeniero Superior Industrial.**

Director: Carlos Fuertes Kronberg

Coordinador: José Ignacio Linares Hurtado



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales ICAI

Madrid

Agosto de 2021

DISEÑO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UN APARCAMIENTO DE BICICLETAS DE DOBLE ALTURA SEGURO Y AUTOSUFICIENTE.

Autor: Basante Moreno, Rodrigo.

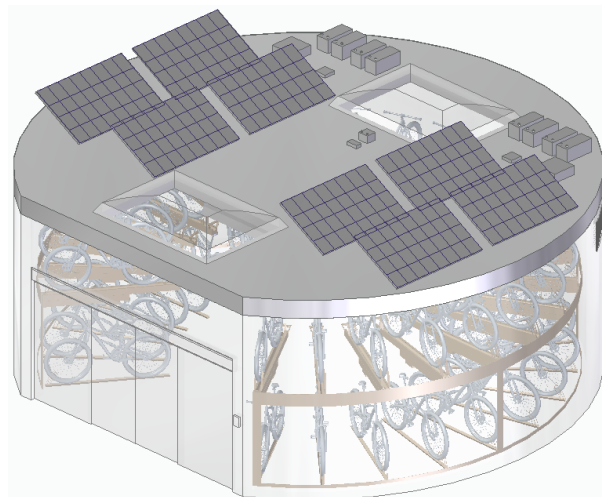
Director: Fuertes Kronberg, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se lleva a cabo la optimización, diseño y viabilidad de un aparcamiento de bicicletas de doble altura con capacidad para 40 plazas. El aparcamiento cuenta con dos sistemas de obtención de energía para su autoconsumo.

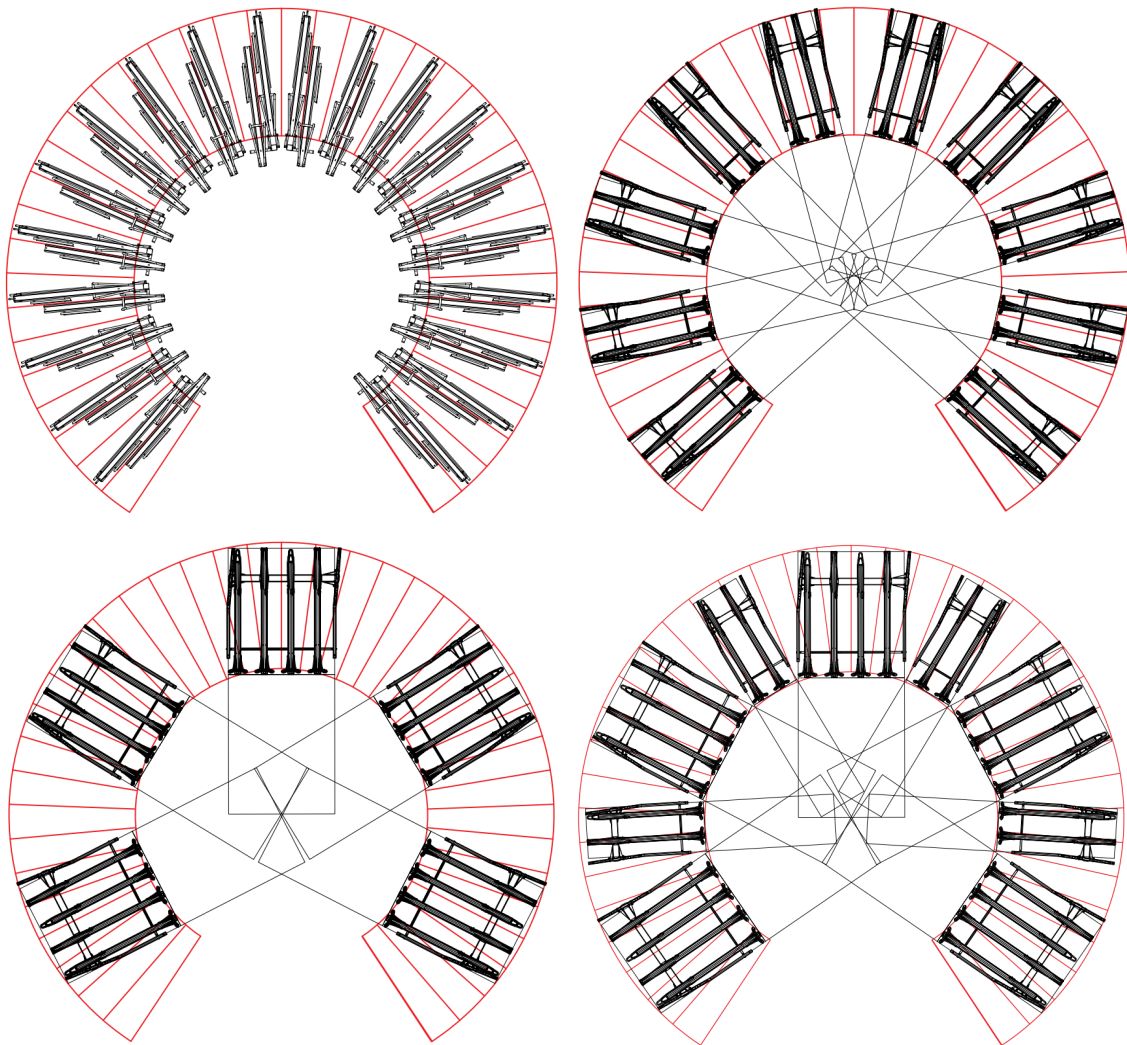
El acceso al parking es mediante una puerta automática y su entrada está regulada por código QR. El usuario deberá estar registrado en la App que ofrece Don Cicleteo para la elección de la tarifa deseada en función del tiempo de reserva. A continuación se muestra una imagen orientativa de la apariencia del aparcamiento.



Hay 10 cargadores eléctricos distribuidos en dos grupos de 5. Cada grupo se sitúa en un lado diferente de la entrada según se accede al parking. Cada cargador proporciona 460 W de potencia a cada bicicleta conectada, permitiendo su carga de hasta el 100 % en mejor de los casos y del 23.22 % en caso de mayor demanda.

La geometría del parking es circular para optimizar el espacio. Se tienen en cuenta las dimensiones estándar que ocupan los módulos de doble altura (obtenidos de un proveedor) para establecer el distanciamiento entre módulos.

Existen 4 posibles distribuciones:



En la primera distribución (arriba izda.) se logra una estética más distribuida de módulos, habiendo un espacio entre ellos estrecho. En la segunda (arriba dcha.) se tienen módulos 2+2 con una distancia entre módulos más razonable, y por lo tanto mayor comodidad. Esta distribución no es suficiente como para admitir taquillas entre módulos. Por otro lado, en la tercera distribución (abajo izda.) los módulos seleccionados son 4+4 y el distanciamiento entre ellos brinda un espacio suficiente como para introducir taquillas entre ellos. Estas 3 distribuciones proporcionan un total de 40 plazas.

Por otro lado y si la intención es maximizar el número de plazas, existe la opción de combinar módulos 2+2 y 4+4 (abajo dcha.) para lograr 56 plazas de aparcamiento. En cuyo caso la separación entre cada módulo se reduce a la mínima distancia posible y la incorporación de taquillas es inviable.

El usuario normalmente lleva casco y complementos para el uso de la bicicleta como guantes, pasamontañas, botellín de agua, objetos que se llevan dentro de la cesta (en caso de tener), luces extraíbles, batería adicional (en caso de bicicleta eléctrica), etc. Por lo tanto en este proyecto se escoge la distribución con módulos 4+4 y se instalan cuatro módulos de taquillas entre módulos de bicicletas (40 taquillas en total).

El cálculo de la iluminación del aparcamiento se ha realizado en base a la normativa UNE 12464.1, en la que se indica que bajo las condiciones y dimensiones del aparcamiento se requieren 75 lux.

La demanda de energía del aparcamiento consta de los cargadores eléctricos, las luminarias, la puerta automática, el sensor de movimiento y el sensor fotoeléctrico. El sistema de obtención de energía del parking está formado por dos subsistemas. Cada subsistema alimenta a 5 cargadores eléctricos. Además, el sistema de obtención de energía 1 alimenta a una batería adicional destinada para las luminarias, el sensor de movimiento y el fotoeléctrico. El sistema de obtención de energía 2 por otro lado alimenta a las baterías de la puerta automática.

La estructura del parking se realiza en base al Código Técnico de la Edificación CTE. Los perfiles (pilares y vigas) son de acero estructural S275 y las barras para armar cimentaciones y pilares acero B 400 S. El forjado está formado por losas mixtas de chapa colaborante pre-fabricadas y las zapatas son de hormigón pre-fabricado armado en la propia obra. Se analizan las cargas y esfuerzos de los elementos situados en el techo del aparcamiento y se dimensiona la estructura en todos sus aspectos. Por último se comprueba que cada componente estructural cumple con la normativa.

Se desarrolla un presupuesto conforme a los productos de proveedores, conexionado del sistema eléctrico así como los materiales utilizados en la obra y su respectiva mano de obra.

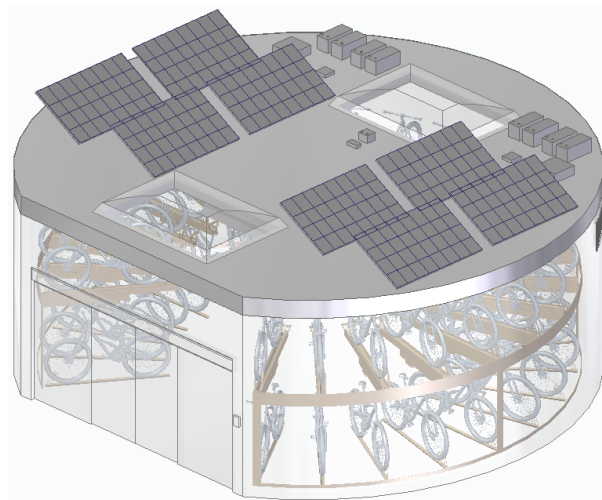
En el estudio económico se contemplan distintos escenarios para la rentabilidad del aparcamiento. Se realiza un análisis de sensibilidad en el que se desglosa el caso más favorable, el más desfavorable, punto de equilibrio y una comparación de la rentabilidad según cómo se desee desarrollar el proyecto.

DESIGN AND FEASIBILITY STUDY OF A SAFE AND SELF-SUFFICIENT DOUBLE-HEIGHT BICYCLE PARKING FACILITY.

PROJECT SUMMARY

This project involves the optimization, design and feasibility of a double-height bicycle parking lot with a capacity of 40 parking spaces. The parking has two systems to obtain energy for self-consumption.

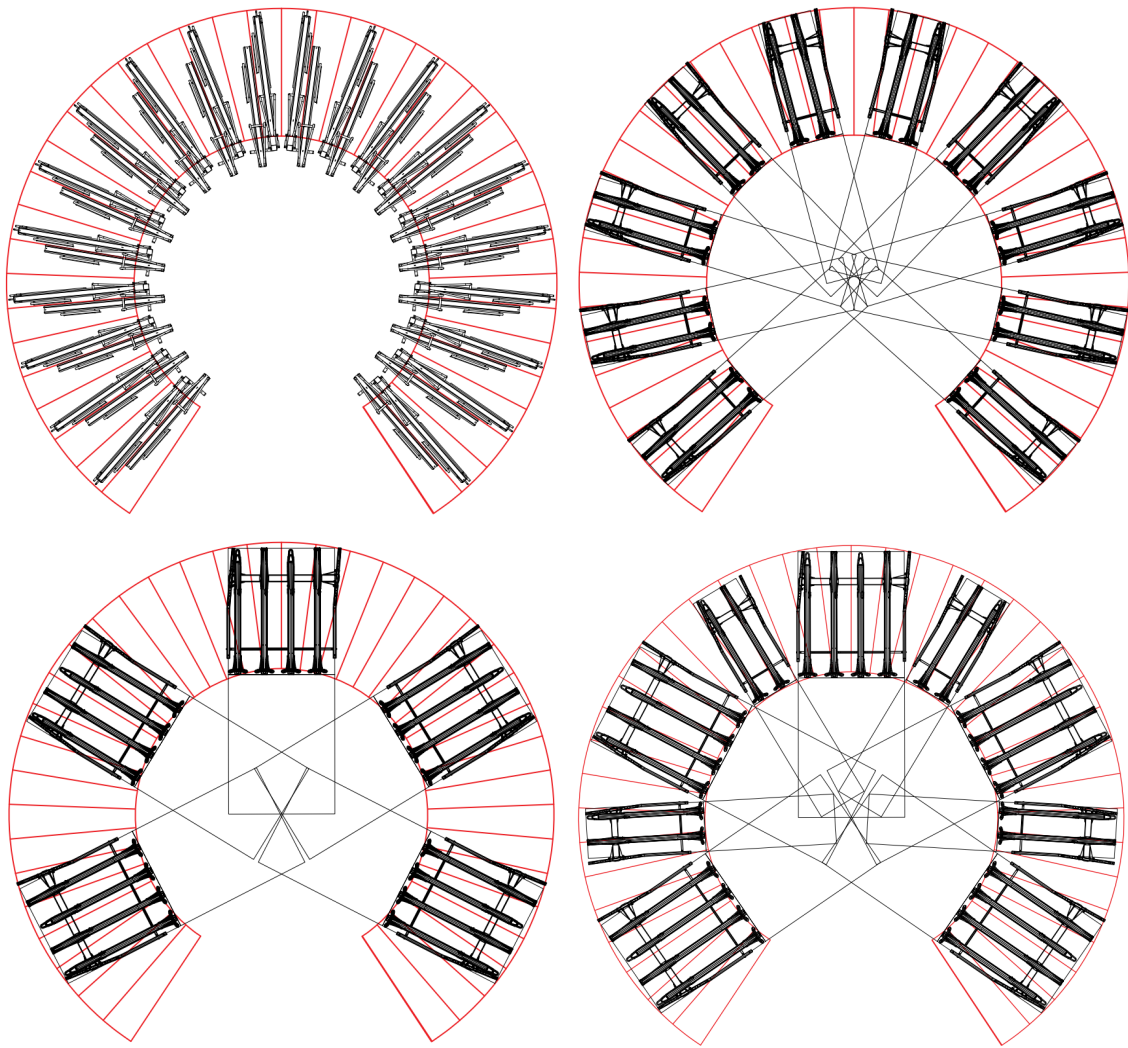
Access to the parking is through an automatic gate and its entrance is regulated by QR code. The user must be registered in the App offered by Don Cicleteo to choose the desired rate depending on the reservation time. Below is an indicative image of the appearance of the parking lot.



There are 10 electric chargers distributed in two groups of 5. Each group is located on a different side of the entrance as the parking lot is accessed. Each charger provides 460 W of power to each connected bicycle, allowing it to be charged up to 100% at best and 23.22% at highest demand.

The geometry of the parking lot is circular to optimize space. The standard dimensions of the double-height modules (obtained from a supplier) are taken into account to establish the distance between modules.

There are 4 possible layouts:



In the first layout (top left) a more distributed aesthetic of modules is achieved, there being a narrow spacing between them. In the second one (top right) there are 2+2 modules with a more reasonable distance between modules, and therefore more comfort. This layout is not sufficient to accommodate lockers between modules. On the other hand, in the third distribution (bottom left) the selected modules are 4+4 and the distance between them provides enough space to introduce lockers between them. These 3 distributions provide a total of 40 places.

However, if the intention is to maximize the number of parking spaces, there is the option of combining modules 2+2 and 4+4 (bottom right) to achieve 56 parking spaces. In this case, the separation between each module is reduced to the minimum possible distance and the incorporation of lockers is unfeasible.

The user normally carries a helmet and accessories for the use of the bicycle such as gloves, balaclava, water bottle, objects to be carried in the basket (if any), removable lights, extra battery (in case of electric bicycle), etc. Therefore, in this project a 4+4 module layout is chosen and four locker modules are installed between bike modules (40 lockers in total).

The calculation of the parking lot lighting has been made based on the UNE 12464.1 standard, which indicates that under the conditions and dimensions of the parking lot, 75 lux are required.

The energy demand of the parking lot consists of the electric chargers, the luminaires, the automatic door, the motion sensor and the photoelectric sensor. The parking lot power supply system consists of two subsystems. Each subsystem powers 5 electric chargers. In addition, the power supply system 1 supplies an additional battery for the luminaires, the motion sensor and the photoelectric sensor. Power supply system 2 on the other hand supplies the batteries for the automatic door.

The structure of the parking lot is based on the Technical Building Code CTE. The profiles (pillars and beams) are made of S275 structural steel and the reinforcing bars for the foundations and pillars are made of B 400 S steel. The slab is made of pre-fabricated composite slabs and the footings are pre-fabricated concrete reinforced on site. The loads and stresses of the elements located on the roof of the parking lot are analyzed and the structure is dimensioned in all its aspects. Finally, each structural component is checked for compliance with regulations.

A budget is developed according to the suppliers' products, electrical system connections as well as the materials used in the work and their respective labor.

The economic study contemplates different scenarios for the profitability of the parking lot. A sensitivity analysis is carried out in which the most favorable case, the most unfavorable case, the break-even point and a comparison of the profitability depending on how the project is to be developed are broken down.

Tabla de contenido

NOTACIONES Y UNIDADES	XIII
ESQUEMA VISUAL Y ELEMENTOS RELEVANTES	XV
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ESTADO DEL ARTE	3
2.1 MERCADO DE BICICLETAS	4
2.2 LA BICICLETA: ASIGNATURA PENDIENTE EN ESPAÑA	5
2.3 ATRIBUTOS DE LA BICICLETA	6
2.3.1 <i>Palabra más relacionada con bicicleta</i>	6
2.3.2 <i>Principales ventajas y desventajas de montar bicicleta</i>	7
2.3.2.1 Ventajas	7
2.3.2.2 Desventajas	7
2.4 USO DE LA BICICLETA EN ESPAÑA	8
2.5 BRECHA CICLISTA ENTRE HOMBRES Y MUJERES	9
2.6 MOTIVOS POR LOS QUE NO SE UTILIZA LA BICICLETA	11
2.6.1 <i>Robo de bicicletas</i>	12
2.6.1.1 Medidas de prevención de robo	14
2.7 ESTRATEGIA ESTATAL POR LA BICICLETA	15
2.8 APARCAMIENTOS	16
3 CONDICIONES GENERALES	19
3.1 DISEÑO	19
3.1.1 <i>Elección de módulos del aparcamiento</i>	20
3.1.1.1 Posibles distribuciones y encajes de módulos	21
3.1.1.1.1 Distribución circular en módulos individuales	21
3.1.1.1.2 Distribución uniforme en módulos 2+2	22
3.1.1.1.3 Distribución uniforme en módulos 4+4	23
3.1.1.1.4 Distribución uniforme con combinación de módulos	24
3.1.1.2 Justificación de la elección	24
3.1.2 <i>Distribución de componentes del techo</i>	26
3.1.3 <i>Representación del aparcamiento completo</i>	28
3.2 ACCESO AL PARKING Y SALIDA	32
3.3 LISTA DE PROVEEDORES	33

4	CÁLCULO DE LA ILUMINARIA	34
4.1	PARÁMETROS Y CÁLCULOS PREVIOS.....	34
4.2	CÁLCULO DEL NÚMERO DE LUMINARIAS	37
4.3	CONDICIONES ADICIONALES Y COMPROBACIONES	37
4.3.1	<i>Separación máxima entre luminarias</i>	<i>37</i>
4.3.2	<i>Verificación VEEI</i>	<i>38</i>
4.3.3	<i>Verificación de la iluminación</i>	<i>39</i>
4.4	REGULACIÓN DE LA LUZ	40
4.5	ALIMENTACIÓN Y BATERÍA PARA LA ILUMINARIA	41
4.5.1	<i>Alimentación de sensores de movimiento y fotoeléctrico</i>	<i>42</i>
4.5.2	<i>Ejemplo iluminaria escogida.....</i>	<i>42</i>
5	GENERACIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA	43
5.1	SISTEMA DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA.....	43
5.1.1	<i>Elementos y conexionado</i>	<i>43</i>
5.1.1.1	Datos del sistema	43
5.1.2	<i>Instalación óptima de las placas solares</i>	<i>44</i>
5.1.2.1	Orientación	45
5.1.2.2	Ángulo de inclinación	45
5.1.2.3	Ejemplo	46
5.1.2.4	Propuesta de instalación	46
5.2	CONSUMO DE ENERGÍA	48
5.2.1	<i>Cargadores eléctricos</i>	<i>48</i>
5.2.1.1	Número de cargadores eléctricos	48
5.2.1.2	Estudio de utilización de energía	49
5.2.1.2.1	Caso batería PowerPack 400 Wh	50
5.2.1.2.2	Caso batería 700 Wh.....	50
5.2.1.3	Conclusión.....	51
5.2.2	<i>Iluminación</i>	<i>51</i>
5.2.3	<i>Puerta automática.....</i>	<i>51</i>
5.2.4	<i>Sensores fotoeléctrico y de movimiento</i>	<i>51</i>
6	CONEXIONADO ELÉCTRICO	52
6.1	CONEXIONADO A LOS SISTEMAS DE CONSUMO	52
6.2	ESQUEMA UNIFILAR	54
6.3	PUESTA A TIERRA.....	55

7	ESTRUCTURA	57
7.1	NORMATIVAS Y VALORES	57
7.2	PREVISUALIZACIÓN DEL DISEÑO	58
7.3	FORJADO	59
7.4	CARGAS.....	59
7.4.1	<i>Puntuales</i>	60
7.4.1.1	Elementos del techo.....	60
7.4.1.2	Cargas permanentes o transitorias	60
7.4.2	<i>Distribuidas</i>	60
7.4.2.1	Peso propio de la estructura	61
7.4.2.2	Carga del viento	61
7.4.2.3	Carga de nieve.....	61
7.4.2.4	Sobrecarga de uso	61
7.5	DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES	62
7.6	CIMENTACIÓN	63
7.6.1	<i>Placas de anclaje</i>	63
7.6.2	<i>Zapatas</i>	64
7.7	CERRAMIENTO.....	65
7.8	ESFUERZOS Y COMPROBACIONES E.L.U	66
7.8.1	<i>Pilares</i>	66
7.8.2	<i>Vigas</i>	68
7.9	RESUMEN DE PERFILES.....	69
8	MANTENIMIENTO.....	70
9	PRESUPUESTO	73
9.1	PRODUCTOS.....	73
9.2	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	74
9.3	MANO DE OBRA DE PRODUCTOS.....	76
9.4	COSTE TOTAL.....	76
10	ESTUDIO ECONÓMICO	77
10.1	RENTABILIDAD	77
10.1.1	<i>Caso más favorable</i>	78
10.1.2	<i>Caso más desfavorable</i>	79
10.1.3	<i>Punto de equilibrio (break-even point)</i>	80
10.1.4	<i>Comparación de rentabilidad</i>	80
10.2	VIABILIDAD	82

11	BIBLIOGRAFÍA	83
12	ÍNDICE DE IMÁGENES	90
13	ÍNDICE DE TABLAS.....	92
14	ANEXOS	93
15	PLANOS	95

Notaciones y unidades

<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>
d_m	Distancia mínima entre módulos	mm
S	Superficie interior del parking	m ²
p	Perímetro interior del parking	m
r	Radio interior del parking	m
H	Altura interior del aparcamiento	m
d_1	Distancia techo-luminaria	m
d_2	Distancia suelo-sillín bicicleta	m
h	Distancia entre luminaria y plano de trabajo	m
K	Índice del local	-
f_m	Factor de mantenimiento	-
a	Lado genérico 1 de un cuadrángulo	m
b	Lado genérico 2 de un cuadrángulo	m
E_m	Nivel de iluminación media	lux = lm/m ²
ρ	Coeficiente de reflexión	-
C_u	Factor de utilización	-
Φ	Flujo lumínico	lm
Φ_T	Flujo lumínico total requerido en el parking	lm
Φ_{lum}	Flujo lumínico suministrado por una luminaria	lm
P	Potencia	W
P_{max}	Potencia máxima	W
$P_{cargador}$	Potencia de un cargador	W
e_f	Eficacia luminosa	lm/W
N	Nº bicicletas eléctricas cargando	-
U	Tensión de servicio	VAC
$VEEI$	Valor de eficiencia energética de la instalación	W/m ²
e	Distancia máxima entre luminarias	m
E	Energía	Wh
Q_{bat}	Carga eléctrica batería iluminarias (12 V)	Ah
$Q_{sensor\ mov}$	Carga eléctrica del sensor de movimiento	Ah
$Q_{sensor\ foto}$	Carga eléctrica del sensor fotoeléctrico	Ah
α	Ángulo de inclinación óptimo de placas solares	°
α^*	Ángulo de inclinación escogido de placas solares	°
N_c	Nº de bicicletas eléctricas conectadas a cargadores	-
t	Tiempo de energía suministrada a cargadores	h
q_e	Presión estática	kN/m ²
γ_c	Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón	-
γ_s	Coeficiente de minoración de la resistencia del acero	-
β_x	Coeficiente de pandeo en eje X	-
β_y	Coeficiente de pandeo en eje Y	-
N	Esfuerzo sobre perfil	kN
M_{xx}	Momento flector en eje X	kN·m
M_{yy}	Momento flector en eje Y	kN·m
Q_x	Esfuerzo cortante en X	kN
Q_y	Esfuerzo cortante en Y	kN
N_c	Resistencia a compresión	%
M_y	Resistencia a flexión eje Y	%
M_z	Resistencia a flexión eje Z	%

V_Y	Resistencia a corte Y	%
V_Z	Resistencia a corte Z	%
$NM_Y M_Z$	Resistencia a flexión y axil combinados	%
$M_t V_Z$	Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados	%
$M_t V_Y$	Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados	%
$M.O$	Mano de obra	€

Tabla 1: Tabla de símbolos

Abreviatura	Descripción
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la salud
AMBE	Asociación de Marcas y Bicicletas de España
CONAMA	Congreso Nacional de Medio Ambiente
GESOP	Gabinete de Estudios Sociales y Opinión Pública
RCxB	Red de Ciudades por la Bicicleta
MITMA	Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
LEED	Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental
DB HE	Documento Básico de Ahorro de Energía
UNE	Una Norma Española
UGR	Unified Glare Rating
REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB	Documento Básico
EHE	Instrucción Española del Hormigón Estructural
E.L.U	Estado Límite Último
PEM	Producto Ejecución Material
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión

Tabla 2: Tabla de abreviaturas

Esquema visual y elementos relevantes

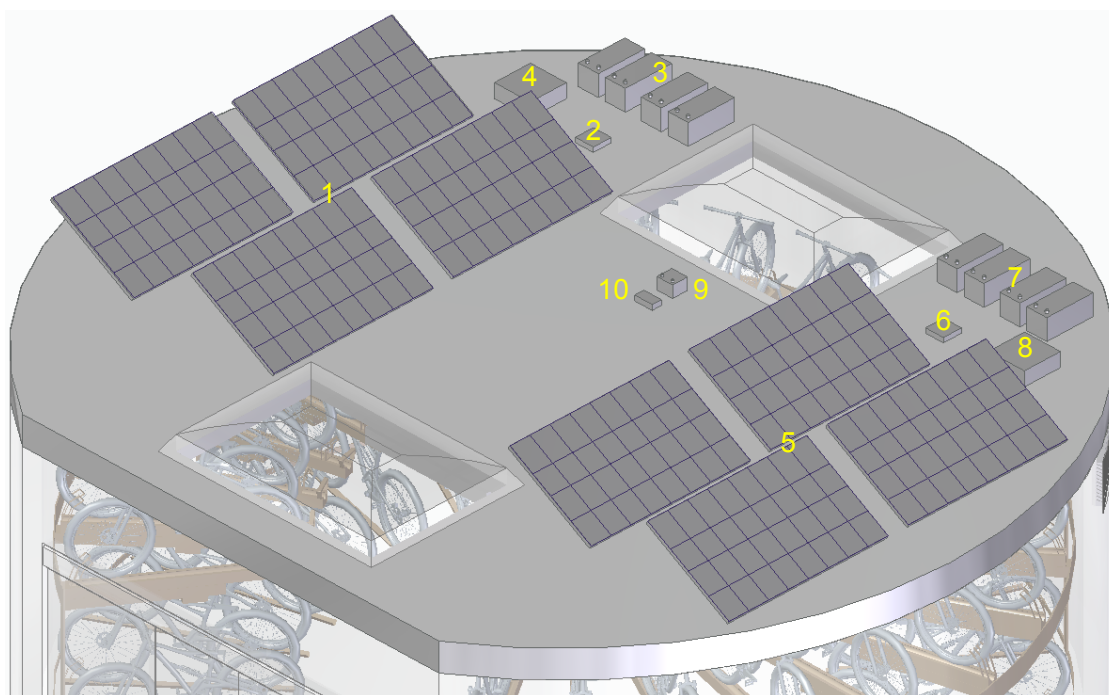


Imagen 0-1: Representación visual de los objetos más mencionados en el documento

LEYENDA	DESCRIPCIÓN
1	Set paneles solares 1
2	Regulador 1
3	Set baterías 1
4	Convertidor 1
5	Set paneles solares 2
6	Regulador 2
7	Set baterías 2
8	Convertidor 2
9	Batería luminarias
10	Convertidor luminarias

Tabla 3: Leyenda descriptiva

Set paneles solares 1 y 2 → 4 placas solares (360 W) en serie

Set baterías 1 y 2 → 4 baterías (12 V 200 Ah) en serie

El conjunto 1, 2, 3 y 4 se denomina **sistema de obtención de energía 1**.

El conjunto 5, 6, 7 y 8 se denomina **sistema de obtención de energía 2**.

1 Introducción

En este proyecto se lleva a cabo el diseño, estudio y viabilidad de un aparcamiento de bicicletas de doble altura seguro y autosuficiente. Contiene hasta 40 plazas individuales (10 con posibilidad de carga para bicicletas eléctricas). El acceso al parking será privado. El diseño es viable para cualquier ciudad dentro de la nación española e incluso puede contemplarse en localidades fuera de ella.

No sólo se busca contribuir en la comodidad del sector de la movilidad urbana, sino que también se busca invitar al usuario de la bicicleta a hacer mayor uso de ella, sin miedo a que sea robada o dañada. Además, se garantiza el cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).



Imagen 1-1: Objetivos de desarrollo sostenible cumplimentados en este proyecto [1]

- La bicicleta forma parte del transporte activo. Además ha sido, es y seguirá siendo el medio de transporte más saludable y beneficioso para desplazarse en distancias cortas. Su uso lleva implícito numerosos beneficios de salud (física y mental) y bienestar como reducción de estrés, mejora en el sistema inmunológico, reducción de celulitis, mejora del estado de forma, etc. [2]
- El diseño innovador del aparcamiento se ajusta a los requisitos propios de una correcta organización de infraestructura, conllevando una mejor comunicación y aprovechamiento del espacio, además de un mayor control del aparcamiento de bicicletas en ciudades.

- Se utiliza la energía renovable fotovoltaica para el autoconsumo del aparcamiento mediante placas solares en la superficie del tejado. Es decir, no se depende de fuentes externas de energía y se incrementa el fomento de comunidades sostenibles.
- La bicicleta es un medio de transporte que no genera ruido, no consume combustible ni contamina. Su uso ahorra alrededor de 2.5 kg de CO₂ por cada litro de gasolina consumido por un automóvil [3], contribuyendo enormemente en la reducción del cambio climático y fomentando la acción por el clima.

Con la realización de este proyecto se intenta incentivar un mayor control y orden del aparcamiento de bicicletas en las calles de las ciudades. Especialmente en aquellas cuya mayoría de usuarios recurren a la bicicleta como medio para transportarse (Ámsterdam, Copenhague, etc.).

El aparcamiento cuenta con una distribución interior que brinda al usuario comodidad al aparcar y desapparcar, además de proporcionar espacio para depositar objetos personales mediante taquillas privadas.

Una zona ideal de construcción para el aparcamiento es lejana de edificios altos, árboles o cualquier objeto que impida el aprovechamiento de la luz solar.

2 Estado del arte

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mitad de los desplazamientos urbanos en coche son de distancias menores a 3 km.

El transporte urbano influye de manera positiva en la salud de las personas y facilita la movilidad. Entre estos medios de transporte destaca la bicicleta. Bajo varios estudios, la bicicleta es uno de los medios de transporte más sanos física y mentalmente. El Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal, 2018) afirma que la bicicleta como medio para transportarse es el que mayor beneficio proporciona, entre ellos un estilo de vida saludable.

El transporte activo es esencial en la sociedad, y cuanto más diverso sea mejor. Toda persona necesita un medio de transporte en su vida y resulta complicado elegir aquel que mejor se adapte a la situación individual de cada uno. Incluso para cortos desplazamientos, algunos optan por las opciones que aparentemente resultan más cómodas, como los vehículos de motor (coches, motocicletas, transporte público, etc.).

Aunque actualmente prima la multimodalidad en el transporte, existen países europeos como Holanda y Dinamarca que ya cuentan con una elevada densidad de población que escoge la bicicleta como medio de transporte más común.

Hoy en día resulta difícil evitar el hurto de una bicicleta aparcada en la vía pública. En ocasiones se roban completas o por partes, así que ni el mejor candado existente garantiza al usuario encontrar su bicicleta completa. Lamentablemente existen muchos métodos de robo que obligan al usuario a usar bicicletas de gama baja-media.

Aquellos amantes de las bicicletas que tengan una de mejores prestaciones se limitan a usarla únicamente para hacer ejercicio o hacer un viaje continuado sin aparcar, ya que candelarla supone un riesgo que no están dispuestos a correr. Por ello, el desarrollo de un aparcamiento de bicicletas cerrado y seguro ofrece al usuario una mayor tranquilidad en el uso de su bicicleta de calidad.

A continuación se da una perspectiva sobre el mercado de bicicletas y se pone en contexto su uso actual en España, comentando la información relevante sobre el robo de éstas. Se comentará también acerca del actual estado y los propósitos de los aparcamientos destinados a guardar bicicletas. Se analizará la nueva estrategia estatal por la bicicleta para el periodo 2020-2025 y el informe de la Asociación de Marcas y Bicicletas de España (AMBE).

2.1 Mercado de bicicletas

El uso de la bicicleta aumenta con los años, y consecuentemente aumenta también el número de usuarios y bicicletas. El Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) en el recinto ferial de IFEMA (Madrid) alegó en un acto con el presidente de la Red de Ciudades por la Bicicleta (RCxB), Antoni Poveda, y la directora de GESOP, Àngels Pont, que durante la pandemia del coronavirus han surgido 700 000 nuevos usuarios de la bicicleta [4]. Esto no sorprende ya que mucha gente ha decidido ser responsable y abandonar el uso de medios de transporte como vehículos o transporte público en los que se está en contacto con otras personas. Así se reduce el riesgo de propagación del virus.

El efecto del confinamiento generado por el Covid-19 ha permitido al sector de la bicicleta, especialmente al eléctrico, a batir todos los récords de ventas en España.

Según la AMBE, 2020 es el año en el que se ha batido el récord de venta de bicicletas en el territorio español, con una cifra de más de 1.5 millones de unidades (24.1 % más que el año anterior). Muchos de los nuevos usuarios de la bicicleta son consumidores de bicicletas eléctricas. De hecho, en España se han vendido más de 200 000 bicicletas eléctricas en el año 2020, aumentando en un 48.9 % las ventas respecto al año 2019. Los ingresos en el sector han sido superiores a los 2 600 millones de euros y serán de enorme ayuda para el nuevo plan estatal de fomento del uso de la bicicleta. [5]

La bicicleta eléctrica ha adquirido notable protagonismo en el último año. El precio medio de la bicicleta en España ha aumentado hasta 865 € principalmente porque las bicicletas eléctricas cuestan de media 2 648 €. [5]

La bicicleta estrella por cantidad demandada es claramente la de montaña (*mountain bike*), siendo el 66 % del total de usuarios ciclistas los que disponen de este modelo, por delante de la bicicleta urbana (plegable, de paseo...).

España cuenta con 2 981 puntos de venta, reparación o alquiler de bicicletas. También hay 339 empresas en el sector ciclista, de las cuales 168 son fabricantes nacionales. Entre tiendas, talleres, fábricas y puntos de alquiler de bicicletas, España da trabajo a hasta 22 572 personas en el sector. [5]

2.2 La bicicleta: asignatura pendiente en España

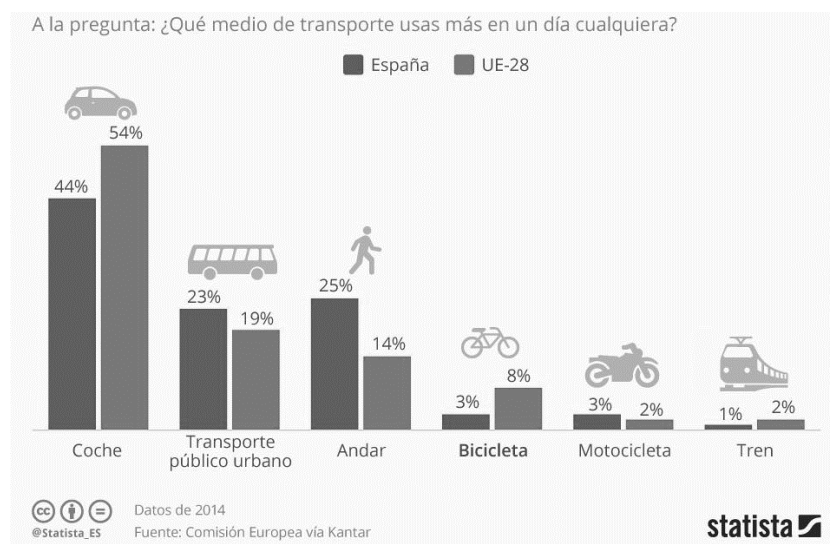


Imagen 2-1: Estadística de frecuencia del medio de transporte utilizado en España y UE [6]

Pese a que los datos sean del año 2014, España tiene pendiente incrementar el uso de la bicicleta frente a Europa. En el uso del automóvil estamos 10 % por debajo que la EU y 4 % por arriba en el uso de transporte público; ambos aspectos positivos ya que esto supone una reducción en el uso de vehículos particulares y por lo tanto menos emisiones. También lideramos la media en el número de viandantes.

Aunque contamos con un retraso frente al resto de Europa, en España ya se ha establecido un consenso estatal para desarrollar una estrategia para los años 2020-2025 con el objetivo de fomentar el uso de la bicicleta en el país. En el apartado 2.7 de este documento se hará un desglose sobre la estrategia estatal por la bicicleta en nuestro país.

2.3 Atributos de la bicicleta

2.3.1 Palabra más relacionada con bicicleta

La **salud** siempre ha sido el atributo más destacado. Sin embargo, con la incorporación de las bicicletas eléctricas y la actual preocupación por el medio ambiente, otros atributos como la **movilidad** y el **medio ambiente (sostenibilidad)** han adquirido bastante importancia en los últimos años.

En la siguiente gráfica puede apreciarse el crecimiento de hasta casi 10 puntos en el atributo del medio ambiente y de hasta más de 14 puntos en el de la movilidad.

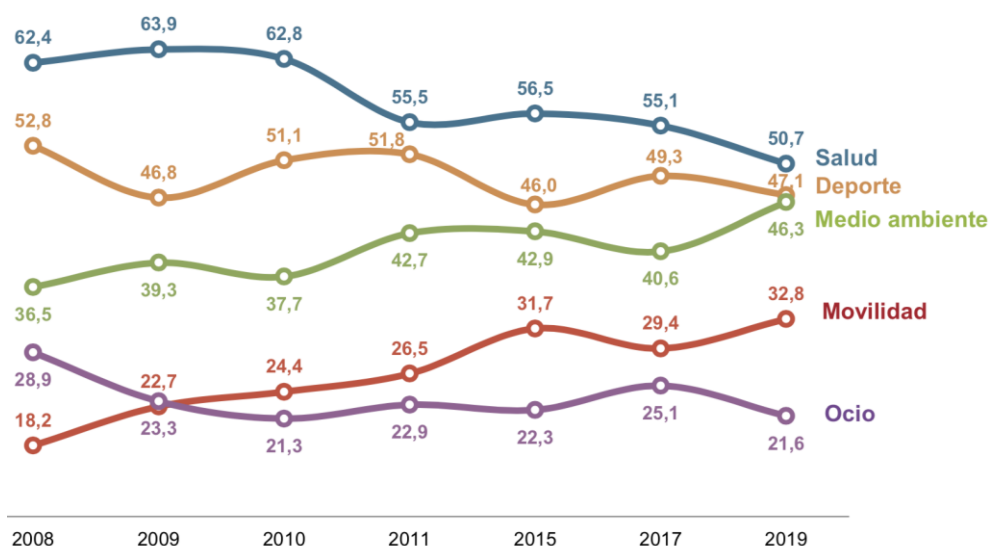


Imagen 2-2: Desarrollo de los atributos de la bicicleta en los últimos años [7]

Es preciso destacar que dentro de la población más activa en el uso de la bicicleta (a diario), un 46.1 % atribuye su uso a la movilidad, por detrás de la salud (59.8 %) y por delante que el medio ambiente (42.5 %). En Barcelona concretamente, el atributo más destacado en los usuarios de la bicicleta no es la salud, sino el medio ambiente. La movilidad queda como cuarto atributo preferido por los barceloneses (por debajo del 40 %).

En la población más joven (12-24 años) se acentúa el deporte como atributo más reconocido con un 52.5 %, seguido del medio ambiente (49 %).

2.3.2 Principales ventajas y desventajas de montar bicicleta

Apenas el 2.3 % de la población escoge andar en bicicleta por ocio y diversión. La mayoría (el 41.1 %) decide hacer uso de ella por salud, el 25.6 % por ecología y el 18.4 % por movilidad. El 6.6 % restante de la población lo hace por economía.

2.3.2.1 Ventajas

Además de las ventajas comentadas en los apartados anteriores, el uso de bicicleta supone un **impacto ambiental positivo** ya que no genera emisiones. En los últimos años el uso de bicicleta ha aumentado debido a la conciencia ecológica de las personas.

La bicicleta es **más rápida** que los vehículos de motor en horas pico de tráfico. La contaminación acústica es nula, son **baratas** y su **mantenimiento es 95 % más económico** que un coche. Además, el **espacio ocupado** por una bicicleta es 18 veces menor que un coche. [8]

Los usuarios más mayores (70-79 años) mencionan el **deporte/ejercicio** como ventaja principal para montar en bicicleta, mientras que los más jóvenes (12-24 años) deciden usarla por **sostenibilidad**. [7]

2.3.2.2 Desventajas

Si preguntamos a los usuarios qué es lo que más temen en el uso de la bicicleta, no sorprende escuchar algunas de las respuestas más repetidas: **tráfico y peligro en la circulación, falta de facilidades (carriles bici), escasez de aparcamientos seguros**. Con los años aumenta la preocupación por el aparcamiento y/o sitio para guardar la bicicleta. Otros factores como el clima pueden suponer una fuerte limitación según la zona geográfica donde se pregunte.

Con la edad aumenta la percepción referente al peligro de montar en bicicleta. Por otro lado, en los más jóvenes esto no tiene tanto peso y aumenta la preocupación por las limitaciones como el clima o considerarse un medio de transporte no lo suficientemente rápido.

Otro dato muy relevante; dependiendo del tamaño del municipio los inconvenientes en el uso de la bicicleta varían. A mayor volumen mayor es el peligro por el tráfico y la circulación. Según el Barómetro de la Bicicleta en España, el 40.5 % de los habitantes de municipios con <10 000 habitantes temen el tráfico y el peligro de la circulación, mientras que en ciudades de >500 000 habitantes, el porcentaje aumenta hasta el 64.2 %. Al revés ocurre con el inconveniente de las limitaciones; para los municipios más pequeños el porcentaje es del 38.7 %, reduciéndose hasta el 22.2 % para las ciudades más grandes.

2.4 Uso de la bicicleta en España

Jesús Freire, secretario general de la AMBE: *"La crisis sanitaria ha acelerado muchos procesos y el sector de la bicicleta se ha beneficiado de la gran demanda social para moverse, disfrutar del ocio y del deporte, de manera más saludable y sostenible"*. [5]

Desde 2017 se ha percibido un aumento en el empleo de la bicicleta por usuarios, especialmente para trayectos cotidianos como ir a estudiar o trabajar (8.6 % y 2.2 % respectivamente). Para estos trayectos la bicicleta ha reemplazado al coche en hasta un 40 %. [9]

Hoy en día, más de 2.3 millones de españoles se plantean hacer uso periódico de este medio de transporte en el próximo año 2022, la mayoría de ellos residentes de ciudades con más de 100 000 habitantes (Madrid, Barcelona, Valencia...), aunque las ciudades con mayor número de ciclistas son Valencia, Sevilla y Zaragoza. [10]

El 22.4 % de la población española utiliza la bicicleta semanalmente, es decir, alrededor de 9 millones de españoles.

Nota importante: el 89.6 % de la población sabe andar en bicicleta, por lo que todo estudio comprende una población demográfica española reducida a 42 millones.

El mayor interés por el uso de la bicicleta surge en las Comunidades Autónomas de Madrid, Cataluña, Comunidad Valencia y Andalucía (ordenadas en orden descendente). Esto se debe al mayor uso de coche como vehículo de transporte. Éste genera más tráfico, lo cual aumenta el tiempo en llegar al destino.

2.5 Brecha ciclista entre hombres y mujeres

El Barómetro de la Bicicleta en España afirma que hoy en día existe un 5 % de hombres que no saben andar en bicicleta, mientras que en mujeres el porcentaje aumenta hasta el 15 %. El estudio ha sido llevado con una muestra $n = 1\,563$ para hombres y $n = 1\,642$ para mujeres. En total, el 10.1 % de la población no sabe montar en bicicleta. Ambos análisis se muestran en dos las imágenes siguientes.

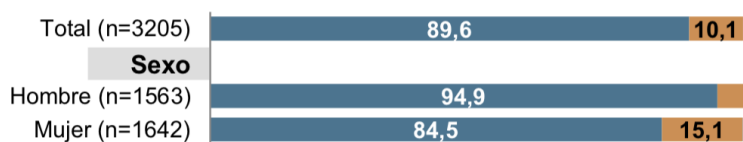


Imagen 2-3: Estadística de estudio sobre población de ciclistas 1 [7]

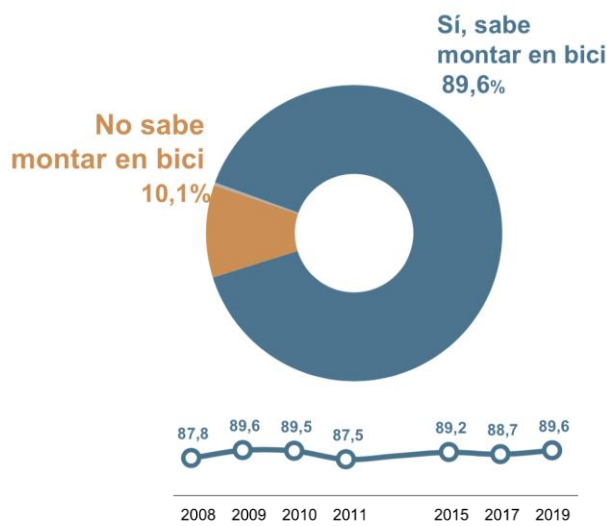


Imagen 2-4: Estadística de estudio sobre población de ciclistas 2 [7]

En el siguiente gráfico se muestra que el usuario de la bicicleta es mayoritariamente joven y masculino, aunque cabe destacar que a partir de los 70 años el 40 % de la población confirma seguir utilizando la bicicleta con alguna frecuencia.

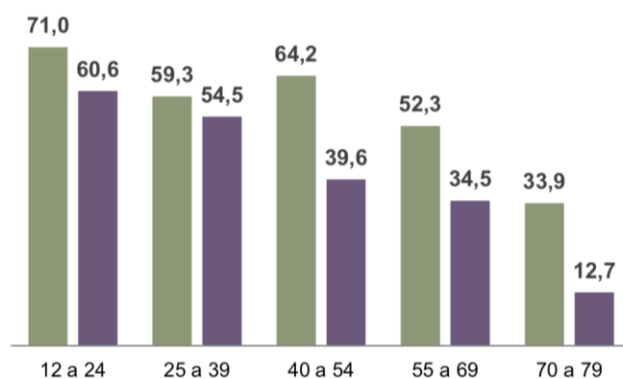


Imagen 2-5: Estadística de usuario de bicicleta según género y edad [7]

Otro dato interesante es que a pesar de que la mayoría de los usuarios sean varones, en los últimos dos años esa cifra se ha mantenido “estable”, mientras que la de las mujeres ha aumentado en hasta 5.4 puntos, como se muestra en el siguiente gráfico.

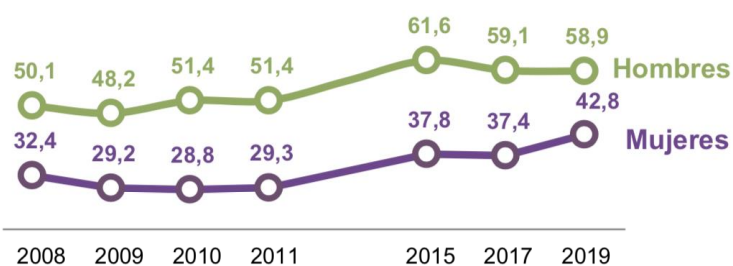


Imagen 2-6: Evolución de los usuarios de la bicicleta según género [7]

En el último año la brecha entre los ciclistas hombres y mujeres se reduce hasta el 16.1.

2.6 Motivos por los que no se utiliza la bicicleta

Las bicicletas “entorpecen” el tráfico de las ciudades. Éste inconveniente ha aumentado hasta 12 puntos en los últimos años [7]. En Sevilla en concreto, el miedo principal del usuario es el miedo al robo, por encima al tráfico motorizado.

La falta de facilidades como la insuficiencia de parking seguros aumenta el riesgo de robo de bicicleta. Especialmente en los usuarios más jóvenes, este miedo por el hurto ha aumentado en los últimos años y es uno de los factores más determinantes por el que no están dispuestos a usar la bicicleta.

Otras razones por las que el usuario no utiliza la bicicleta son: la preferencia de otro método de transporte como el coche (15.6 %), por falta de tiempo (13.1 %) o porque simplemente prefieren caminar (8.6 %).

Por otro lado, en torno al 8,3% tiene problemas de salud o consideran su forma física como un impedimento para su uso. Un 6 % confirma tener pereza o falta de costumbre y por lo tanto prefieren evitar su uso.

El motivo principal en los jóvenes (hasta un 27.6 % entre 12-24 años) es que prefieren otros métodos de transporte. Sin embargo, en las personas de mayor edad (70-79 años), unas de las razones más repetidas son por temas de salud o forma física (hasta un 21.4 % y 37 % respectivamente). [7]

Un caso en particular, el de Barcelona, en el que los ciudadanos escogen no montar en bicicleta por peligro y exceso de tráfico. Esto se debe a que Barcelona, pese a ser una ciudad con más de un millón y medio de habitantes, no dispone de una red de kilómetros de carril bici que se ajuste a su densidad poblacional. En comparación, Valladolid, con unos 300 000 habitantes consta de 36.2 km de carril bici por cada 100 000 habitantes, mientras que Barcelona tiene sólo 14.1 km por cada 100 000 habitantes concentrado mayoritariamente en las calles más transitadas por otros medios de transporte.



Imagen 2-7: Red de kilómetros de carril bici en la ciudad de Barcelona [11]

Es evidente que la bicicleta es un medio de transporte más y por ello existe un mercado de competidores. Existen dificultades para mantener la lucha contra estos otros medios de transporte. Lo que está claro es que, para imponer una ventaja sobre el resto, no sólo es necesario garantizar una red de carriles específicos y seguros; también **es imprescindible contar con suficientes zonas de aparcamiento**. Conviene mencionar también la importancia de una mentalidad de cambio en el paradigma de la movilidad orientado a fomentar la cultura de la bicicleta.

2.6.1 Robo de bicicletas

El constante crecimiento del uso de la bicicleta en las ciudades va de la mano de un aumento de los robos. En numerosos casos no es necesario el allanamiento de morada ni la violencia sobre el usuario, sólo una tenaza o alguna herramienta para deshacerse del candado. Por ello, la mayoría de los delitos de robo quedan impunes y se categorizan como hurtos. Además una bicicleta es difícil de rastrear e identificar tras ser robada. [10]

Una de las principales causas de robo o daño de bicicleta es su aparcamiento en vías urbanas a la intemperie, e incluso en locales internos y privados.

Resulta curioso que Dinamarca y Holanda, pese a ser países con mayor de uso de la bicicleta, presenten menos robos diarios que en países como España. Por

ejemplo, en algunas ciudades de España se roban hasta 100 bicicletas diarias, mientras que en todo el país de Dinamarca la media de robos diaria es de 200.

Dentro de la población activa que monta en bicicleta, el 17.8 % confirma haber sufrido al menos un robo en los últimos 5 años. La mayoría de los robos ocurren en ciudades con más de 500 000 habitantes, en especial en Sevilla y Barcelona (ciudades con mayor número de robos en los últimos años). La edad más común para sufrir un robo se encuentra en las más jóvenes (entre 12 y 24 años) con un porcentaje de 26.2 %. [7]

Un estudio realizado por el Idealista confirma que la mayoría de los botines por robo de bicicletas tienen lugar en comunidades de vecinos. En España se roban entre 85 000 y 100 000 bicicletas cada año. [12]

Peores puntuaciones en robo de bicicletas: 0 (más robos) – 100 (menos robos)

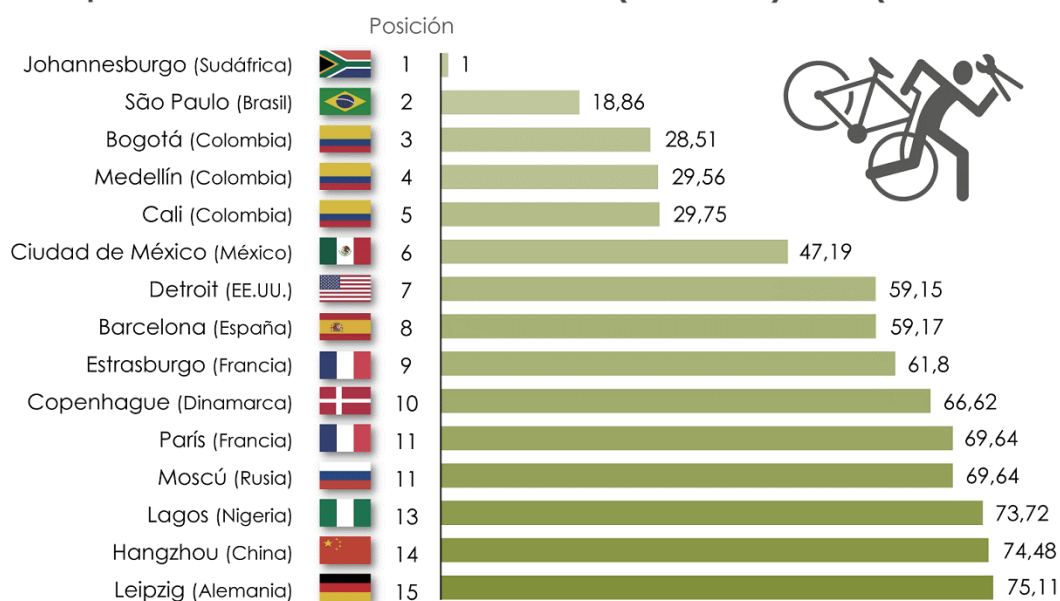


Imagen 2-8: Estadística de las peores ciudades para aparcar una bicicleta [10]

Como puede observarse en la imagen, Barcelona (España) ocupa la posición 8 en el ranking de peores ciudades donde aparcar una bicicleta, convirtiéndose en el top 1 de Europa, por delante de Estrasburgo (Francia).

Aunque el principal responsable de un hurto de bicicleta es el propio ladrón, el usuario puede dificultar su sustracción mediante medidas de prevención de robo, entre otras, el aparcamiento en parkings seguros.

2.6.1.1 Medidas de prevención de robo

Desde 2009 sólo el 58 % de los usuarios hacían uso de algún sistema de prevención de robo. Esta tendencia ha ido aumentando a lo largo de los años. En 2019, ya hay más del 80 % de usuarios que velan por la seguridad de su bicicleta. Este aumento puede verse en el siguiente gráfico.

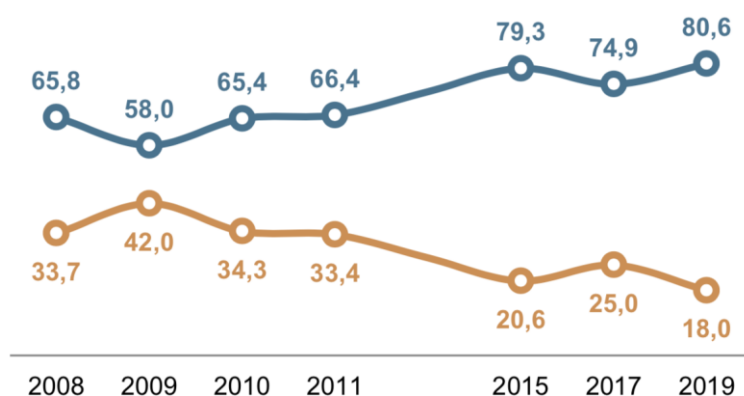


Imagen 2-9: Estadística de usuarios que usa medidas de prevención de robo [7]

- En azul, el porcentaje de usuarios que adopta medidas de prevención.
- En naranja, aquellos usuarios que no adoptan medidas de prevención.

La mayoría de los usuarios que no usan prevención es principalmente porque habitan en municipios pequeños de no más de 10 000 habitantes.

Dentro de aquellos que sí usan prevención, ¿cuáles son los más comunes?

- 62.5 % usa candado.
- 32.9 % aparca en lugares seguros.
- 4.3 % utiliza otro tipo de prevención.

“Lugares seguros” incluye parkings de comunidades de vecinos, trasteros, etc. Los usuarios que con más frecuencia utilizan la bicicleta usan el candado por comodidad y economía.

2.7 Estrategia Estatal por la Bicicleta

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) pretende llevar a cabo un plan estratégico para lograr una movilidad sostenible, segura y conectada para el año 2030. Esta estrategia comenzó ya en 2020 con una estrategia para la bicicleta que durará hasta 2025 y costará 5 millones de euros. Los cinco objetivos principales del plan son:

1. Establecer un cambio modal y cultural a la bicicleta.
2. Promocionar la vida saludable en las personas.
3. Fomentar y proteger el ocio y el deporte en bicicleta.
4. Aprovechar el potencial del turismo en bicicleta.
5. Coordinar la acción del Estado.

Es decir, esta estrategia pretende promover el uso de la bicicleta en todas sus vertientes; ocio, turismo, deporte y transporte. Junto con el apoyo de la AMBE se aspira a la **unión del 100 % de las empresas del sector ciclista** (fabricantes, importadores, distribuidores, agentes...). También se pretende lograr una **colaboración entre administraciones, sector privado, instituciones feriales y las federaciones**.

Javier Rodríguez, presidente de AMBE: *“esta estrategia está llamada a ser la herramienta que permita dar el impulso que necesita la bicicleta en España. AMBE, junto a la Mesa Española de la Bicicleta, ha tenido un papel fundamental en hacer realidad esta estrategia y jugará un papel esencial en su gobernanza: continuaremos trabajando junto a la Mesa, las administraciones y otros colectivos ciclistas para la promoción de la bicicleta y los intereses del sector en este nuevo marco estratégico”*. [13]

2.8 Aparcamientos

Otra de las asignaturas pendientes que tenemos en España es la falta de aparcamientos para bicicletas. [14]



Imagen 2-10: Titular ABC sobre el descarto del uso de la bicicleta en España [15]

Como puede verse en la noticia del ABC, los ciudadanos descartan la bicicleta por el clima y parkings inseguros. Debido al elevado número de robos de bicicletas en las grandes ciudades como Barcelona y Sevilla, la gente decide guardar sus bicicletas en espacios privados y cerrados.

Conviene recordar que uno de los principales inconvenientes que presenta el uso de la bicicleta además del peligro del tráfico es la insuficiencia de aparcamientos y sitios para guardarla de manera segura. Los que tienen al menos una bicicleta en su casa afirman guardar su bicicleta en el garaje (38 %), trastero (28 %) o dentro del piso (10 %) [8]. Únicamente el 2 % de usuarios afirman usar un parking de bicicletas.

El papel de la administración pública es imprescindible en la aceptación de nuevas medidas para fomentar la bicicleta mediante la implantación de recursos que así lo permitan. Algunas de las medidas de aparcamiento más sugeridas son:

- En las estaciones y paradas de transporte público.
- En los centros públicos y privados (colegios, lugares de trabajo, centros de ocio...).
- Habilitar un espacio para un parking de bicicletas en comunidades de vecinos.

Más del 80 % de los españoles considera necesaria la construcción de parkings cubiertos y vigilados para aparcar sus bicicletas. En el siguiente gráfico se aprecia el crecimiento a lo largo de los años.

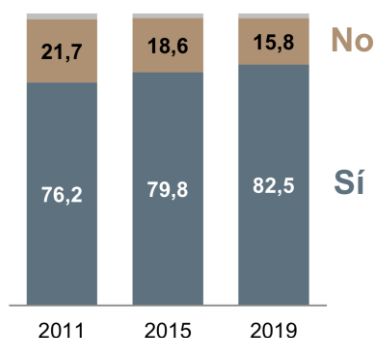


Imagen 2-11: Estadística sobre la importancia de un parking privado [7]

Hasta hace unos años más de la mitad de la población consideraba que no existían aparcamientos suficientes para aparcar su bicicleta de manera segura. Con los años y las nuevas estrategias para aumentar el uso de la bicicleta cada vez menos usuarios lo ven así. El usuario opina que existen parkings pero no suficientes.

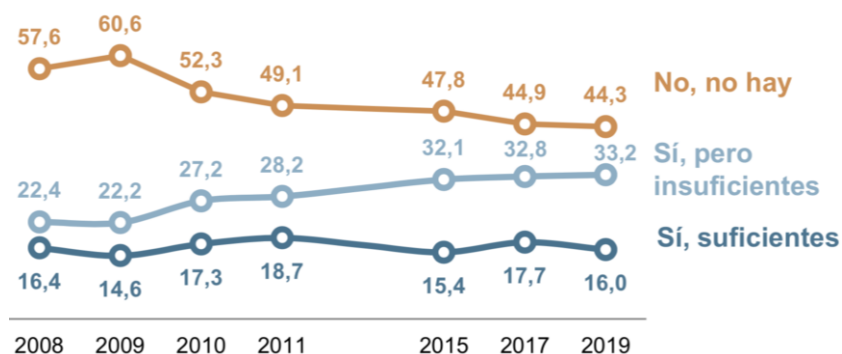


Imagen 2-12: Estadística sobre la suficiencia de parkings públicos [7]

El documento de estrategia estatal por la bicicleta persigue los siguientes objetivos para mejorar la infraestructura ciclista:

1. Desarrollo de carriles bici seguros y acordes al tamaño poblacional.
2. Disponer de estacionamientos públicos y seguros.
3. Asegurar un mantenimiento adecuado de las vías y arcenes para el uso de la bicicleta.

4. Optimizar los criterios de diseño urbano y normativo con la integración de aparcamientos para una integración segura de la bicicleta.

La infraestructura es esencial para la promoción de la bicicleta. Para ello, es necesario realizar aparcamientos seguros en lugares convenientes.

3 Condiciones generales

En este apartado se da una descripción general de los principales componentes del parking y su distribución. También se justifican las decisiones tomadas en el diseño y se explica el funcionamiento de todas sus prestaciones.

3.1 Diseño

La **pared lateral** del aparcamiento tendrá la siguiente forma.



Imagen 3-1: Pared lateral del aparcamiento

- La geometría se escoge circular para optimizar el espacio.
- La altura total H es de 3 metros para permitir la doble altura (se requieren mínimo 2.75 m).
- Se dejan los huecos pertinentes para la puerta automática y las rejillas de ventilación.
- El diseño estructural (cerramiento y pilares) de la pared lateral se discute en el apartado 7.
- El ángulo disponible para la estructura del aparcamiento (módulos) es 292°. Los 68° restantes están reservados para facilitar una cómoda entrada al parking.
- El radio interior (4100 mm) es suficiente para la maniobrabilidad del usuario al introducir o retirar su bicicleta. Se requiere un espacio mínimo de 4070 mm (ver Imagen 3-2).

3.1.1 Elección de módulos del aparcamiento

La estructura del parking de bicicletas (en color marrón en las siguientes imágenes) es de acero galvanizado y se adquiere de un proveedor especializado.

A continuación se desarrollan las condiciones para la elección de los módulos:

- El diámetro interior de la pared lateral es 8200 mm. Cada módulo ocupa 1900 mm de profundidad. Además, para que la rueda no choque con la pared se reservan 70 mm. Por lo tanto el diámetro interior disponible para el parking es 4260 mm (ver Imagen 3-2).

- El arco de circunferencia interior completo es:

$$\text{Arco de circunferencia interior} = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 2.13 \text{ m} = 13.38 \text{ m}$$

- Como el ángulo total reservado para el aparcamiento es 292°, se tiene:

$$\text{Arco de circunferencia interior disponible} \rightarrow 13.38 \text{ m} \cdot \frac{292^\circ}{360^\circ} = 10.855 \text{ m}$$

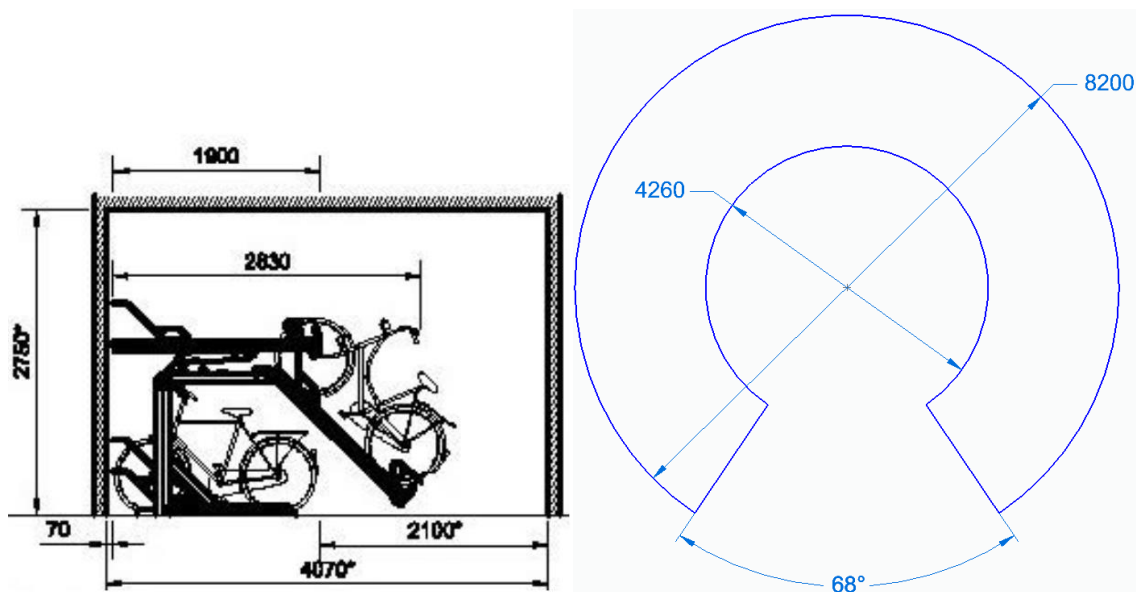


Imagen 3-2: Datos para la elección del número de módulos

3.1.1.1 Posibles distribuciones y encajes de módulos

Se recomienda que la distancia mínima entre centros de bicicletas sea 375 mm para evitar conflicto entre los componentes (pedales, manillares, cables de freno, etc.). Debido a la geometría circular, **la distancia crítica entre plazas se evalúa en el radio más interno** (lugar de menor distancia entre bicicletas). Se desea una máxima comodidad en el usuario, por lo que en cada distribución se garantiza un mínimo de 400 mm entre centros de plazas contiguas.

3.1.1.1.1 Distribución circular en módulos individuales

Los módulos individuales constan de una **estructura más ancha**, por lo tanto la distancia mínima entre módulos se incrementa hasta 500 mm. Se escoge entonces una distancia prudente de 543 mm. En este caso la distancia entre centros de bicicletas es muy superior a los límites técnicos y no habría problema.

Con la información del apartado 3.1.1 se puede calcular el número de módulos.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} \rightarrow \frac{10.855 \text{ m}}{0.543 \text{ m}} = \mathbf{20 \text{ módulos individuales}}$$

Distribuidos de la siguiente manera:

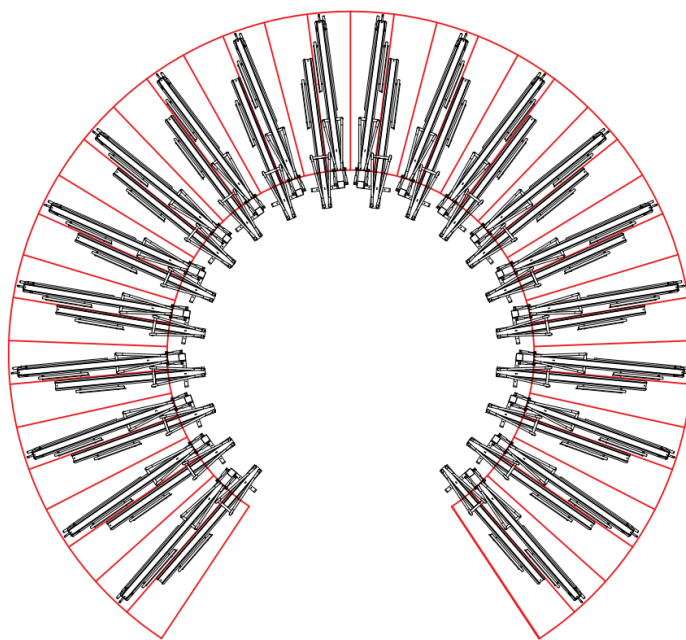


Imagen 3-3: Distribución circular de 20 módulos individuales (40 plazas)

3.1.1.1.2 Distribución uniforme en módulos 2+2

Cada módulo consta de una estructura unilateral 2+2. La distancia entre plazas es 400 mm y la estructura completa del módulo mide 800 mm.

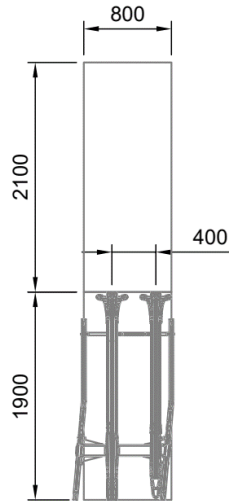


Imagen 3-4: Acotación de la vista en planta de un módulo 2+2

Se establece una distancia prudente entre centro de módulos de 1085 mm. Por lo tanto, con la información del apartado 3.1.1 se calcula el número de módulos.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} \rightarrow \frac{10.855 \text{ m}}{1.085 \text{ m}} = \mathbf{10 \text{ módulos } 2 + 2}$$

Distribuidos de la siguiente manera:

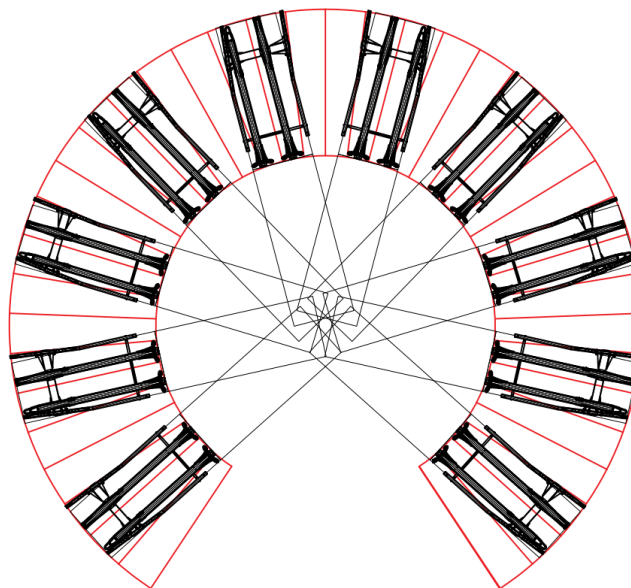


Imagen 3-5: Distribución uniforme de 10 módulos 2+2 (40 plazas)

3.1.1.1.3 Distribución uniforme en módulos 4+4

Cada módulo consta de una estructura unilateral 4+4. La distancia entre plazas es 400 mm y la estructura completa del módulo mide 1600 mm.

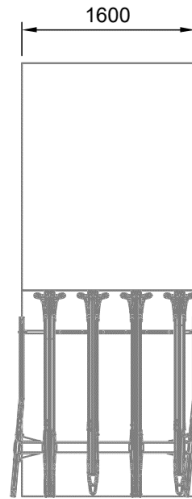


Imagen 3-6: Acotación de la vista en planta de un módulo 4+4

Se establece una distancia prudente entre centro de módulos de 2171 mm. Por lo tanto, con la información del apartado 3.1.1 se calcula el número de módulos.

$$N^{\circ} \text{ de módulos} \rightarrow \frac{10.855 \text{ m}}{2.171 \text{ m}} = \mathbf{5 \text{ módulos } 4 + 4}$$

Distribuidos de la siguiente manera:

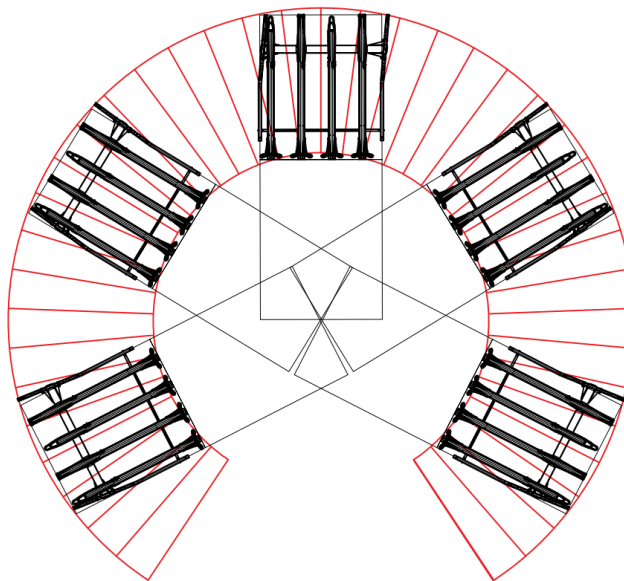


Imagen 3-7: Distribución uniforme de 5 módulos 4+4 (40 plazas)

3.1.1.1.4 Distribución uniforme con combinación de módulos

Existe la opción de combinar módulos 2+2 y 4+4, consiguiendo un número de plazas superior (56). En este caso la distancia entre módulos queda muy ajustada.

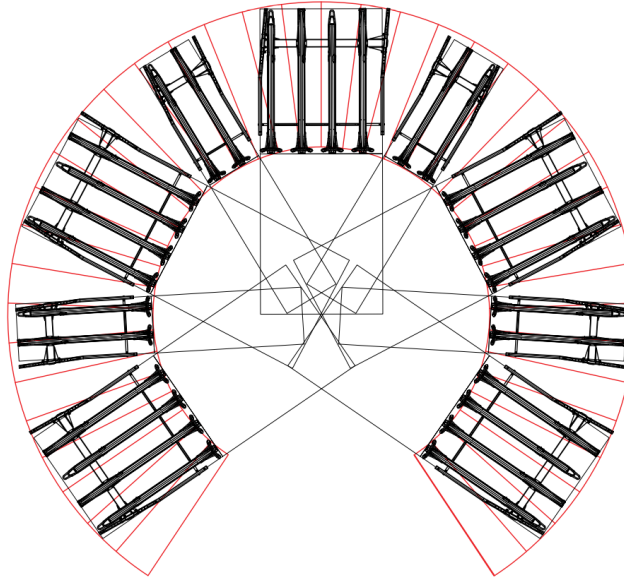


Imagen 3-8: Distribución uniforme con módulos 2+2 y 4+4 combinados (56 plazas)

3.1.1.2 Justificación de la elección

En la siguiente tabla se muestra un resumen con las distintas distribuciones y su viabilidad para instalar taquillas en el espacio libre disponible.

Para la **distancia mínima entre módulos d_m** (espacio de acceso a taquillas) se resta la anchura del módulo a la distancia entre centro de módulos.

Opción	Tipo de distribución	Nº de plazas	d_m	Espacio para taquillas
1	Circular Módulos individuales	40	43 mm	No
2	Uniforme Módulos 2+2	40	282 mm	Ajustado
3	Uniforme Módulos 4+4	40	571 mm	Si
4	Uniforme Combinación de módulos 2+2 y 4+4	56	0 mm	No

Tabla 4: Resumen de las posibles distribuciones

- En caso de querer maximizar el número de plazas se opta por la opción 4.
- Si se quiere una estética redondeada adaptada a la geometría del parking, la opción ideal es la 1.
- Si por otro lado se desean módulos uniformes 2+2 (opción 2) hay que tener en cuenta que el espacio reservado para las taquillas (espacio entre módulos) es justo y sería incómodo de acceder.
- La opción 3 proporciona el mismo número de plazas que las opciones 1 y 2 con la ventaja de que existe un espacio acondicionado para la instalación de taquillas entre módulos.

Elección y justificación:

El usuario normalmente lleva casco y complementos para el uso de la bicicleta como guantes, pasamontañas, botellín de agua, objetos que se llevan dentro de la cesta (en caso de tener), luces extraíbles, batería adicional (en caso de bicicleta eléctrica), etc. Por lo tanto en este proyecto **se escoge la distribución uniforme con módulos 4+4 (opción 3) y se instalan 4 módulos de taquillas 5x2 entre módulos de bicicletas (40 taquillas en total).**



Imagen 3-9: Módulo de taquillas 5x2 seleccionado [16]

Los dos módulos de taquillas más cercanos a la entrada tendrán un bloqueo clásico de moneda-llave mientras que los dos más interiores serán de llave fija.

La razón de esto es que los dos primeros módulos están planteados para usuarios menos frecuentes que reservan plaza durante un corto periodo de tiempo o incluso por horas (plazas de rotación). Mientras que los módulos de llave fija son para usuarios frecuentes o permanentes que aparcen su bicicleta durante más tiempo (semanas o meses).

Con esta distribución de módulos elegida se le garantiza al usuario un cómodo aparcamiento de su bicicleta además de proporcionar espacio para depositar los objetos personales que desee mediante taquillas.

El parking además cumple con los estándares requeridos por el certificado BREEAM y LEED de construcción sostenible.

3.1.2 Distribución de componentes del techo

En la Imagen 0-1 se muestra el techo y la distribución de sus componentes.

Para comprobar las justificaciones de este subapartado se muestra la siguiente vista en planta. Se incluyen las vigas longitudinales (en azul), transversales (en rojo) y diagonales (en verde).

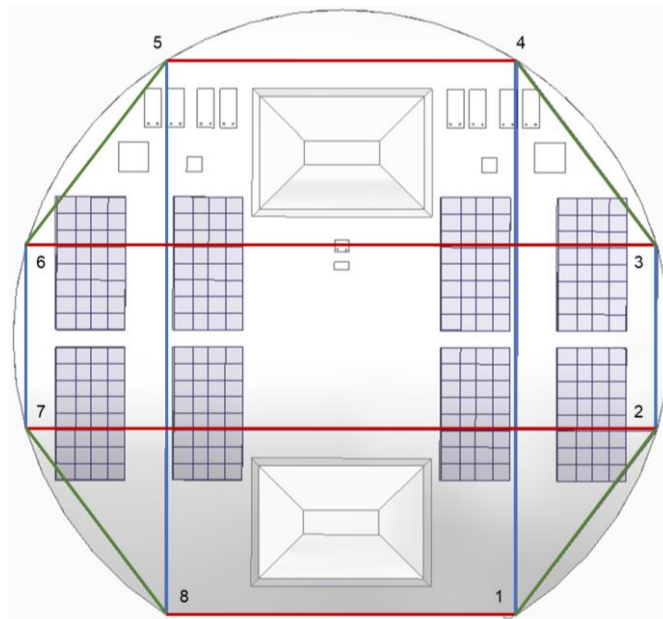


Imagen 3-10: Vista en planta de la distribución de los elementos del techo

Nota: los números indican la localización de los pilares de la estructura.

En primer lugar, para el posicionamiento de las **claraboyas** hay que tener en cuenta la distribución de las vigas longitudinales y transversales. Se evita que coincidan ya que son espacios abiertos al exterior. Para ello se colocan justamente en el medio de zonas desocupadas por vigas. Una cerca de la entrada y otra en la parte trasera del parking.

Cada batería de 12 V y 200 Ah de los **sets baterías 1 y 2** pesa en torno a 45 kg. Es decir, cada set pesa alrededor de 180 kg. Por esta razón se sitúan lo más cerca posible de los pilares. De esta manera el peso recae directamente sobre ellos, lo que provoca que el momento sobre las vigas transversales y longitudinales sea menor.

Lo mismo con la **batería luminarias**. Por simetría se coloca en el centro de la estructura y cerca de una viga transversal.

Nota: todas las baterías, los regulares y los convertidores están protegidos de la intemperie mediante una carcasa de aluminio recubierta interiormente por aislante térmico. Así se mantiene una temperatura adecuada de cada elemento y se alarga su vida útil.

Las **placas solares** pesan 21 kg cada una, por lo que se distribuyen lo más próximas posibles a vigas, consiguiendo una mejor distribución de esfuerzos en la estructura.

Cada **convertidor** de los sistemas de obtención de energía pesa 30 kg. Se sitúan en zonas cercanas a pilares.

Los pesos de los **reguladores** y el **convertidor luminarias** no son relevante para su colocación, por lo tanto se distribuyen de manera conveniente.

3.1.3 Representación del aparcamiento completo

La estructura del parking junto con la pared lateral tiene la siguiente forma.

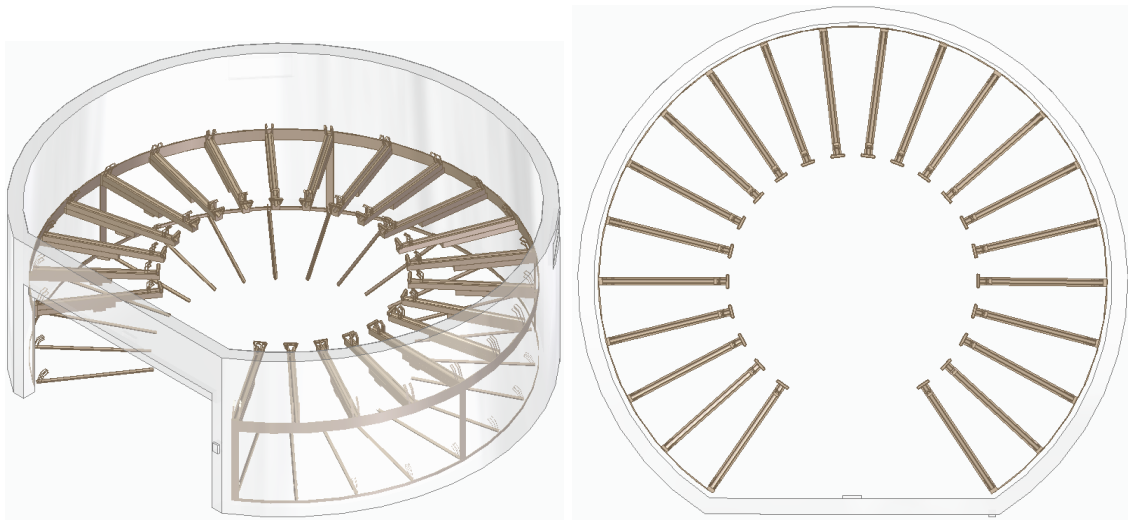


Imagen 3-11: Estructura del parking de bicicletas junto con la pared lateral

Nota: por motivos de visualización la pared lateral se ha dibujado transparente.

Nota importante: la imagen es ilustrativa, es decir, se muestra un número de plazas y distribución genérica. En el aparcamiento real, cada plaza contigua de la altura inferior estará a una inclinación diferente para evitar que los manillares coincidan. Las plazas de la altura superior estarán a alturas diferentes por la misma razón. En la siguiente imagen se muestra un diseño real.



Imagen 3-12: Distribución entre plazas contiguas para maximizar el número de bicicletas [17]

El parking de bicicletas con cada altura:

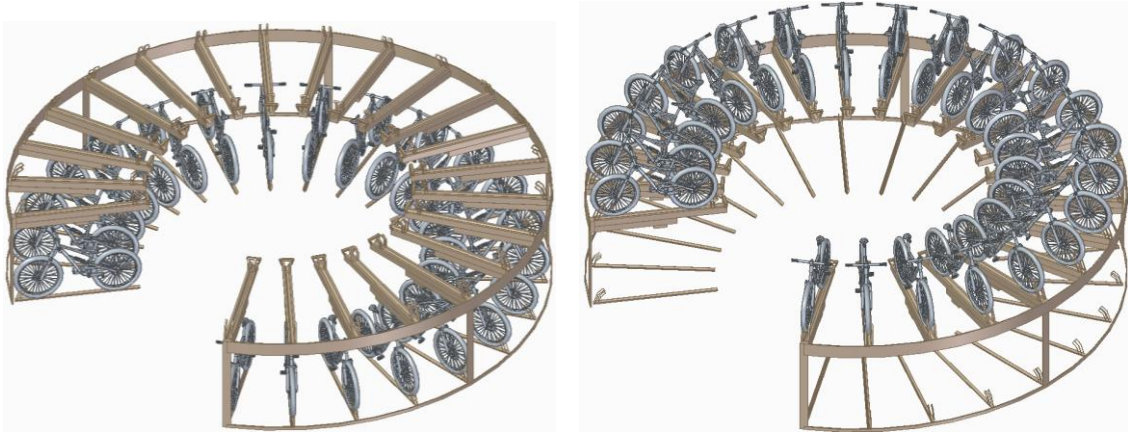


Imagen 3-13: Representación de ambas alturas del parking

La altura superior cuenta con un parte fija y otra móvil. La móvil se desliza sobre la fija. Mediante un mecanismo se permite la inclinación de la parte móvil hasta que llega al final de su recorrido. El usuario entonces coloca su bicicleta en la plaza y devuelve la parte móvil a su posición inicial.



Imagen 3-14: Despliegue de la segunda altura [17]

Las 10 plazas de la altura inferior más cercanas a la puerta (5 a la izda. Y 5 a la dcha.) están reservadas para bicicletas eléctricas (ver apartado 5.2.1.1). Para ello hay un cargador eléctrico en cada una de ellas situado debajo de la parte fija de la plaza del piso superior. Para la comodidad del usuario, el cable del cargador es retráctil (otra opción es incorporar un anclaje en la parte fija para colgarlo). La distribución de los cargadores se presenta en amarillo en la siguiente imagen.

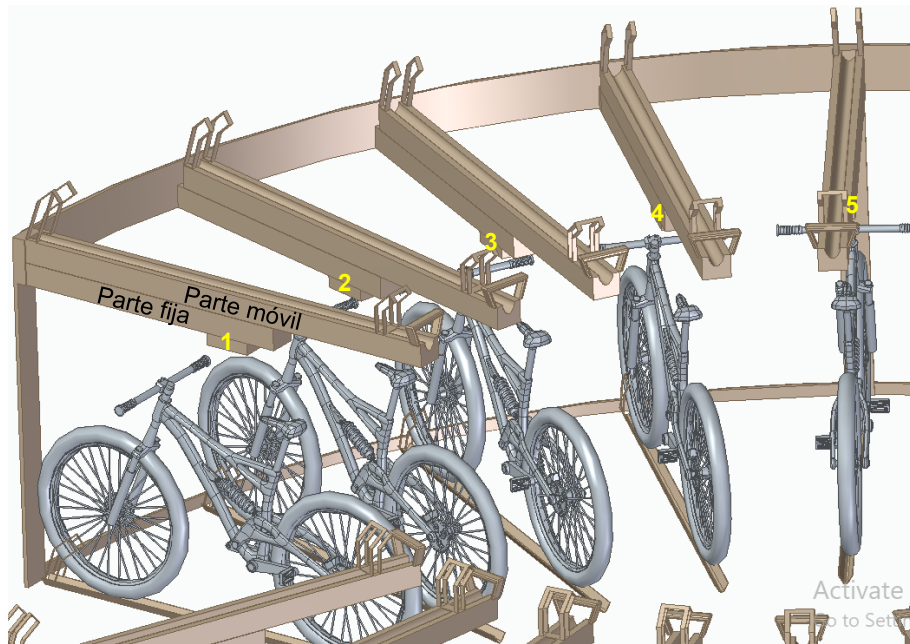


Imagen 3-15: Distribución de los cargadores eléctricos de la parte izquierda del parking

Las bicicletas se candan directamente a la estructura metálica que incorpora cada plaza.

El conjunto general del parking con la **puerta automática** y las **rejillas** de entrada queda de la siguiente manera.

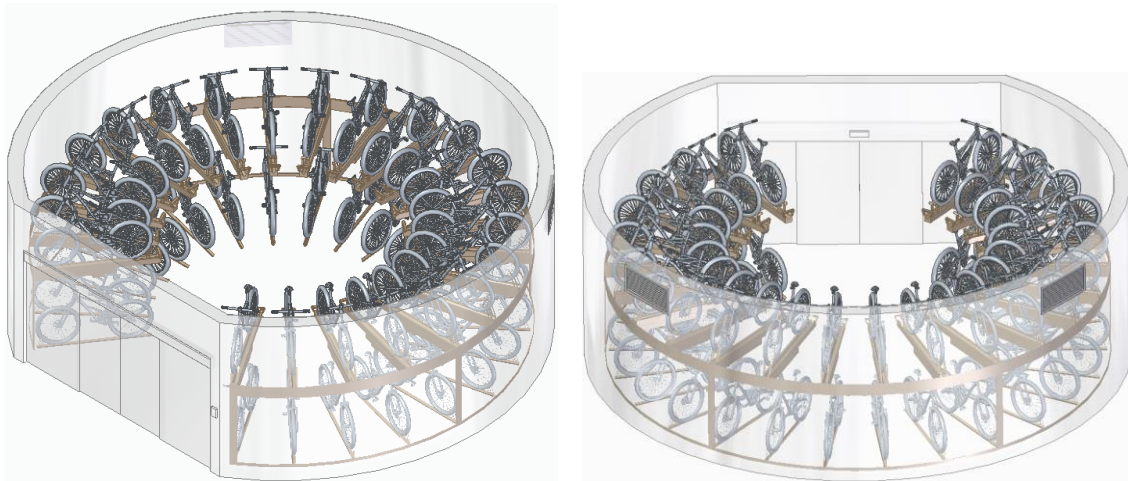


Imagen 3-16: Vista general con estructura del parking, pared lateral, puerta y rejillas de entrada

Cada vez que la puerta automática se abre, la zona de entrada se airea, por ello se colocan dos rejillas de ventilación opuestas a esta (distribuidas simétricamente). De esta manera se asegura una ventilación homogénea en

todo el aparcamiento. Las dos rejillas de salida del aire estarán situadas en el techo, al lado de las de entrada respectivamente. Con esta distribución se optimiza la recirculación del aire (por diferencia de densidades).

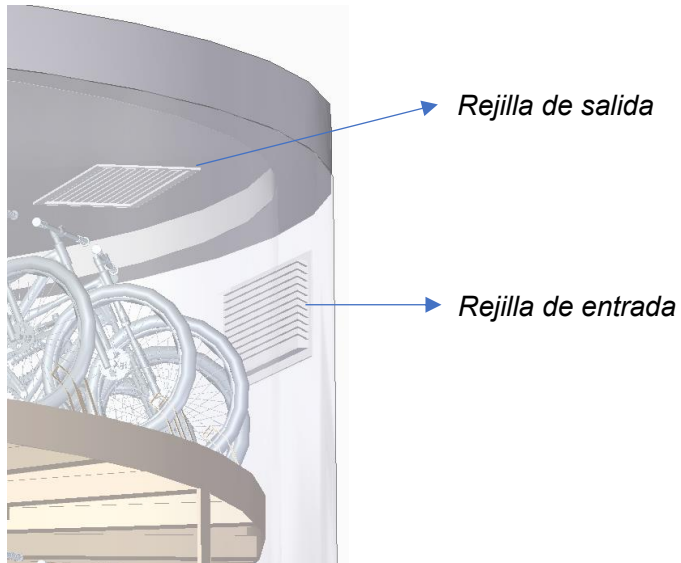


Imagen 3-17: Rejillas de entrada y salida del aire

Finalmente, el parking completo:

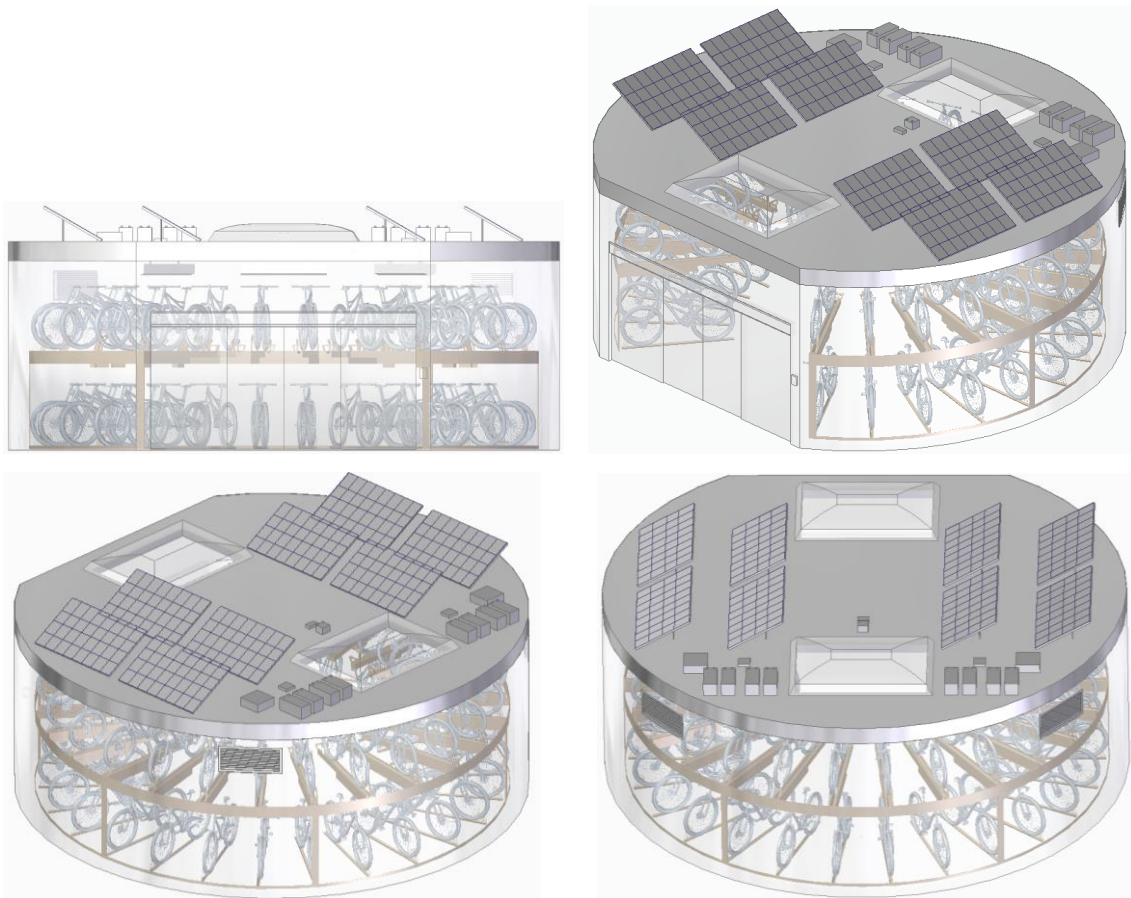


Imagen 3-18: Visualización del parking completo desde distintos ángulos

3.2 Acceso al parking y salida

La puerta automática es de dos hojas de 1 metro cada una. Al accionarse, ambas hojas se abren hacia el exterior. Será opaca para ocultar la visión desde el exterior.

Para acceder al aparcamiento el usuario deberá demostrar que ha pagado la tarifa correspondiente. Para ello Don Ciclete cuenta con una App para sus usuarios. A través de ella el usuario elige su tarifa y se genera un código QR. Mediante un sistema lector de QR el usuario podrá leer su código y activar la entrada al aparcamiento con la apertura de la puerta automática. El sistema lector de código QR se encuentra en parte derecha de la entrada al parking (ver Imagen 3-16).

Este sistema de acceso reemplaza al sensor M1601 que incluye el proveedor de la puerta automática, cuya activación abre la puerta al detectar movimiento en el exterior. En este parking se desea que el acceso sea controlado mediante la lectura de un código QR.

Para la salida del aparcamiento se instala el radar MR27 en el interior (encima de la puerta, ver Imagen 3-16). Éste acciona la apertura de la puerta cuando detecta la aproximación del usuario.

Con el objetivo de hacer el parking más seguro, el esquema de conexiones a la central de control de la puerta se hace **sin** módulo de fotocélulas. Es decir, la puerta estará abierta durante un tiempo determinado sin posibilidad de prolongarlo.

- Si el usuario no puede entrar en ese tiempo, deberá leer el QR de nuevo.
- Si el usuario no consigue salir en ese tiempo, basta con activar el radar MR27 nuevamente.

La finalidad de esto es que nadie reactive la apertura de la puerta desde el exterior cuando un usuario sale del aparcamiento.

3.3 Lista de proveedores

En esta lista se recogen los proveedores de cada elemento junto a sus características más relevantes para este proyecto.

<i>Elemento</i>	<i>Proveedor</i>	<i>Características por ud. Individual</i>
<i>Set paneles solares 1 y 2</i> ^[18]	BaSBa Batterien GmbH	360 W Monocristalino Eficiencia: 19.5 % 1765x1048x35 mm (LxBxH) 21 kg
<i>Regulador 1 y 2</i> ^[19]	BaSBa Batterien GmbH	MPPT Victron Tensión máx. de entrada fotovoltaica: 100 V I _{nominal salida} : 30 A U _{salida} : 12/24 V (detección automática) Control por Bluetooth 130x186x70 mm (LxBxH) 1.3 kg
<i>Set baterías 1 y 2</i> ^[20]	BaSBa Batterien GmbH	12 V 200 Ah 600 ciclos 513x223x223 mm (LxBxH) 44.4 kg
<i>Convertidor 1 y 2</i> ^[21]	Bosswerk GmbH & Co. KG - GreenAkku	Inversor con onda sinusoidal pura de 48 V a 230 V 5000 W Eficiencia: 94-95 % 444x328x240 mm (LxBxH) 30 kg
<i>Batería luminarias</i> ^[22]	BIG – Batterie Industrie Germany	12 V, 26 Ah Vida útil: 10 años 166x175x126 mm (LxBxH) 8.5 kg
<i>Convertidor luminarias</i> ^[23]	Solartronics	Inversor 12/230 V 300 W Eficiencia > 85% 195x102x55 mm (LxBxH) 0.6 kg
<i>Cargadores eléctricos</i> ^[24]	Bikester	230 V 2 A Nº producto: 685430 Clavija UE 160x75x45 mm (LxBxH) 0.6 kg
<i>Claraboyas</i> ^[25]	Claraboyas Matilla S.L.	Parabólica monovalva Transparente Metacrilato de metilo (PMMA) 1500x2000 mm
<i>Rejillas</i> ^[26]	Industrias Mas Salvadó	Aluminio lacado Gris RAL7022 1000x400 mm (horizontal x vertical)
<i>Estructura del parking</i> ^[27]	BicitaviS – Distribuidor VelopA	5 módulos 4+4 de doble altura Premium Acero y aluminio
<i>Taquillas</i> ^[16]	BIGBOXX	Módulo 2x5 (10 compartimentos) Acero 1950x620x500 mm (LxBxH) 61 kg
<i>Puerta automática</i> ^[28]	SB Automatismos	Puerta de vidrio KAPVSP 2 hojas de cristal de 1 metro Hueco de paso: 1950 mm Longitud total: 4200 mm Cofre 200 mm
<i>Luminarias</i> ^[29]	Inpratex	LED 161 06L20 220-240 V 50/60 Hz 16 W 2370 lm 148 lm/W T _a ^{min} : -20 °C T _a ^{max} : 40 °C 662x116x125 mm (LxBxH) 1.8 kg
<i>Sensor infrarrojos de movimiento</i> ^[30]	Reichelt Elektronik GmbH & Co. KG	Modelo VT-5090 PIR Alimentación: 220-240 V 50/60 Hz Vida útil: 20.000 h 0.135 kg
<i>Sensor fotoeléctrico</i> ^[31]	Autosen	Alimentación: 10-30 V I _{máx} = 20 mA T _a ^{min} : -25 °C T _a ^{max} : 80 °C
<i>Lector QR</i>	Don Cicleteo	Integrado en App Don Cicleteo

Tabla 5: Proveedores y características de los productos

Cada proveedor entrega su manual de producto en el que se muestran todas las características. En caso de que un producto requiera un montaje específico, el proveedor se encarga de él, aunque también puede facilitar un manual paso a paso.

4 Cálculo de la iluminaria

Para calcular la iluminancia requerida dentro del parking y la consecuente elección de la luminaria, se realiza el siguiente estudio.

4.1 Parámetros y cálculos previos

En primer lugar, se requieren las dimensiones de la sala desde un plano cenital. Con estas se calcula la superficie a iluminar.

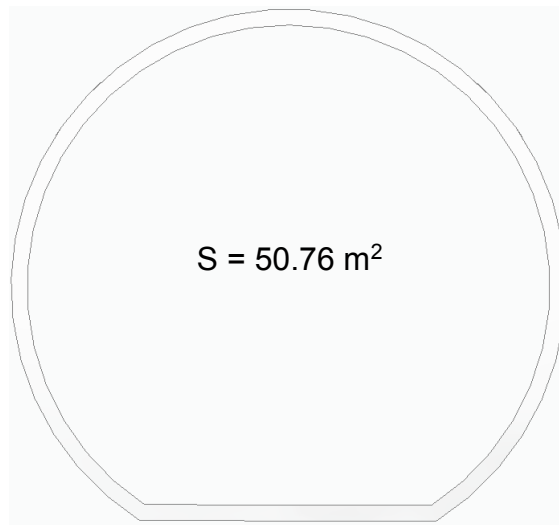


Imagen 4-1: Plano cenital del parking. Área interior: 50.76 m²

Por otro lado, es necesario conocer la altura a la que se colocan las luminarias respecto del techo (plano luminarias d_1), además de la altura a la que se encuentran los objetos que se desean iluminar respecto del suelo (plano de trabajo d_2).

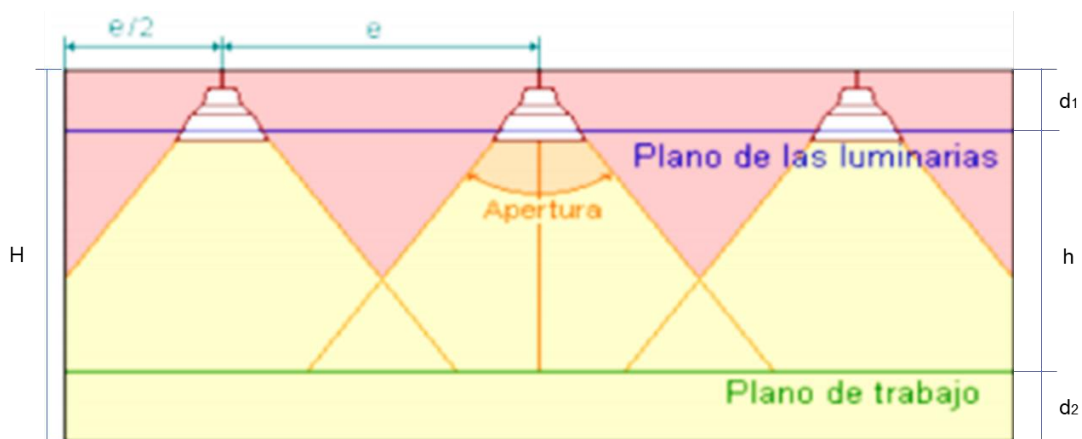


Imagen 4.1-2: Presentación de la distribución de luminarias en el aparcamiento [32]

Con:

○ $h = H - d_1 - d_2$ [m]

○ **Índice del local** $K = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} \rightarrow$ para geometrías cuadrangulares

Adaptación a geometría $\rightarrow K = \frac{S}{h \cdot (p/2)} = \frac{50.76 \text{ m}^2}{1.8 \text{ m} \cdot \left(\frac{25.5 \text{ m}}{2}\right)} = 2.212$

Por consiguiente, los datos para el cálculo de las luminarias son:

Datos	
H	3 m
d₁	0.2 m
d₂	1 m
h	1.8 m
K	2.212
f_m	0.7

Tabla 6: Datos de iluminaria

El **factor de mantenimiento** f_m es un porcentaje que indica hasta dónde podría descender la potencia luminosa emitida desde que se instala la luminaria. Marca el tiempo en el que la iluminaria iluminará en rangos adecuados, brindando hasta un 80% de la potencia lumínica. En este proyecto se escoge $f_m = 0.7$.

Según la UNE 12464.1, el **nivel de iluminación media** E_m requerido para un aparcamiento público de vehículos interior situado en calles de circulación es $E_m = 75 \text{ lux}$ (75 lm/m^2), con un *Unified Glare Rating* (UGR, en español índice de deslumbramiento unificado) de 25.

6. APARCAMIENTOS PÚBLICOS DE VEHÍCULOS (INTERIOR)						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E _m lux	UGR _L	U _o	R _a	OBSERVACIONES
6.1	RAMPAS DE ACCESO O SALIDA (DE DÍA)	300	25	0,4	40	· Iluminancias a nivel de suelo. · Se deben reconocer los colores de seguridad.
6.2	RAMPAS DE ACCESO O SALIDA (DE NOCHE)	75	25	0,4	40	
6.3	CALLES DE CIRCULACIÓN	75	25	0,4	40	
6.4	ÁREAS DE APARCAMIENTO	75	-	0,4	40	
6.5	CAJA	300	25	0,6	80	
						· Evitar reflejos en las ventanas. · Impedir el deslumbramiento.

Imagen 4-2: Nivel de iluminación del aparcamiento según UNE 12464.1

El **coeficiente de reflexión** ρ del local es necesario para el cálculo del **factor de utilización** C_u . El techo del parking será blanco, mientras que las paredes y el suelo serán de color “claro”. Consecuentemente, se escogen los siguientes valores estándar de ρ : techo 0.7, paredes 0.5 y suelo 0.3.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Imagen 4-3: Coeficientes de reflexión estándares [32]

Con el índice del local K (2.212) y ρ (0.7, 0.5, 0.3) se obtiene el C_u de la sala utilizando la tabla que se muestra a continuación obtenida del catálogo Philips. Éste se utiliza para calcular los lúmenes totales que requiere la sala.

Room Index k	Reflectances (%) for ceiling, walls and working plane (CIE)										
	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00
	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00
	0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
0.60	0.43	0.41	0.42	0.41	0.40	0.32	0.31	0.26	0.29	0.25	0.22
0.80	0.53	0.50	0.51	0.49	0.48	0.40	0.38	0.33	0.37	0.32	0.28
1.00	0.61	0.56	0.59	0.57	0.55	0.47	0.45	0.40	0.43	0.38	0.34
1.25	0.69	0.63	0.66	0.64	0.61	0.54	0.51	0.46	0.48	0.44	0.40
1.50	0.75	0.68	0.72	0.69	0.66	0.59	0.56	0.51	0.53	0.49	0.44
2.00	0.85	0.76	0.81	0.77	0.73	0.67	0.64	0.59	0.60	0.56	0.51
2.50	0.91	0.81	0.87	0.82	0.78	0.73	0.69	0.65	0.65	0.62	0.56
3.00	0.96	0.84	0.92	0.86	0.82	0.77	0.73	0.69	0.69	0.66	0.60
4.00	1.02	0.89	0.97	0.91	0.86	0.82	0.77	0.74	0.73	0.71	0.65
5.00	1.06	0.91	1.01	0.95	0.89	0.85	0.81	0.78	0.76	0.74	0.68

Imagen 4-4: Cálculo de C_u mediante la interpolación de K y el coeficiente de reflexión

El valor interpolado es $C_u = 0.84456$.

4.2 Cálculo del número de luminarias

Se calcula el flujo lumínico total requerido en la sala Φ_T con la siguiente fórmula.

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot f_m} = \frac{75 \text{ lux} \cdot 50.76 \text{ m}^2}{0.84456 \cdot 0.7} = 6439.53 \text{ lm}$$

Del catálogo de productos de INPRATEX seleccionamos una luminaria acorde a las necesidades de iluminación del aparcamiento. Se elige una luminaria LED con envoltente fabricado en poliéster reforzado con fibra de vidrio y difusor esmerilado de alta resistencia a los impactos. La potencia P es de 16 W con una eficacia e_f de 148 lm/W y un flujo lumínico Φ de 2370 lm por cada luminaria instalada. La tensión de servicio U es de 220/240 VAC.

Calculamos cuántas luminarias de 2370 lm hacen falta para cubrir los lúmenes requeridos.

$$\frac{\Phi_T}{\Phi_{\text{lum}}} = \frac{6439.53 \text{ lm}}{2370 \text{ lm}} = 2.72 \approx \mathbf{3 \text{ luminarias}}$$

4.3 Condiciones adicionales y comprobaciones

4.3.1 Separación máxima entre luminarias

De la Tabla 6 se tiene que la distancia desde el plano de luminarias con respecto al plano de trabajo es $h = 1.8$ metros. Por lo tanto, la distancia máxima entre luminarias se obtiene mediante la siguiente ecuación ($h \leq 4$ m):

Altura luminaria (dif pl - pt)	>10 m	6-10 m	4-6 m	≤4m
D _{max} luminarias	$e \leq 1,2 \times h$	$e \leq 1,5 \times h$	$e \leq 1,5 \times h$	$e \leq 1,6 \times h$

Imagen 4-5: Cálculo de distancia mínima entre luminarias

Obteniendo:

$$e \leq 1.6 \cdot h = 1.6 \cdot 1.8 \text{ m} = \mathbf{2.88 \text{ m}}$$

Con una distancia pared-luminaria mínima:

$$\frac{e}{2} = \frac{2.88 \text{ m}}{2} = 1.44 \text{ m}$$

En la siguiente imagen se muestra la distribución final de las luminarias.

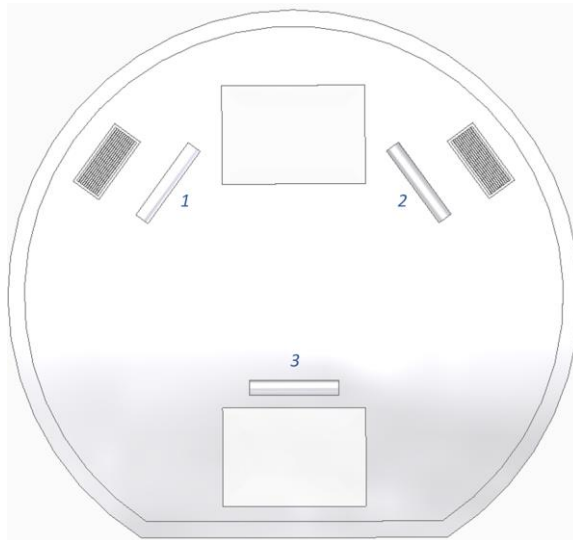


Imagen 4-6: Distribución de luminarias en el techo

4.3.2 Verificación VEEI

El Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) relaciona los términos de potencia, superficie e iluminación. Indica la potencia total que se emplea y el consumo de las luminarias en el aparcamiento por cada 100 lux.

Según el Documento Básico HE de ahorro de energía (DB HE), el VEEI se calcula con la fórmula:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$VEEI = \frac{(16 \cdot 3) W \cdot 100 \text{ lux}}{50.76 \text{ m}^2 \cdot 75 \text{ lux}} = 1.26 \frac{W}{m^2}$$

El valor límite admisible para un aparcamiento se obtiene de la tabla:

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
almacenes, archivos, <i>salas técnicas</i> y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5

Imagen 4-7: Valores límite de eficiencia energética de la instalación

Como nuestro $VEEI = 1.26 \text{ W/m}^2 < VEEI_{(lím)} = 4 \text{ W/m}^2$, estamos dentro de los límites de eficiencia energética.

4.3.3 Verificación de la iluminación

Como ya se ha comentado anteriormente, se escogen 3 luminarias frente a las 2.72 que se necesitarían. Esta relación puede comprobarse también con el nivel de iluminación media E_m .

$$E_m \text{ requerido} = 75 \text{ lux}$$

$$E_m \text{ luminarias} = \frac{N \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot f_m}{S} = \frac{3 \cdot 2370 \text{ lm} \cdot 0.84456 \cdot 0.7}{50.76 \text{ m}^2} = 82.81 \text{ lux} > 75 \text{ lux}$$

Comprobación:

$$\frac{3 \cdot \Phi_{lum}}{\Phi_T} = \frac{N^o \text{ luminarias escogido}}{N^o \text{ luminarias requeridas}} = \frac{E_m \text{ luminarias}}{E_m \text{ requerido}}$$

$$\frac{3 \cdot 2370 \text{ lm}}{6439.53 \text{ lm}} = \frac{3}{2.72} = \frac{82.81 \text{ lux}}{75 \text{ lux}} = 110.4 \% \rightarrow \text{Cumple}$$

Esto significa que el sistema de luminarias es capaz de suministrar el 100 % de luminosidad en el parking incluso en momentos de mayor necesidad (por la noche). Como la potencia lumínica que dan las luminarias está regulada en función de la luz que ya haya en el parking (ver apartado 4.4); sólo en circunstancias de cero visibilidad entregan el 100 % de su capacidad lumínica.

4.4 Regulación de la luz

La luz se enciende automáticamente cada vez que se detecte movimiento en el parking mediante un **sensor infrarrojos de movimiento** situado en el centro del techo. Éste activa la luz durante 1 minuto. Si la luz se apaga mientras el usuario sigue aparcando o desaparcando su bicicleta, basta con moverse para que el sensor vuelva a detectar movimiento y se active durante otro minuto.

Por otro lado, se cuenta con un **sensor fotoeléctrico** que capta la intensidad lumínica dentro del aparcamiento en tiempo real. Así se regula y se ajusta la intensidad lumínica del interior del parking a 75 lux en todo momento. Es decir, si mediante las claraboyas el sensor fotosintético detecta que existen 30 lux dentro del parking, las tres iluminarias sólo tendrán que suministrar los 45 lux restantes (menor consumo y mayor eficiencia). Este sensor se sitúa en la pared opuesta a la puerta, a 1 metro de altura respecto del suelo (altura de trabajo).

4.5 Alimentación y batería para la iluminaria

Las luminarias se alimentan a **230 V** desde la batería luminarias (12 V) a través del convertidor luminarias (12/230 V). Para el cálculo y elección de una batería que alimente a las fuentes de luz con 48 W (tres luminarias de 16 W cada una), hace falta una estimación y un cálculo.

- Por un lado, una estimación del tiempo que se desea que estén funcionando las luces durante un día. Una suposición razonable son 2 horas y 15 minutos, es decir, $48 \text{ W} \cdot 2.25 \text{ h} = \mathbf{108 \text{ Wh}}$ de energía E diarios.
- A continuación, se calcula el valor de la carga eléctrica Q en [Ah] de la batería a elegir. Escogemos una batería de 12 V, y como las baterías no deben utilizarse por encima del 50 % de su carga para evitar que se dañe sensiblemente:

$$Q_{bat} = \frac{E}{U} = \frac{\frac{108 \text{ Wh}}{0.35}}{12 \text{ V}} = 25.71 \text{ Ah (mínimo)}$$

Nota: en este caso se ha decidido que la batería no puede utilizarse por debajo del 35 % de su capacidad.

Se selecciona una batería de capacidad inmediatamente superior: **12 V y 26 Ah**.

4.5.1 Alimentación de sensores de movimiento y fotoeléctrico

La tensión de servicio del sensor de movimiento es 230 V y además consume entre 0.5 y 8 W. La intensidad requerida en el caso de mayor demanda es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{8 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0.035 \text{ A} \rightarrow Q_{\text{sensor mov}} = 0.035 \text{ Ah}$$

Según los datos del proveedor, el sensor fotoeléctrico consume:

$$I_{\text{máx}} = 20 \text{ mA} \rightarrow Q_{\text{sensor foto}} = 0.02 \text{ Ah}$$

Es decir, se puede aprovechar la energía restante de la batería luminarias (26 Ah – 25.71 Ah = 0.29 Ah) para alimentar ambos sensores, ya que 0.035 Ah + 0.02 Ah = 0.055 Ah < 0.29 Ah).

4.5.2 Ejemplo iluminaria escogida

De media una persona tarda en aparcar y/o desaparcar su bicicleta 2 minutos. La batería escogida proporciona energía durante 2 horas, es decir, permite una cantidad total de entradas al parking de $\frac{2 \cdot 60 \text{ min}}{2 \text{ min}} = 60$. Esto ocurriría con la batería completamente cargada al comienzo del día y con las luminarias dando el 100% de su potencia luminosa.

Sin embargo, el sensor fotoeléctrico permite reducir la potencia de las luminarias, ya que ésta se regula con la intensidad de la luz. Como resultado, el tiempo disponible para suministrar energía será mayor a 2 horas.

A su vez, la batería iluminarias está conectada al sistema de obtención de energía 1. Por lo tanto, hay que considerar que durante el día la batería se carga.

Conclusión: únicamente con la batería al 100% de carga y con una entrega de potencia máxima de las luminarias, la batería permite suministrar energía durante 2 horas. Sin embargo, se consigue un servicio de la batería muy superior a 2 horas por la continua recarga de la batería y el ajuste de la luminosidad.

5 Generación y consumo de energía

5.1 Sistema de obtención de energía

El funcionamiento del parking está diseñado para ser autosuficiente; no existen fuentes externas de energía. Existen dos sistemas iguales de obtención de energía idénticos (ver Imagen 0-1). Esta energía se utiliza para alimentar los cargadores eléctricos, los sensores fotoeléctrico y de movimiento, iluminar el interior del parking y abrir y cerrar la puerta automática.

5.1.1 Elementos y conexionado

Las **placas solares** se escogen conforme a la P deseada y al espacio disponible en la superficie del tejado. El número total de paneles seleccionado es de 8 unidades y se conectan en serie en grupos de 4 (set paneles solares 1 y 2).

Mediante los **reguladores** 1 y 2 se almacena la energía obtenida en los sets baterías 1 y 2 respectivamente. La función de los reguladores es ajustarse a la carga de la batería y mantener constante la tensión suministrada, impidiendo su sobrecalentamiento.

Cada set baterías alimenta directamente a los cargadores eléctricos mediante su respectivo **convertidor de tensión** (convertidor 1 y 2). La conversión de tensión es necesaria ya que los cargadores eléctricos escogidos en este proyecto trabajan a 230 V.

5.1.1.1 Datos del sistema

- Cada set de paneles solares consta de cuatro placas de 360 W cada una conectadas en serie. Esto significa que por sistema de obtención de energía puede obtenerse como máximo una potencia P de **1440 W cada hora**.

- Cada set baterías tiene cuatro en serie de 12 V y 200 Ah. Es decir, un set puede suministrar hasta $48V \cdot 200Ah = 9600 \text{ Wh}$ de energía. Como las baterías no deben proporcionar más del 50 % de su capacidad máxima para evitar daños sensibles, **cada set baterías da como mucho 4800 Wh.**
- Los convertidores 1 y 2 permiten suministrar a los cargadores una potencia máxima de **5000 W**. Como un set baterías da 4800 Wh, se permite alimentar a las tomas (cargadores) con el máximo de energía.

Nota: los convertidores se han escogido de esta potencia por si en el futuro se quiere implementar algún sistema eléctrico adicional. Algunos de estos sistemas pueden incluir consumos como cámaras de seguridad, ventiladores, cargadores adicionales o ampliación de potencia en los cargadores existentes.

5.1.2 Instalación óptima de las placas solares

Las placas solares son el elemento más importante, ya que a través de ellas se obtiene la energía que permite el funcionamiento de los sistemas eléctricos del parking. Los rayos solares inciden directamente sobre los paneles, cuanto más perpendicular incidan, mayor energía se obtiene.

Por otro lado, la trayectoria del sol cambia con la estación del año como se muestra en la siguiente imagen.

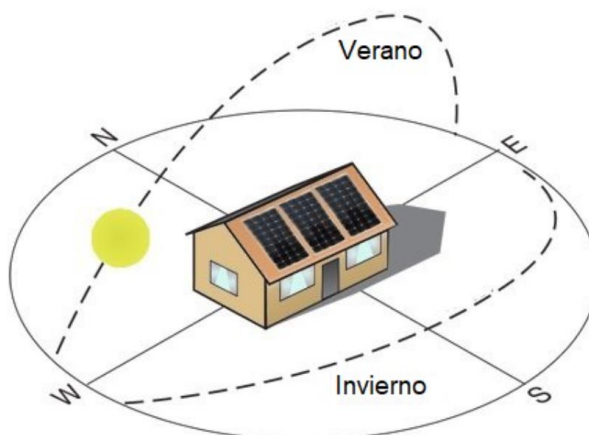


Imagen 5-1: Trayectoria del sol a lo largo de las estaciones [33]

En verano el sol sigue una trayectoria más vertical mientras que en invierno una más horizontal debido a la posición de la tierra respecto al sol. Esta es una de las razones por las que en verano anochece más tarde que en invierno y las horas de luz solar son superiores.

5.1.2.1 Orientación

El sol siempre sale por el este y se esconde por el oeste. Por lo tanto, la mejor manera de colocar las placas solares es **siempre orientadas al sur**, tal y como se muestra en la Imagen 5-1.

5.1.2.2 Ángulo de inclinación

Para el cálculo de la inclinación óptima de las placas hay que tener en cuenta la **inclinación de la tierra** (23°) en cada estación del año. En verano la tierra tiene un ángulo favorable hacia el sol, mientras que en invierno ocurre lo contrario. En la imagen siguiente se muestra esta diferencia.

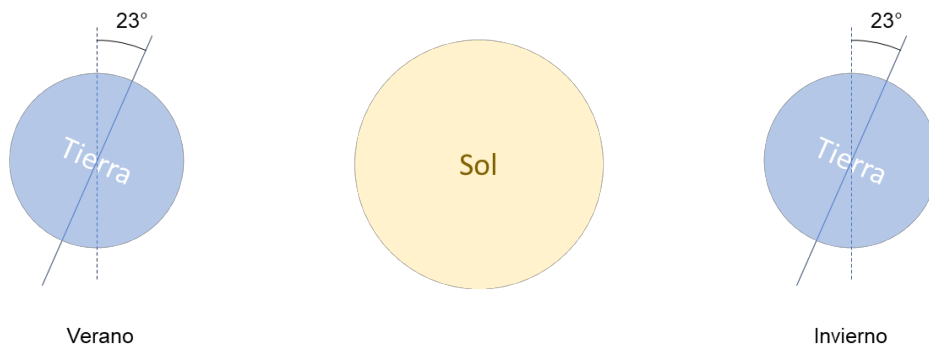


Imagen 5-2: Orientación de la tierra respecto al sol en verano e invierno

Es decir, para cada solsticio existe un **ángulo de inclinación óptimo α** .

Además, hay que considerar la **latitud ($^\circ$)** de la localidad en la que se instale el parking, ya que también contribuyen en la elección del ángulo de inclinación.

La siguiente fórmula calcula el ángulo de inclinación ideal para verano e invierno.

$$\text{Verano} \rightarrow \alpha (^\circ) = \text{latitud del lugar } (^\circ) - \text{inclinación tierra } (^\circ)$$

$$\text{Invierno} \rightarrow \alpha (^\circ) = \text{latitud del lugar } (^\circ) + \text{inclinación tierra } (^\circ)$$

5.1.2.3 Ejemplo

Supongamos Madrid como ciudad para construir el parking. La latitud de Madrid es 40° . Por lo tanto, se obtiene para ambos solsticios:

$$\text{Verano} \rightarrow \alpha (^\circ) = 40^\circ - 23^\circ = 17^\circ$$

$$\text{Invierno} \rightarrow \alpha (^\circ) = 40^\circ + 23^\circ = 63^\circ$$

El 21 de junio (solsticio de verano), la inclinación óptima de las placas solares es $\alpha = 17^\circ$, mientras que el 21 de diciembre (solsticio de invierno), es $\alpha = 63^\circ$.



Imagen 5-3: Rango de inclinación de los paneles en Madrid

5.1.2.4 Propuesta de instalación

Dado que dejar las placas con una inclinación fija a lo largo de todo el año no es lo más eficiente, se propone **adaptar la inclinación cada seis meses** bajo el siguiente estudio adaptado a la ciudad de Madrid. El ángulo de inclinación escogido será α^* .

Dividir el rango de ángulos en tres equitativamente. Para el caso de Madrid sería $\alpha \in [17^\circ, 32.33^\circ, 47.66^\circ, 63^\circ]$. Si se trata de otra ciudad, adaptarlo acorde.

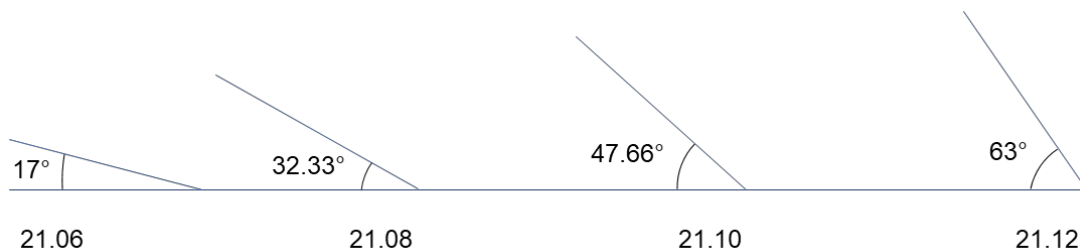


Imagen 5-4: Ángulos óptimos de inclinación cada dos meses en Madrid

Para aprovechar al máximo los rayos solares, lo mejor es que las placas estén lo más perpendiculares a la luz durante el mayor tiempo posible.

Para ello:

- Cada 21.02 → ajustar las placas a una inclinación de $\alpha^* = 32.33^\circ$.
- Cada 21.08 → ajustar las placas a una inclinación de $\alpha^* = 47.66^\circ$.

Fecha	Inclinación de las placas α^*	Inclinación ideal α
21.02	32.33°	47.66°
21.04	32.33°	32.33°
21.06	32.33°	17°
21.08	47.66°	32.33°
21.10	47.66°	47.66°
21.12	47.66°	63°

Tabla 7: Inclinación de las placas en cada periodo frente a la inclinación ideal

De esta manera, durante los periodos de misma inclinación de las placas (21.02-21.08 y 21.08-21.02), el valor de la inclinación de las placas (α^*) coincide con la media de la inclinaciones ideales ($\bar{\alpha}$).

Demostración:

$$21.02 - 21.08 \quad (\alpha^* = 32.33^\circ) \quad = \quad \bar{\alpha} = \frac{47.66^\circ + 32.33^\circ + 17^\circ + 32.33^\circ}{4} = 32.33^\circ$$

$$21.08 - 21.02 \quad (\alpha^* = 47.66^\circ) \quad = \quad \bar{\alpha} = \frac{32.33^\circ + 47.66^\circ + 63^\circ + 47.66^\circ}{4} = 47.66^\circ$$

5.2 Consumo de energía

Como se ha visto en el apartado 5.1, la demanda de energía está formada por los cargadores eléctricos, las tres luminarias, la puerta automática y los sensores fotoeléctrico y de movimiento.

5.2.1 Cargadores eléctricos

Los cargadores eléctricos escogidos son de 2 A y funcionan a 230 V. Por lo tanto, consumen una potencia P de $2A \cdot 230V = \mathbf{460\ W}$.

Las bicicletas eléctricas tienen baterías que pueden ir desde los 300 Wh hasta los 700 Wh de energía. La media de energía en las baterías más comercializadas es 400 Wh.

En conclusión, con los cargadores escogidos se da potencia suficiente para cargar las baterías de las bicicletas eléctricas más comunes del mercado.

Tiempo necesario para cargar completamente las baterías más comunes:

- PowerPack 300 → 5 horas
- PowerPack 400 → 6.5 horas
- PowerPack 500 → 7.5 horas

5.2.1.1 Número de cargadores eléctricos

Del apartado 5.1.1.1 se conoce que la máxima potencia P transmitida por cada convertidor es 5000 W. Con esto, se calcula el número de cargadores eléctricos que pueden instalarse por cada sistema de obtención de energía.

$$\frac{P_{\text{máx.}}}{P_{\text{cargador}}} = \frac{5000\ W}{460\ W} = 10.87 \approx 10\ \text{cargadores}$$

Nota importante: con las baterías empleadas esta cantidad de cargadores podría alimentarse durante 1 hora. Como se desea garantizar mínimo 2 horas de carga por bicicleta conectada, se escogen la mitad (5 cargadores). Como hay dos sistemas de generación, se instalan **10 cargadores eléctricos en total**.

En los siguientes subapartados se hacen cálculos para únicamente un conjunto de 5 cargadores debido a la simetría del sistema de obtención de energía.

5.2.1.2 Estudio de utilización de energía

Cada set baterías puede proporcionar 4800 Wh (dato obtenido del apartado 5.1.1.1) estando al 100 % de carga. Esta energía se distribuye entre los 5 cargadores que alimenta cada set. Del apartado 5.2.1 sabemos que cada cargador consume 460 W.

Mediante la fórmula:

$$\text{Tiempo de suministro de energía} = \frac{4800 \text{ W/h}}{N_c \cdot 460 \text{ W}} [h]$$

con:

- N_c : número de bicicletas eléctricas conectadas a cargadores

se obtiene el **tiempo de energía suministrada a cargadores t** que se puede dar a cada batería de bicicleta eléctrica en función del número que haya conectadas.

N_c	t (horas)
1	10.43
2	5.22
3	3.48
4	2.61
5	2.09

Tabla 8: Tiempo de energía suministrada a cada bicicleta eléctrica en función de N_c

A continuación, se analizan dos casos bajo las siguientes hipótesis:

1. Sets baterías 1 y 2 totalmente cargados.
2. No hay generación de energía durante el periodo de carga.
3. Sólo consumen energía los cargadores eléctricos.
4. Si $N_c > 1$, N_c se conectan a la vez.
5. Se asume un mínimo nivel de carga para las baterías de las bicicletas eléctricas en el momento de inicio de carga.

5.2.1.2.1 Caso batería PowerPack 400 Wh

Del apartado 5.2.1 se sabe que una batería convencional PowerPack 400 (batería más común) descargada tarda **6.5 horas** en cargarse al 100 %.

Conocidos los datos de la Tabla 8 se obtienen los porcentajes de carga de batería en función de N_c con la siguiente fórmula:

$$\frac{t}{\text{tiempo requerido en cargar batería PowerPack 400}} \cdot 100 = \frac{t}{6.5 \text{ h}} \cdot 100 [\%]$$

N_c	Carga de cada batería (%)
1	100.00
2	80.31
3	53.54
4	40.15
5	32.15

Tabla 9: Porcentaje de carga alcanzado en cada batería PowerPack 400 Wh en función de N_c

De esta manera, en el escenario de mayor demanda de energía ($N_c = 5$), cada bicicleta eléctrica se cargará un 32.15 %.

5.2.1.2.2 Caso batería 700 Wh

Como se ha comentado en el apartado 5.2.1, existen bicicletas eléctricas con baterías de hasta 700 Wh. En este caso, el tiempo de carga completa está en torno a **9 horas**. Con los datos de la Tabla 8 y la misma fórmula del caso anterior se obtiene:

$$\frac{t}{\text{tiempo requerido en cargar batería comercial}} \cdot 100 = \frac{t}{9} \cdot 100 [\%]$$

N_c	Carga de cada batería (%)
1	100.00
2	58.00
3	38.67
4	29.00
5	23.22

Tabla 10: Porcentaje de carga alcanzado en cada batería de 700 Wh en función de N_c

De esta manera, en el escenario de mayor demanda de energía ($N_c = 5$), cada bicicleta eléctrica se cargará un 23.22 %.

5.2.1.3 Conclusión

Para el caso de las baterías más convencionales (400 Wh), el parking proporciona un porcentaje mínimo de carga a cada batería de 32.15 %.

En el caso de tener bicicletas eléctricas con las baterías más potentes del mercado (700 Wh), el sistema de generación de energía del parking es capaz de dar mínimo 23.22 % de carga a cada batería.

Además, el tiempo de carga puede incrementarse notablemente gracias a los sistemas de obtención de energía.

5.2.2 Iluminación

Haciendo referencia al apartado 4.5, las tres luminarias escogidas se alimentan con la batería luminarias a través del convertidor luminarias. Esta batería se recarga mediante el sistema de obtención de energía 1 (ver apartado 6.1).

5.2.3 Puerta automática

La puerta tiene su propio sistema de baterías (tres unidades de 12 V cada una conectadas en serie = 36 V). Se recarga directamente a través del sistema de obtención de energía 2 (ver apartado 6.1).

5.2.4 Sensores fotoeléctrico y de movimiento

El consumo del sensor fotoeléctrico está entre 10-30 V y es suministrado directamente por la batería luminarias.

Por otro lado, el sensor de movimiento infrarrojos trabaja a 230 V y mediante el convertidor luminarias es también alimentado desde la batería luminarias.

6 Conexionado eléctrico

6.1 Conexionado a los sistemas de consumo

Los diferentes sistemas de consumo (cargadores, luminarias, puerta y sensores) son alimentados directamente desde las baterías. Se ha escogido el siguiente conexionado:

- Cada sistema de obtención de energía alimenta directamente su set baterías correspondiente.
- El sistema de obtención de energía 1 alimenta a la batería luminarias.
- El sistema de obtención de energía 2 alimenta a las tres baterías de 12 V en serie de la puerta automática.

Esta decisión se ha tomado en base a un estudio en el que se analiza dónde tiende el usuario a aparcar convenientemente su bicicleta (eléctrica) al entrar al aparcamiento (lado izquierdo o derecho).

El 84.9 % de usuarios lleva su bicicleta a su derecha cuando camina con ella.

Cuando anda en bicicleta, se baja de ella y sigue caminando con ella al lado, ¿a qué lado va la bicicleta?

53 respuestas

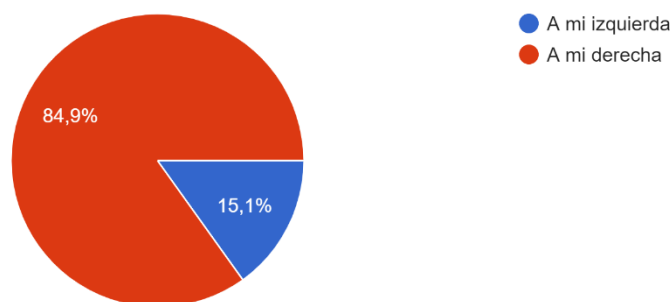


Imagen 6-1: Gráfico de resultados de dónde lleva el usuario la bicicleta cuando camina. Muestra: 53 usuarios de diferentes edades

Por comodidad, el usuario que lleva la bicicleta a su derecha tiende a aparcar en una plaza a su izquierda según entra a un aparcamiento (es más fácil maniobrar con la bicicleta). Como conclusión de esto se saca que **el lado izquierdo del parking según se entra tenderá a rellenarse antes** y por lo tanto mayor número de cargadores eléctricos conectados en un momento dado (mayor consumo).

Conclusión

- La batería luminarias se alimenta desde el sistema de obtención de energía 1 (izquierdo), ya que su consumo es menor que el de las baterías de la puerta automática.
- Al sistema de mayor consumo (puerta automática) se le alimenta desde el sistema de obtención de energía 2.

Nota importante: la batería luminarias, las baterías de los sets baterías 1 y 2 y las tres de la puerta automática son baterías de 12 V. Como los reguladores 1 y 2 detectan a la salida 12 o 24 V, **se carga cada batería individualmente mediante el regulador correspondiente (ver esquema unifilar)**. Es decir, evitar conectar las bornas de carga en las baterías en serie, ya que la tensión detectada por el regulador sería >12 V. De esta manera vale con un solo regulador por sistema.

6.2 Esquema unifilar

A continuación se muestra el esquema unifilar con protecciones.

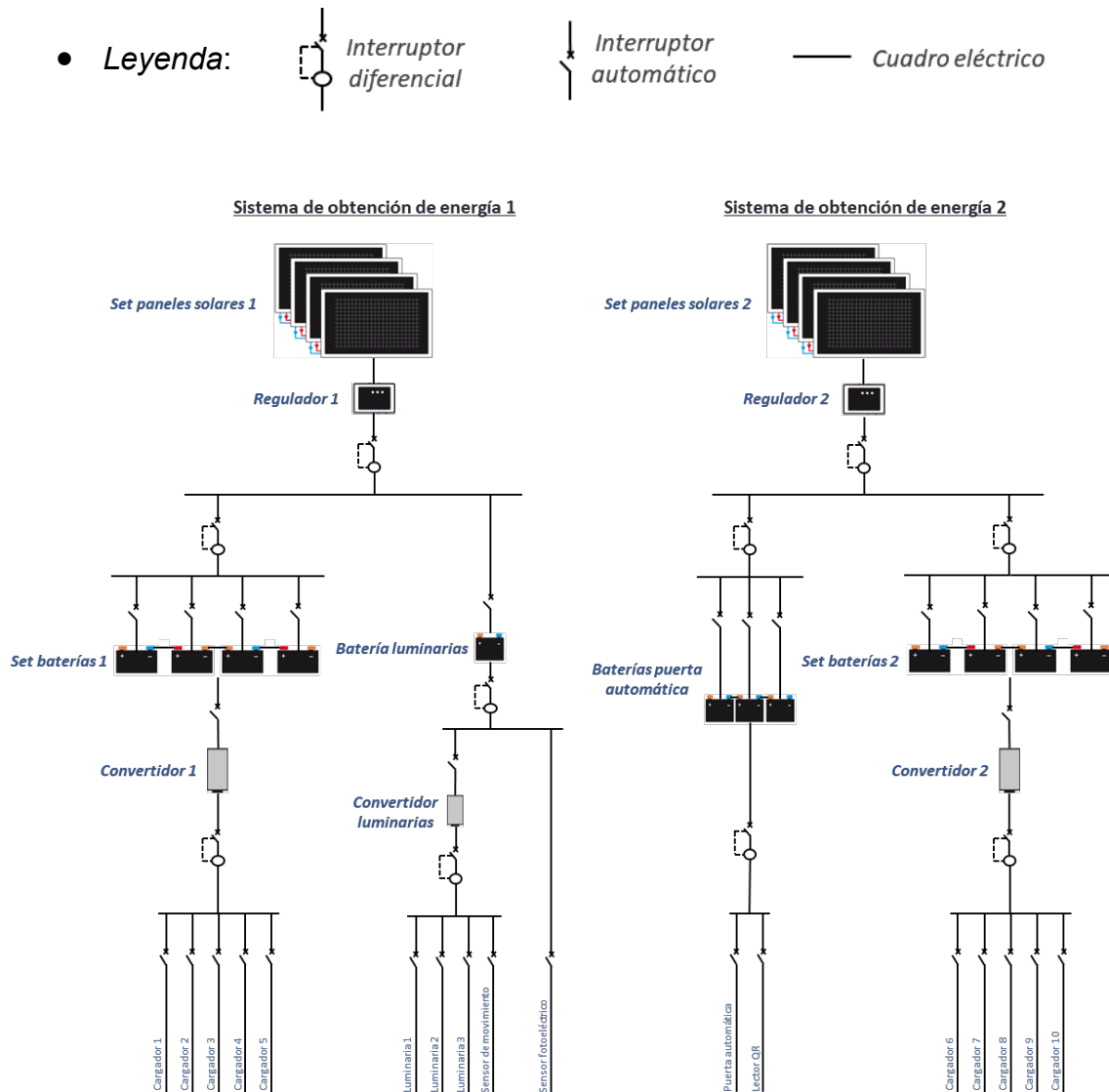


Imagen 6-2: Esquema unifilar de conexiones

El cálculo y diseño de las protecciones (interruptores diferenciales y automáticos) no está al alcance de este proyecto.

Según el REBT, todo aparcamiento cerrado o abierto cuya superficie construida exceda 100 m² o cuya ocupación sea mayor a 100 personas deberá llevar luz de emergencia. En este caso no hace falta aunque puede instalarse para casos excepcionales.

6.3 Puesta a tierra

La puesta a tierra se establece principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas. También asegura la actuación de las protecciones y elimina o disminuye el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

La puesta a tierra en este parking es obligatoria, ya que varios de los elementos eléctricos trabajan a una tensión superior a 50 V.

Se efectúa de acuerdo con el REBT, concretamente con lo especificado en la instrucción ITC-BT-18.

Todos los conductores de protección se unen en la borna principal de tierra. A su vez, a la borna principal también le llega el conductor de equipotencialidad. Además, todo elemento mecánico de la instalación que no tenga función eléctrica debe ir conectado a la borna principal. Por otro lado, la borna principal debe estar unida a la puesta a tierra, que tiene que estar enterrada un mínimo de 0,5 metros.

La toma de tierra es una masa metálica introducida en el terreno a una profundidad de 5 metros. El borne de puesta a tierra es accesible y desmontable para poder medir la resistividad.

Los factores que influyen en la resistividad del terreno son; naturaleza del terreno, temperatura, humedad, estratigrafía, salinidad, variaciones estacionales y otros factores eléctricos. La resistividad se puede aumentar con elementos químicos, que además también se pueden usar para evitar la corrosión de las picas.

Las secciones de los conductores de protección, el conductor de equipotencialidad, los conductores de tierra y el cálculo del electrodo no están al alcance de este proyecto.

El proceso para el cálculo de puesta a tierra deberá ser el siguiente:

- 1) Definición de la naturaleza del terreno; en este caso es seco.
- 2) Cálculo de las dimensiones del electrodo en base al aparcamiento y cálculo de la tensión de contacto.
- 3) Comprobación de la seguridad. Si la tensión de contacto es menor que la de seguridad d , el cálculo es correcto. En caso contrario, hay que comprobar la actuación de las protecciones.

En caso de necesitar **pararrayos** se instalará en el centro de la superficie del techo. Para ello primero hay que contemplar su necesidad. En caso de haber pararrayos a la redonda no haría falta, ya que los presentes tienen una superficie de actuación que protegería al aparcamiento.

Por otro lado, la conexión del sistema de obtención de energía a la red no compensa. El sistema no genera lo suficiente como para sacar rentabilidad de la obra civil que ello conlleva.

7 Estructura

7.1 Normativas y valores

Para el cálculo de la estructura se han considerado las siguientes normativas:

Selección de normas

<i>Hormigón</i>	EHE-08 (España)
<i>Acero conformado</i>	Eurocódigos 3 y 4 (UE)
<i>Acero laminado</i>	Eurocódigos 3 y 4 (UE)
<i>Aluminio</i>	Eurocódigo 9
<i>Muros de bloques de hormigón</i>	CTE DB SE-F (España)
<i>Losas mixtas</i>	Eurocódigo 4
<i>Cimentación</i>	Criterio CTE DB-SE-C

Tabla 11: Normativas

Los valores de resistencia de hormigón armado escogidos:

- Hormigón:
 - Forjados: HA-25, $Y_c = 1.5$
 - Cimentación: HA-25, $Y_c = 1.5$
 - Características del árido: Cuarcita (15 mm)
- Acero:
 - Barras: B 400 S, $Y_c = 1.5$
 - Pernos: A-4t

Por otro lado, los valores para perfiles:

- Acero:
 - Laminados y armados: S275 (EN 10025-2)
 - Conformados: S275

Los coeficientes de pandeo:

- Pilares de hormigón y mixtos: $\beta_x = 1$, $\beta_y = 1$
- Pilares de acero: $\beta_x = 1$, $\beta_y = 1$
- Pilares de madera: $\beta_x = 1$, $\beta_y = 1$

7.2 Previsualización del diseño

En primer lugar hay que ajustar el diseño de la estructura a la geometría del parking. Se escogen ocho pilares repartidos por el exterior unidos por vigas con la siguiente distribución:

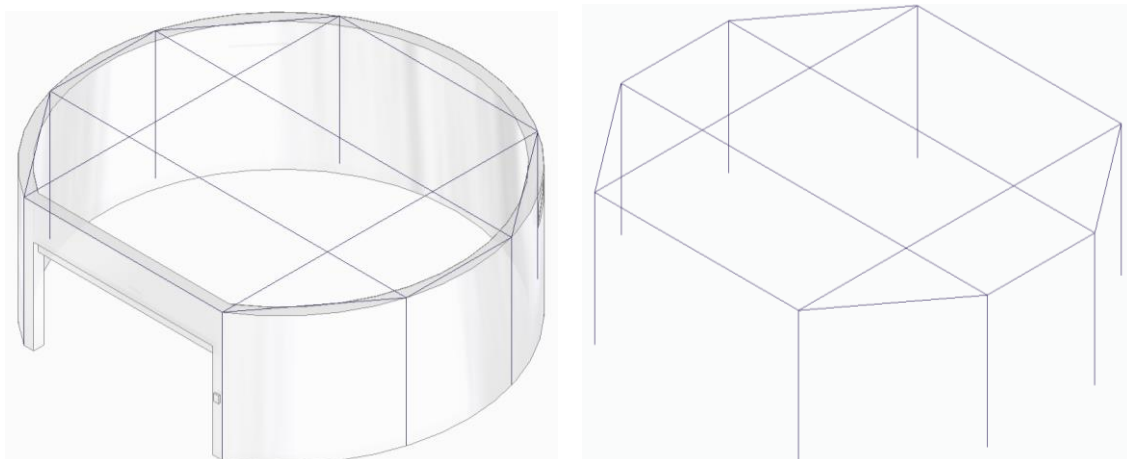


Imagen 7-1: Distribución de vigas y pilares en el aparcamiento

Nota: para un plano con las cotas de los perfiles mirar apartado 15 Planos.

Se diseña la estructura teniendo en cuenta todos los parámetros y cálculos de diseño del apartado 3.

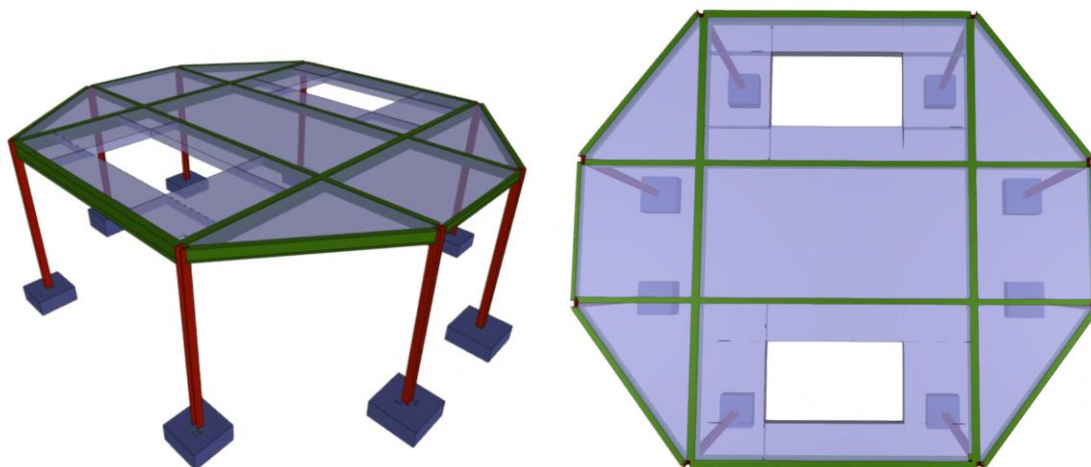


Imagen 7-2: Representación real de estructura

Las vigas están representadas en verde, los pilares en rojo y la cimentación en azul oscuro. Los espacios vacíos de la parte superior están reservados para las claraboyas.

Todas las uniones entre vigas y pilares están soldadas y empotradas.

La orientación de los pilares siempre será hacia dentro de la estructura.

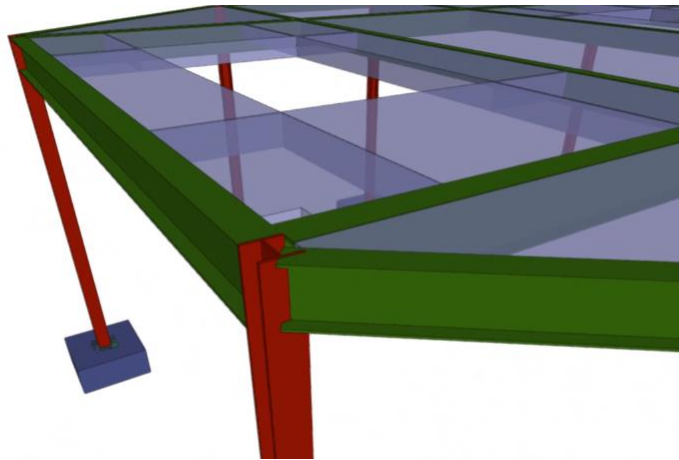


Imagen 7-3: Uniones entre vigas y pilar. Orientación de pilares hacia dentro de la estructura

7.3 Forjado

Los paños (superficies azules entre vigas en Imagen 7-2) son losas mixtas de chapa colaborante con encofrado perdido de tipo EUROMODUL44 en forma de u. En ellos se aplican las cargas para diseñar los perfiles. La dirección escogida coincide con vigas longitudinales (ver Imagen 7-5).

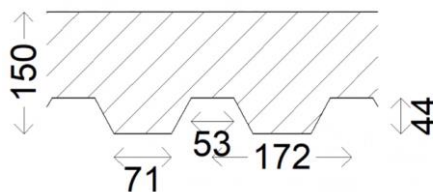


Imagen 7-4: Losa mixta EUROMODUL44 en forma de u

La anchura de la chapa estructural donde apoya el forjado es de 0.75 mm.

7.4 Cargas

Para el cálculo y dimensionamiento de perfiles se establecen las cargas del sistema. Existen cargas puntuales y distribuidas.

7.4.1 Puntuales

Son todas aquellas que actúan sobre un área muy pequeña o punto en concreto. A continuación se detallan las cargas puntuales existentes en el aparcamiento.

7.4.1.1 Elementos del techo

- Panel solar $\rightarrow 21 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 206 \text{ N} \approx \mathbf{0.25 \text{ kN}}$
- Batería (12 V 200 Ah) $\rightarrow 44.4 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 436 \text{ N} \approx \mathbf{0.5 \text{ kN}}$
- Regulador $\rightarrow 1.3 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 13 \text{ N} \approx \mathbf{0.03 \text{ kN}}$
- Convertidor (48/230 V) $\rightarrow 30 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 295 \text{ N} \approx \mathbf{0.4 \text{ kN}}$
- Baterías luminarias $\rightarrow 8.5 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 83.36 \text{ N} \approx \mathbf{0.2 \text{ kN}}$

Nota 1: la carga del convertidor luminarias se incluye en la de batería luminarias.

Nota 2: las cargas se han sobredimensionado a la alza considerando así el peso adicional de los materiales de sujeción correspondientes a cada elemento.

7.4.1.2 Cargas permanentes o transitorias

Son cargas gravitacionales permanentes que permanecen relativamente constantes. Pueden ser debido a contracciones en perfiles, influencia del hormigón, efectos de pre-estrés, etc. El propio programa CYPE establece y distribuye estas cargas en la estructura en función de sus características.

7.4.2 Distribuidas

Son aquellas que se aplican en un elemento a lo largo de toda su longitud o parte de ella. Normalmente actúan sobre parte del área de la estructura. La carga de las **claraboyas** se considera como carga distribuida a lo largo del perímetro donde apoya y tiene valor **0.5 kN/m** por cada lado (ver Imagen 7-5).

7.4.2.1 Peso propio de la estructura

El peso propio de la estructura incluye el peso de los perfiles, el forjado y todo lo implícito a la estructura que suponga una carga. El propio programa establece y distribuye estas cargas convenientemente.

7.4.2.2 Carga del viento

La acción del viento se calcula a partir de la presión estática q_e que actúa en la dirección perpendicular a la superficie expuesta. El programa obtiene de forma automática dicha presión en función de la geometría del edificio, la zona eólica y grado de aspereza seleccionados, y la altura sobre el terreno del punto considerado. Para ello se escoge un valor conforme a los criterios del Código Técnico de la Edificación DB-SE AE. Para este proyecto se estima **1 kN/m² en los ejes X e Y.**

7.4.2.3 Carga de nieve

En España sólo Ávila (1131 m), Soria (1063 m) y Segovia (1005 m) están por encima de los 1000 metros de altitud. Por lo tanto y según el CTE, la carga de nieve se establece **1 kN/m²**. En caso de construir el parking en alguna de estas tres ciudades, habría que recalcular la estructura con la carga de nieve correspondiente.

7.4.2.4 Sobrecarga de uso

La categoría de uso del techo es **cubierta transitable** según la normativa G.1 del CTE (para labores de mantenimiento). Sus cargas correspondientes se incluyen en sobrecarga de uso. El propio programa establece y distribuye estas cargas convenientemente.

Nota: las cifras (0.5, 0.4, 0.03, 0.25 y 0.2) son las cargas puntuales calculadas en el apartado 7.4.1.1 y la carga distribuida longitudinal de las claraboyas.

7.6 Cimentación

La cimentación es el anclaje y la fijación de la estructura al terreno mediante zapatas y placas de anclaje. La base de los pilares se cimenta con zapatas de hormigón armado. Para ello es necesario antes fijar cada pilar a una placa de anclaje. En la siguiente imagen se ilustra el montaje final de pilar-placa-zapata.

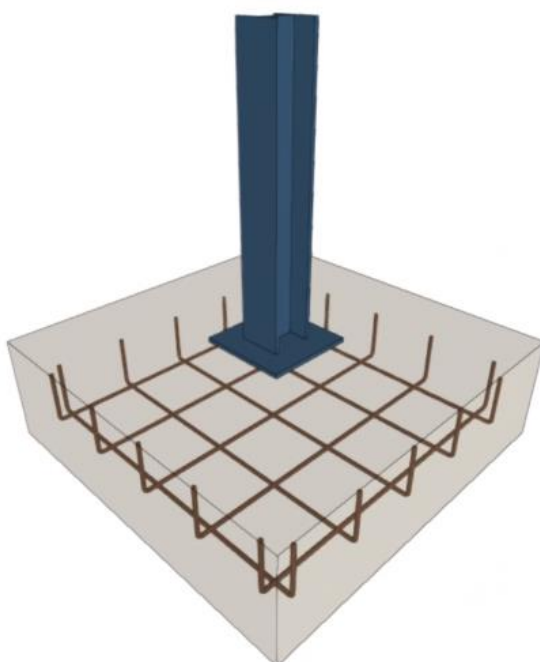


Imagen 7-6: Cimentación de pilar: placa de anclaje y zapata

7.6.1 Placas de anclaje

Las placas de anclaje se fijan a las zapatas de hormigón mediante pernos y ganchos, permitiendo una perfecta unión pilar-terreno. Se escoge la misma placa para cada pilar y sus características son las siguientes:

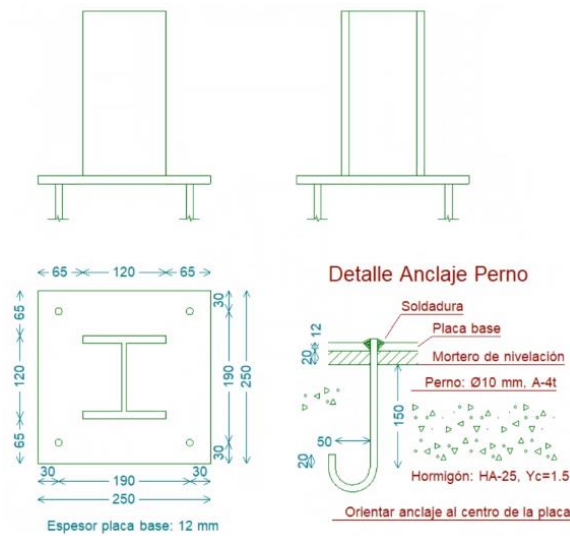


Imagen 7-7: Dimensionamiento placas de anclaje

- **Dimensiones:** 250x250x14 mm (LxBxH).
- **Posición:** centradas.
- **Pernos:** 4 de Ø10 mm y L = 15 cm. Gancho a 180°.
- Material: acero A-4t.

7.6.2 Zapatas

Las zapatas se utilizan para transmitir las tensiones al terreno. Hay dos tipos diferentes para cada conjunto de pilares, ambos con espesor mínimo de 40 cm.

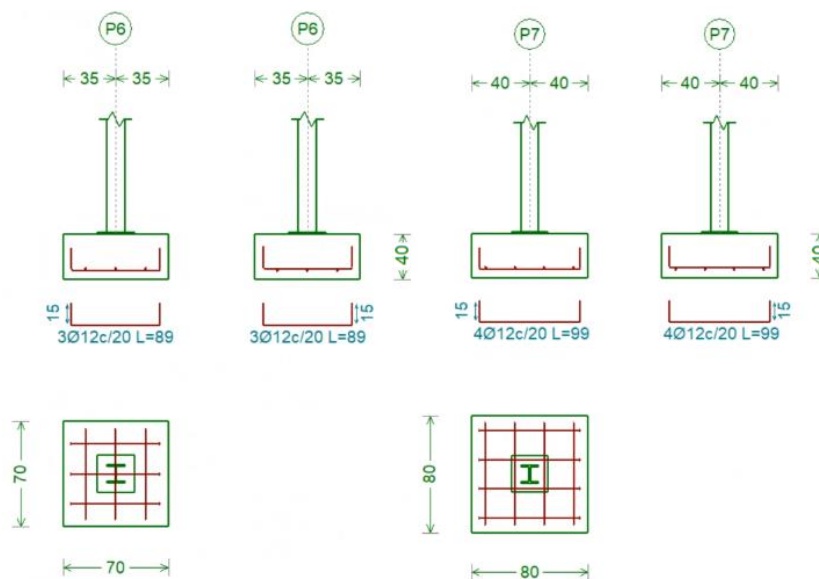


Imagen 7-8: Zapatas para pilares P6 y P7

- **P1, P2, P5 y P6** → Zapata cuadrada 700x700x400 mm (LxBxH).
 - Armado: 3 $\varnothing$ 12c/20 L = 89 cm en ejes X e Y.
- **P3, P4, P7 y P8** → Zapata cuadrada 800x800x400 mm (LxBxH).
 - Armado: 3 $\varnothing$ 12c/20 L = 89 cm en ejes X e Y.

Las barras del armado son B 400 S con un coeficiente de minoración de la resistencia del acero $Y_s = 1.15$.

7.7 Cerramiento

El cerramiento de la pared lateral podrá ser de ladrillo o chapa metálica. La estructura de la mayoría de los parkings es de metal. Sin embargo, al tratarse de un parking exterior conviene un cerramiento de **ladrillo**, ya que cumple la misma función además de ser más económico y mejor aislante térmico. Si se decide hacer de metal, no sólo es más caro, sino que además es más propenso a que se transmita la temperatura exterior.

La parte exterior del parking tiene un recubrimiento de pintura para ocultar los ladrillos.

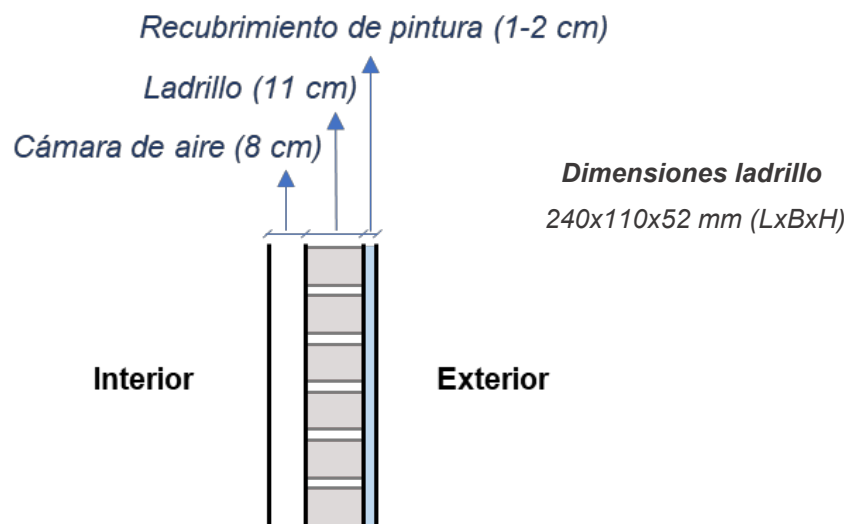


Imagen 7-9: Cerramiento

7.8 Esfuerzos y comprobaciones E.L.U

Las comprobaciones del Estado Límite Último se hacen en vigas y pilares para asegurar que soportan las cargas del sistema sin riesgo de rotura.

Para facilitar la visualización de los perfiles ver Imagen 7-5.

7.8.1 Pilares

P1

Esfuerzos pésimos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	50.1	-8.2	12.3	-6.1	3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	50.1	-8.6	12.2	-6.0	3.8	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	50.1	-8.2	12.4	-6.1	3.6	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	51.1	1.8	-4.5	-6.1	3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	51.0	2.0	-4.4	-6.0	3.8	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	51.1	1.8	-4.6	-6.1	3.6	

Tabla 12: Resultados de esfuerzos de pilar P1

P2

Esfuerzos pésimos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	50.1	8.2	12.3	-6.1	-3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	50.1	8.6	12.2	-6.0	-3.8	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	50.1	8.2	12.4	-6.1	-3.6	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	51.0	-1.8	-4.5	-6.1	-3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	51.0	-2.0	-4.4	-6.0	-3.8	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	51.0	-1.8	-4.6	-6.1	-3.6	

Tabla 13: Resultados de esfuerzos de pilar P2

P3

Esfuerzos pésimos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	26.4	4.9	-13.5	6.8	-2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	26.4	5.2	-13.4	6.7	-2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	26.4	4.9	-13.5	6.8	-2.2	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c , NM _y M _z	27.4	-1.4	5.6	6.8	-2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	27.4	-1.6	5.5	6.7	-2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , M _t V _y	27.4	-1.4	5.6	6.8	-2.2	

Tabla 14: Resultados de esfuerzos de pilar P3

P4

Esfuerzos p�simos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	26.5	-4.9	-13.6	6.8	2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	26.5	-5.2	-13.4	6.7	2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	26.5	-4.8	-13.6	6.8	2.2	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c , NM _y M _z	27.5	1.4	5.6	6.8	2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	27.5	1.6	5.5	6.7	2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , M _t V _y	27.5	1.4	5.7	6.8	2.2	

Tabla 15: Resultados de esfuerzos de pilar P4

P5

Esfuerzos p�simos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	51.3	8.3	-12.4	6.1	-3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	51.3	8.6	-12.2	6.0	-3.9	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	51.3	8.3	-12.4	6.1	-3.7	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	52.3	-1.9	4.6	6.1	-3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	52.2	-2.0	4.4	6.0	-3.9	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	52.3	-1.8	4.6	6.1	-3.7	

Tabla 16: Resultados de esfuerzos de pilar P5

P6

Esfuerzos pésimos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	51.3	-8.3	-12.4	6.1	3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	51.3	-8.6	-12.2	6.0	3.9	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	51.3	-8.3	-12.4	6.1	3.7	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	52.3	1.9	4.6	6.1	3.7	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	52.3	2.0	4.4	6.0	3.9	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	52.3	1.8	4.6	6.1	3.7	

Tabla 17: Resultados de esfuerzos de pilar P6

P7

Esfuerzos p�simos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	26.6	-4.9	13.6	-6.8	2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	26.6	-5.2	13.4	-6.7	2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	26.6	-4.8	13.6	-6.8	2.2	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c , NM _y M _z	27.6	1.4	-5.6	-6.8	2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	27.6	1.6	-5.5	-6.7	2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , M _t V _y	27.6	1.4	-5.7	-6.8	2.2	

Tabla 18: Resultados de esfuerzos de pilar P7

P8

Esfuerzos p�simos							Estado
Naturaleza	Comp.	N (kN)	Mxx (kN�m)	Myy (kN�m)	Qx (kN)	Qy (kN)	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c	26.5	4.9	13.5	-6.8	-2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	26.5	5.2	13.4	-6.7	-2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , NM _y M _z , M _t V _y	26.5	4.9	13.6	-6.8	-2.2	
G, Q, V ⁽¹⁾	N _c , NM _y M _z	27.5	-1.4	-5.6	-6.8	-2.2	Cumple
G, Q, V ⁽²⁾	M _y , V _z , M _t V _z	27.5	-1.6	-5.5	-6.7	-2.4	
G, Q, V ⁽³⁾	M _z , V _y , M _t V _y	27.5	-1.4	-5.6	-6.8	-2.2	

Tabla 19: Resultados de esfuerzos de pilar P8

Comentarios sobre los resultados:

Todos los pilares cumplen los límites establecidos por la normativa.

- Los pilares **P1** y **P2** soportan idénticamente los mismos esfuerzos por la simetría de la estructura (cada uno con sus signos de M_{xx} y Q_y correspondientes).
- **P5** y **P6** aguantan también esfuerzos idénticos (signo M_{xx} y Q_y acorde). Nótese que estos valores son ligeramente superiores a los de P1 y P2. Esto es debido a la mayor acumulación de cargas puntuales en el tercio superior de la estructura (según Imagen 7-5).
- Con **P3** y **P8** ocurre lo mismo que con P1 y P2 (con sus propios valores).
- **P4** y **P7** soportan esfuerzos superiores a P3 y P8 por la misma razón que P5 y P6 sobre P1 y P2.

7.8.2 Vigas

Todas las vigas cumplen con las comprobaciones de resistencia del Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2005 (ver anexo 14 *Comprobaciones E.L.U 3. Vigas 3.1 Forjado 1*).

7.9 Resumen de perfiles

Apoyarse en Imagen 7-5.

<i>Perfil</i>	<i>Tipo</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Peso (kg)</i>
<i>Pilar P1</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P2</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P3</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P4</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P5</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P6</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P7</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Pilar P8</i>	HEB 120	3.00	82.11
<i>Viga P1-P2</i>	IPE 240	4.41	135.36
<i>Viga P1-P6</i>	IPE 240	7.11	218.23
<i>Viga P2-P3</i>	IPE 180	3.00	56.28
<i>Viga P2-P5</i>	IPE 180	7.11	218.23
<i>Viga P3-P4</i>	IPE 120	2.21	22.90
<i>Viga P3-B1</i>	IPE 180	1.79	33.58
<i>Viga P4-P5</i>	IPE 180	3.00	56.28
<i>Viga P4-B2</i>	IPE 180	1.79	33.58
<i>Viga P5-P6</i>	IPE 240	4.41	135.36
<i>Viga P6-P7</i>	IPE 180	3.00	56.28
<i>Viga P7-P8</i>	IPE 120	2.21	22.90
<i>Viga P7-B3</i>	IPE 180	1.79	33.58
<i>Viga P8-P1</i>	IPE 180	3.00	56.28
<i>Viga P8-B4</i>	IPE 180	1.79	33.58
TOTAL		79.20	1 769.30

Tabla 20: Resumen de perfiles seleccionados

8 Mantenimiento

En términos generales, el parking no requiere de grandes labores de mantenimiento. La mayoría vienen descritas en el manual de mantenimiento que cada proveedor entrega con su producto. En este apartado se describen las tareas de mantenimiento más relevantes del aparcamiento.

Por un lado, el mantenimiento básico de los **módulos de doble altura**:

- Inspección anual de los materiales (acero y aluminio) para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
- En la inspección anual, revisar piezas defectuosas por si deben reemplazarse.
- Respecto al mantenimiento de prevención, es suficiente con una intervención cada tres años.

Por otro lado, los elementos individuales de los dos **sistemas de obtención de energía** tienen su propio manual de mantenimiento, destacando:

- Limpieza de las placas solares. En condiciones normales (suciedad atmosférica normal y sin excrementos de pájaros destacables) es suficiente con limpiarlas una vez al año.
- Los reguladores y convertidores tienen un mantenimiento preventivo y otro correctivo según fabricante. El preventivo implica revisiones internas del equipo, procedimientos de limpieza o mediciones de voltaje. El correctivo incluye el reemplazo de componentes averiados por piezas nuevas y de calidad.
- Las baterías demandan el mismo mantenimiento que la de las luminarias (ver párrafo siguiente).

La **batería luminarias** tiene que ser revisada semestralmente para controlar su capacidad de carga. En caso de ser inferior al 65 % hay que sustituirla ya que cada 25 % de descarga el voltaje baja en torno a 0.2 voltios y el rendimiento disminuye.

La capacidad de carga de los **cargadores eléctricos** se revisará anualmente. Se reemplazarán en caso de ser necesario.

Las **claraboyas** requieren un mantenimiento y limpieza mínimos. Debido a su forma, pendiente y ubicación, las fuertes lluvias arrastran la mayor parte de la suciedad. Ocasionalmente será necesario limpiar el interior y el exterior (en caso de que la lluvia no haga el trabajo). La limpieza de las cúpulas se realizará mediante agua jabonosa, excluyendo todo tipo corrosivo.

La **puerta automática** necesita un mantenimiento más exhaustivo en comparación al resto de elementos.

- Ajustar la tensión de la correa. Un largo periodo de ejecución de la puerta puede llevar a una alteración en la tensión de las correas. Por este motivo se aconseja una revisión periódica de tensión de correa para garantizar el normal funcionamiento de la puerta.
- Verificaciones y revisiones técnicas realizadas por técnicos habilitados en puertas automáticas de vidrio. Los puntos a comprobar durante la revisión son:
 - o Fijación del automatismo al suelo.
 - o Acondicionamiento de los cables y su conexionado.
 - o Ruidos en el carro de arrastre o motor.
 - o Alineación de las hojas.
 - o Velocidad/fuera de la puerta.
 - o Funcionamiento del selector.
 - o Respuesta y alcance de radar.
 - o Correcto funcionamiento de apertura y cierre en acorde a lo establecido.

Para el mantenimiento del **sensor de movimiento infrarrojos** hay que:

- Comprobar regularmente si los elementos de montaje están bien ajustados a fin de evitar el desplazamiento del detector de su posición normal.

- Revisar regularmente el estado de las conexiones eléctricas. Si fuera necesario, reparar los aislamientos defectuosos o sustituir el detector.

El **sensor fotoeléctrico** requiere mantenimiento periódico e inspecciones mínimas con el fin garantizar su correcto funcionamiento. Se debe:

- Comprobar que está perfectamente fijado al techo, su carcasa está bien sujeta y sin daños externos.
- Revisar las conexiones eléctricas.
- Limpiarlo mediante un cepillo suave para eliminar los restos de polvo, pequeños insectos, etc. En caso de que no sea suficiente, desmontar la carcasa para una correcta limpieza.

La iluminancia inicial proporcionada por la instalación disminuye de manera gradual con el tiempo debido al uso, disminución de los lúmenes de las lámparas, a la suciedad del sistema, etc. Pero es posible mantener la iluminancia sobre un mínimo si se limpian las **luminarias**. Como en este proyecto se ha escogido un factor de mantenimiento $f_m = 0.7$, las tres luminarias se renuevan cuando la iluminancia descienda por debajo del 70 %.

Las **rejillas** se limpian anualmente para limpiar la acumulación de suciedad.

Las **taquillas** se revisan cada seis meses; tanto su funcionamiento como posibles abandonos de propiedad.

Por último, la **limpieza interior del parking** se hace cada mes, garantizando así una higiene de calidad.

Nota: los costes de mantenimiento durante los dos primeros años desde la construcción del aparcamiento se estiman de un 1 % de los costes de inversión. A partir del tercer año ascienden al 2 %.

9 Presupuesto

En este apartado se analiza el coste de inversión total que conllevan los materiales y la construcción del aparcamiento incluyendo la mano de obra.

9.1 Productos

En primer lugar, los elementos de la lista de proveedores (ver 3.3).

PRODUCTO	PRECIO UNIDAD	UNIDADES	M.O	PRECIO con IVA
<i>Paneles solares</i>	299.89 €	8	-	2 399.12 €
<i>Reguladores 1 y 2</i>	213.16 €	2	-	426.32 €
<i>Batería 12 V 200Ah</i>	199.89 €	8	-	1 599.12 €
<i>Convertidor (48/230 V) 5000 W</i>	1 996.70 €	2	-	3 993.40 €
<i>Batería 12 V 26Ah</i>	59.90 €	1	-	59.90 €
<i>Convertidor (12/230 V) 300 W</i>	27.95 €	1	-	27.95 €
<i>Cargadores eléctricos</i>	89.00 €	10	-	890.00 €
<i>Claraboyas</i>	574.63 €	2	-	1 149.26 €
<i>Rejillas</i>	130.13 €	4	-	520.51 €
<i>Estructura del parking (módulos)</i>	225.00 €/plaza	40	2 178.00 €	13 068.00 €
<i>Taquillas</i>	Llave fija: 713.19 € Moneda: 820.38 €	2 y 2	-	3 068.56 €
<i>Puerta automática</i>	1 603.98 €	1	2 626.02 €	4 230 €
<i>Luminarias</i>	172.00 €	3	-	516.00 €
<i>Sensor infrarrojos de movimiento</i>	9.55 €	1	-	9.55 €
<i>Sensor fotoeléctrico</i>	48.78 €	1	-	48.78 €
<i>Lector QR</i>	200.00 €	1	-	200.00 €
TOTAL (productos)			32 206.47 €	

Tabla 21: Presupuesto de los productos obtenidos de proveedores

La mano de obra de la puerta automática incluye el montaje de esta [34]. En el caso de la estructura del parking (módulos), la M.O incluye el precio de los tres palés necesarios para su transporte (a Madrid 600 € + IVA). Su montaje se incluye en el apartado 9.3.

La mano de obra del resto de elementos y conexionado de la instalación se incluye dentro del montaje de productos (apartado 9.3).

9.2 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Comprende el precio de materiales de construcción como pilares, vigas, barras de acero, pernos, hormigón armado, etc.

Nota importante: todos los precios calculados a continuación incluyen el coste de mano de obra.

- Se sabe del apartado 7.9 que la estructura contiene un total de 1 769.3 kg de **acero estructural S275**. Según CYPE Ingenieros [35] el precio por kg de acero es 1.96 €. Es decir:

$$\text{Coste de acero estructural (S275)} \rightarrow 1\,769.3\text{ kg} \cdot 1.96 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = \mathbf{3\,467.83\text{ €}}$$

Por otro lado, el **acero de armar** de barras consta de: 314 kg (incluidas zapatas y losas mixtas). Su precio por kg es 1.72 € [36].

$$\text{Coste de acero de armar (B 400 S)} \rightarrow 314\text{ kg} \cdot 1.72 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = \mathbf{540.08\text{ €}}$$

Por último, cada **placa de anclaje** tiene un coste de 29.37 € [37].

$$\text{Coste de placas de anclaje (B 400 S)} \rightarrow 8\text{ ud} \cdot 29.37 \frac{\text{€}}{\text{ud}} = \mathbf{234.96\text{ €}}$$

- En este caso el precio del **hormigón para armar** se establece en 94.98 €/m³ [38] con un volumen $0.15\text{ m} \cdot 50.76\text{ m}^2 = 7.61\text{ m}^3$ (0.15 m de profundidad de techo y 50.76 m² de área). Hay que sumarle el volumen de las zapatas de hormigón (x4 zapatas 700x700x400 mm y x4 800x800x400 mm): $4 \cdot 0.7\text{ m} \cdot 0.7\text{ m} \cdot 0.4\text{ m} + 4 \cdot 0.8\text{ m} \cdot 0.8\text{ m} \cdot 0.4\text{ m} = 1.81\text{ m}^3$. Es decir, se tienen $7.61\text{ m}^3 + 1.81\text{ m}^3 = 9.42\text{ m}^3$ de hormigón armado.

$$\text{Coste de homirgón armado} \rightarrow 9.42\text{ m}^3 \cdot 94.98 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} = \mathbf{894.90\text{ €}}$$

- Hoja exterior de ladrillo cerámico** perforado cara vista, en fachada ventilada cuesta 83.12 €/m² [39]. El área lateral de construcción de pared

es $25.5\text{m} \cdot 3\text{m} = 76.5 \text{ m}^2$ (25.5 m de perímetro y 3 m de altura). Se le resta el área de la puerta y las 2 rejillas de entrada, obteniéndose el área total reservada para la pared: $76.5 \text{ m}^2 - 4.2\text{m} \cdot 1.95\text{m}$ (área puerta) $- 2 \cdot 1\text{m} \cdot 0.4\text{m}$ (área rejillas) $= 67.51 \text{ m}^2$.

$$\text{Coste de pared de ladrillo} \rightarrow 67.51 \text{ m}^2 \cdot 83.12 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = \mathbf{5\,611.43 \text{ €}}$$

- El **falso techo de pladur** cuesta 35 €/m² [40]. Por lo tanto:

$$\text{Coste de falso techo} \rightarrow 50.76 \text{ m}^2 \cdot 35 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = \mathbf{1\,776.60 \text{ €}}$$

- La **pintura interior** es blanca a la cal y sale a 13.67 €/m² [41]. Se tiene:

$$\text{Coste de pintura interior} \rightarrow 25.5 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 13.67 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = \mathbf{1\,045.75 \text{ €}}$$

- La **pintura exterior** es blanca a la cal y sale a 15.48 €/m² [42]. Se tiene:

$$\text{Coste de pintura exterior} \rightarrow 27.07 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 15.48 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = \mathbf{1\,257.41 \text{ €}}$$

A este precio hay que añadir los gastos generales (12 %) y el beneficio industrial del promotor (6 %), además de honorarios técnicos, impuestos, licencias y tasas municipales... Esto supone un incremento aproximado del 20 % en el PEM.

A continuación se muestra un resumen con los precios totales del PEM.

MATERIAL	PRECIO
Acero estructural S275	3 467.83 €
Acero de armar B 400 S	540.08 €
Placas de anclaje	234.96 €
Hormigón armado	894.90 €
Hoja exterior de ladrillo cerámico	5 611.43 €
Falso techo	1 776.60 €
Pintura interior	1 045.75 €
Pintura exterior	1 257.41 €
Suma	14 828.96 €
TOTAL (PEM)	17 794.75 € + IVA

Tabla 22: Presupuesto de Ejecución Material total

Para corroborar este cálculo se investiga cuánto cuesta hacer un obra por metro cuadrado. Según Arturo Montilla [43], arquitecto especializado en obras, **una obra gruesa en España ronda los 300-400 €/m²**. Cogemos 350 €/m² para el cálculo. Como el aparcamiento tiene 50.76 m², se obtiene:

$$\text{Coste de construcción} \rightarrow 50.76 \text{ m}^2 \cdot 350 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = \mathbf{17\,766\text{€} + IVA}$$

Que es aproximadamente el precio que hemos estimado. Por lo tanto, el cálculo se ve refrendado.

9.3 Mano de obra de productos

Para el montaje de elementos eléctricos se contrata a un electricista especializado en obras. Un electricista cobra entre 18-70 €/h [44]. En este caso se estima 45 €/h y 24 horas para realizar el montaje (tres jornadas de trabajo completas). Por lo tanto:

$$\text{Coste de instalación de elementos eléctricos} \rightarrow 24 \text{ h} \cdot 45 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 1\,080 \text{ €}$$

Para el montaje de los módulos y las taquillas se estiman 360 € de mano de obra.

Por lo tanto, para el montaje de todos los productos del aparcamiento se estiman 1 080 € + 360 € = **1 440 € (IVA incluido)**.

9.4 Coste total

En la siguiente tabla se muestra el precio total del aparcamiento.

Coste	Precio
Productos (incluye IVA)	32 206.47 €
PEM (incluye IVA)	21 531.65 €
M.O de productos (incluye IVA)	1 440 €
TOTAL	55 178.12 €

10 Estudio económico

En este apartado se hacen estudios dedicados a la realización del proyecto en cada una de sus perspectivas económicas.

10.1 Rentabilidad

Para analizar la rentabilidad del proyecto se hará un análisis de sensibilidad.

Se conoce que Don Ciclete ofrece las siguientes tarifas de abono.

Pago por uso		
1	De 0 a 2 horas	0.5 €
2	De 2 a 5 horas	1.5 €
3	De 5 a 10 horas	2.5 €
4	De 10 a 24 horas	3.5 €
Suscripción mensual [€/mes]		
5	A determinar (de media 20 €/mes)	

Tabla 23: Tarifas ofertadas

Haciendo referencia a los **costes de mantenimiento** del parking (apartado 8), se tiene un coste fijo de $0.01 \cdot 55\,178.12 \text{ €} = 552 \text{ €}$ anuales durante los dos primeros años y $1\,104 \text{ €/año}$ a partir del tercer año.

Un proyecto de este calibre se amortiza de media entre 12 y 18 años. Supongamos que el parking se diseña para una zona donde las 40 plazas se ocupan con suscripción mensual. A continuación se calcula el intervalo de suscripción mensual para la amortización del proyecto en el tiempo estimado.

$$\frac{55\,178.12 \text{ €}}{x \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 40 \text{ plazas} - \left(\frac{2 \text{ años} \cdot 552 \text{ €} + 10 \text{ años} \cdot 1\,104 \text{ €}}{12 \text{ años} \cdot 12 \text{ meses}} \right)} = 12 \text{ años} \cdot 12 \text{ meses} \rightarrow x = \mathbf{11.69 \text{ €/mes}}$$

$$\frac{55\,178.12 \text{ €}}{x \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 40 \text{ plazas} - \left(\frac{2 \text{ años} \cdot 552 \text{ €} + 16 \text{ años} \cdot 1\,104 \text{ €}}{18 \text{ años} \cdot 12 \text{ meses}} \right)} = 18 \text{ años} \cdot 12 \text{ meses} \rightarrow x = \mathbf{8.56 \text{ €/mes}}$$

Como Don Ciclete estima como media 20 €/mes para la tarifa 5, se obtendría una amortización del proyecto en menos tiempo, concretamente en:

$$x \text{ años} \cdot 12 \text{ meses} = \frac{55\,178.12 \text{ €}}{20 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 40 \text{ plazas} - \left(\frac{2 \text{ años} \cdot 552 \text{ €} + (x \text{ años} - 2) \cdot 1\,104 \text{ €}}{x \text{ años} \cdot 12 \text{ meses}} \right)} \rightarrow x = \mathbf{6.36 \text{ años}}$$

10.1.1 Caso más favorable

En este caso se estima que el 100 % de los ingresos generados se los reembolsa la empresa responsable del proyecto e inversora.

Hipótesis: zona turística en la que durante 14 horas del día se ocupa el parking continuamente con la tarifa 1 (se asume que el usuario se queda 2 horas). Las 10 horas restantes se ocupan por usuarios con la tarifa 3. El factor de ocupación del parking durante el mes es de 40 usuarios. Es decir:

$$\text{Ingreso bruto} \rightarrow \left(\frac{14}{2} \cdot 0.5 \frac{\text{€}}{h} + 2.5 \frac{\text{€}}{h} \right) \cdot 30 \text{ días} \cdot 40 \text{ plazas} = \mathbf{7\,200 \text{ €/mes}}$$

Para el **ingreso neto** se le restan los costes de mantenimiento mensuales.

- Para los 2 primeros años:

$$\text{Ingreso neto} \rightarrow 7\,200 \frac{\text{€}}{\text{mes}} - \frac{552 \text{ €}}{12 \text{ meses}} = \mathbf{7\,154 \text{ €/mes}}$$

- A partir del año 3:

$$\text{Ingreso neto} \rightarrow 7\,200 \frac{\text{€}}{\text{mes}} - \frac{1\,104 \text{ €}}{12 \text{ meses}} = \mathbf{7\,108 \text{ €/mes}}$$

Como el coste total de inversión del proyecto es 55 178.12 €, se obtiene:

$$\text{Amortización del proyecto} \rightarrow \frac{55\,178.12 \text{ €}}{7\,154 \frac{\text{€}}{\text{mes}}} = 7.71 \text{ meses}$$

El periodo de recuperación de la inversión inicial (PRI) es **7 meses y 21 días**.

10.1.2 Caso más desfavorable

En este caso se estima que el 100 % de los ingresos generados se los reembolsa la empresa responsable del proyecto e inversora.

Hipótesis: zona rural con poca frecuencia de ciclistas. Se considera un factor de ocupación del parking durante el mes es del 30 % con tarifa 5 a 10.99 €/mes.

Es decir:

$$\text{Ingreso bruto} \rightarrow 10.99 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 0.3 \cdot 40 \text{ plazas} = \mathbf{131.88 \text{ €/mes}}$$

Para el **ingreso neto** se le restan los costes de mantenimiento mensuales.

- Para los 2 primeros años:

$$\text{Ingreso neto} \rightarrow 131.88 \frac{\text{€}}{\text{mes}} - \frac{552 \text{ €}}{12 \text{ meses}} = \mathbf{85.88 \text{ €/mes}}$$

- A partir del año 3:

$$\text{Ingreso neto} \rightarrow 131.88 \frac{\text{€}}{\text{mes}} - \frac{1\,104 \text{ €}}{12 \text{ meses}} = \mathbf{39.88 \text{ €/mes}}$$

Como el coste total de inversión del proyecto es 55 178.12 €, se obtiene:

$$\text{Amortización del proyecto} \rightarrow \frac{55\,178.12 \text{ €}}{39.88 \frac{\text{€}}{\text{mes}}} = 1\,383.6 \text{ meses}$$

El periodo de recuperación de la inversión inicial (PRI) es **115 años y 4 meses**.

10.1.3 Punto de equilibrio (break-even point)

Para evitar pérdidas, **el mínimo ingreso mensual tendrá que cubrir como mínimo los costes de mantenimiento (1104€/año/12meses = 92 €/mes a partir del año 3)**. Suponiendo una suscripción mensual de cada usuario 10.99 €/mes, se tiene:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de usuarios para evitar pérdidas a partir del año 3} = \frac{92 \frac{\text{€}}{\text{mes}}}{10.99 \frac{\text{€}}{\text{mes}}} = 9$$

10.1.4 Comparación de rentabilidad

En este subapartado se compara el beneficio obtenido con la venta del proyecto a una entidad frente a una construcción propia del aparcamiento. La línea temporal pronosticada para este estudio es de 10 años.

Hipótesis: 20 usuarios fiables con tarifa 5. 30 usuarios diferentes que reservan al día con tarifa 1, 15 con tarifa 3 y 1 con tarifa 4. La tarifa en esta localización asciende a 10.99 €/mes.

Ingreso mensual bruto:

$$10.99 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \cdot 20 \text{ plazas} + 0.5 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 30 \text{ días} \cdot 30 \text{ plazas} + 2.5 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 30 \text{ días} \cdot 15 \text{ plazas} \\ + 3.5 \frac{\text{€}}{\text{día}} \cdot 30 \text{ días} \cdot 1 \text{ plaza} = \mathbf{1\ 900 \text{ €/mes}}$$

Ingreso mensual neto (sólo para caso de construcción propia):

$$1\ 900 \frac{\text{€}}{\text{mes}} - \left(\frac{\frac{552 \frac{\text{€}}{\text{año}} \cdot 2 \text{ años} + 1\ 104 \frac{\text{€}}{\text{año}} \cdot 8 \text{ años}}{10 \text{ años}}}{12 \text{ meses}} \right) = \mathbf{1\ 817.20 \text{ €/mes}}$$

En el caso de **venta del proyecto** se estima que se vende a un ayuntamiento de una localidad española y se obtiene un porcentaje del 10 % de los ingresos mensuales obtenidos. El precio de venta es 20 000 €. Se considera que al vender el proyecto los gastos de mantenimiento corren a cuenta del ayuntamiento.

Por otro lado, al **construir el aparcamiento** se calcula con el coste de inversión y el ingreso neto mensual.

A continuación de muestra la comparación entre ambos casos. Se grafica el beneficio anual acumulado.

Función construcción propia $\rightarrow Beneficio = -55\,178.12 + 1\,817.20 \cdot 12 \cdot \text{año} \text{ [€]}$

Función venta a terceros $\rightarrow Beneficio = 20\,000 + 190 \cdot 12 \cdot \text{año} \text{ [€]}$

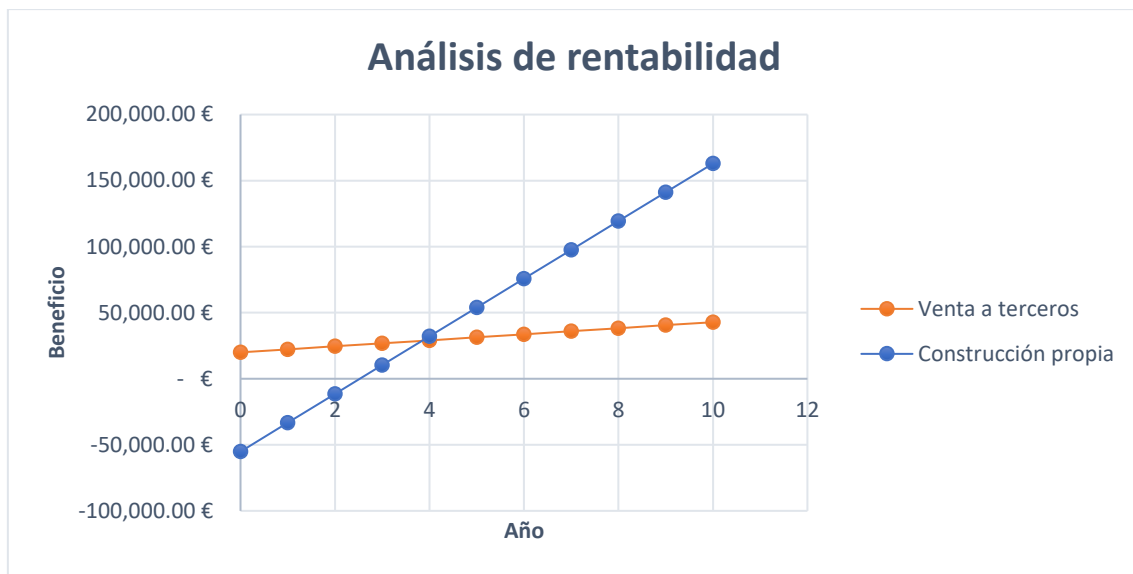


Imagen 10-1: Análisis de rentabilidad sobre beneficio anual

Igualando ambas funciones se obtiene un **punto de equilibrio de 3.85 años**.

Comentarios sobre los resultados:

A partir de 3.85 años (3 años y 10 meses) se obtienen beneficios muy superiores en caso de optar por la construcción propia del parking. En los 10 años posteriores a la inversión se genera un beneficio tres veces superior en comparación con una venta a terceros.

10.2 Viabilidad

El paradigma de la movilidad está cambiando y el uso de la bicicleta está teniendo una presencia notable dentro del transporte activo. Debido al aumento del uso de las bicicletas a lo largo de los años se necesitan adaptaciones que vayan acorde con esta tendencia. Ejemplos de esto son carriles para ciclistas y parkings.

Sin embargo, esta tendencia se ve limitada debido a la inseguridad que se presenta por robos. Por este motivo, una solución es realizar aparcamientos seguros, sostenibles y de fácil acceso para poder incentivar el uso de la bicicleta.

Este proyecto colabora con esta expansión del sector de la movilidad en bicicleta y permite un mayor control sobre la distribución de las bicicletas en localidades.

11 Bibliografía

- [1] UNDP, “Objetivos de Desarrollo Sostenible | PNUD,” *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*, 2021. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html> (accessed Aug. 23, 2021).
- [2] “8 beneficios de ir en bicicleta todo el año,” *Revista*. https://www.sabervivirtv.com/medicina-general/beneficios-bicicleta-salud_1798 (accessed Aug. 31, 2021).
- [3] Earthgonomic, “Beneficios ambientales del uso de bicicletas,” *Blog*, May 08, 2016. <http://earthgonomic.com/noticias/beneficios-ambientales-del-uso-de-bicicletas/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [4] E. Press, “Surgen más de 700.000 nuevos usuarios de bicicleta en España durante la pandemia,” *Deportes*, Jun. 2021, Accessed: Aug. 23, 2021. [Online]. Available: <https://www.europapress.es/deportes/ciclismo-00396/noticia-surgen-mas-700000-nuevos-usuarios-bicicleta-espana-pandemia-20210602180350.html>
- [5] Carlos de Torres, “La venta de bicicletas bate récords en España: 1,5 millones en 2020 - Estadio deportivo,” May 28, 2021. <https://www.estadiodeportivo.com/noticias-ciclismo/2021/05/28/venta-bicicletas-bate-records-espana/338844.html> (accessed Aug. 23, 2021).
- [6] Statista, “• Gráfico: Las bicicletas solo son para el verano | Statista,” *Statista*, Sep. 22, 2016. <https://es.statista.com/grafico/5963/las-bicicletas-solo-son-para-el-verano/> (accessed Aug. 23, 2021).
- [7] Red de Ciudades por la Bicicleta, “Barómetro de la Bicicleta 2019 - Red de Ciudades por la Bicicleta,” Dec. 10, 2019. <https://www.ciudadesporlabicicleta.org/2019/12/10/presentacion-del-barometro-de-la-bicicleta-2019/> (accessed Aug. 31, 2021).

- [8] H. Ferrando, E. Anaya, D. González, and E. Sterbova, "Manual de aparcamientos de bicicletas," *IDAE*, 2019, Accessed: Aug. 31, 2021. [Online]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos/Manual_de_aparcamientos_de_bicicletas_edf1ed0e.pdf
- [9] Fundación Mapfre, "¿Con qué frecuencia se utiliza la bicicleta en España?," *Seguridad vial en la empresa Instituto seguridad vial*, Mar. 12, 2020. <http://seguridadvialeneltrabajo.net/seguridad-empresas/actualidad/noticias/frecuencia-uso-bicicleta-espana.jsp> (accessed Aug. 23, 2021).
- [10] Álvaro Merino, "Las ciudades con más robos de bicicletas - Mapas de El Orden Mundial - EOM," *Global Bicycle Cities Index*, 2019. <https://elordenmundial.com/mapas/ciudades-mas-robos-bicicletas/> (accessed Aug. 23, 2021).
- [11] M. Á. Medina, C. Álvarez, Y. Clemente, and M. Zafra, "Carriles bici: la respuesta de las ciudades ante la pandemia | Ecología | Clima y Medio Ambiente | EL PAÍS," *El País*, Oct. 28, 2020. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2020-10-27/carriles-bici-la-respuesta-de-las-ciudades-ante-la-pandemia.html> (accessed Aug. 23, 2021).
- [12] ESVision, "En España se roban casi 300 bicicletas al día - ESVision Seguridad Inteligente," Mar. 25, 2021. <https://www.esvisionseguridad.com/noticias/en-espana-se-roban-casi-300-bicicletas-al-dia-quieres-proteger-la-tuya-pon-cameras-de-seguridad-en-tu-comunidad/> (accessed Aug. 23, 2021).
- [13] A. Noguerol, "La estrategia estatal por la bicicleta incentiva su uso diario y para el turismo," *ABC*, Jun. 07, 2021. https://www.abc.es/motor/motoreco/abci-estrategia-estatal-bicicleta-incentiva-diario-y-para-turismo-202106071929_noticia.html (accessed Aug. 23, 2021).

- [14] J. M. Paz García, “Los retos de la bicicleta urbana en España,” *EYS Municipales*, Jun. 03, 2020. <https://www.eysmunicipales.es/actualidad/los-retos-de-la-bicicleta-urbana-en-espana> (accessed Aug. 23, 2021).
- [15] ABC Motor, “Los ciudadanos descartan la bicicleta por el clima y los parking inseguros,” Jun. 02, 2021. https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-ciudadanos-descartan-bicicleta-clima-y-parking-inseguros-202106020108_noticia.html (accessed Aug. 31, 2021).
- [16] BigBoxx, “Schließfachschrank Premium stabil & sicher,” *Catalogo*. <https://bigboxx.de/schliessfachschrank-premium?c=28> (accessed Aug. 31, 2021).
- [17] Parkings Castelló, “Aparca bicis doble altura - Parkings Castelló,” *Aparca Bicis Doble Altura*, 2021. <https://www.parkings-castello.com/producto/aparca-bicis-doble-altura/> (accessed Aug. 23, 2021).
- [18] BaSBa, “Solarpanel 360W Monokristallin,” *Catalogo*. <https://basba.de/solarpanel-270w-mono-kristallin-12v-24v.html> (accessed Aug. 31, 2021).
- [19] BaSBa, “Victron SmartSolar MPPT 100/30 Solarladeregler,” *Catalogo*. <https://basba.de/victron-smartsolar-mppt-100-30-solarladeregler-12-24v-30a.html> (accessed Aug. 31, 2021).
- [20] BaSBa, “Orbis BSo200 Deep Cycle Solar-Power DC 12V 200Ah Solarbatterie,” *Catalogo*. https://basba.de/bs0-200-basba-solarbatterie-96351-12-volt-200-ah-c100.html?gclid=Cj0KCQjwjo2JBhCRARIsAFG667XTqG2LOUFZk1Ac68bBIs4w2boqMVKtNs2GI_9g_RNCS8DfppwWQ9EaAgQhEALw_wcB (accessed Aug. 31, 2021).

- [21] Victron Energy, “MultiPlus 48/5000/70-100 Wechselrichter,” *Catalogo*. <https://greenakku.de/Wechselrichter/Offgridwechselrichter/Victron-MultiPlus-Kombigeraete/MultiPlus-48-5000-70-100-Wechselrichter::596.html> (accessed Aug. 31, 2021).
- [22] BIG Batterie, “Panther Bleiakku AGM 12V 26Ah saveline Batterie.” https://www.batterie-industrie-germany.de/panther-saveline-agm-bleiakku-12v-26ah?gclid=CjwKCAjw3_KIBhA2EiwAaAAlimF6GH66gdxMunShE5aWxthGT4XIPHuSKgFMpGBenpQlhEjFCepC3xoC9YgQAvD_BwE (accessed Aug. 31, 2021).
- [23] Solartronics, “Spannungswandler modifiziert 12V 300 -600 Watt,” *Catalogo*. <https://www.solartronics.de/spannungswandler-nm-12v-300-watt-nm30012v> (accessed Aug. 31, 2021).
- [24] Bikester, “Bosch Compact 2A Puerto de carga incluye cable de carga,” *Catalogo*. <https://www.bikester.es/bosch-compact-2a-cargador-de-bateria-incluye-cable-de-carga-M459856.html> (accessed Aug. 31, 2021).
- [25] Claraboyas Matilla S.L., “Claraboya Fija con Zócalo,” *Catalogo*. <https://www.claraboyas.es/productos/claraboyas/claraboya-fija/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [26] Industrias Mas IMS, “REJILLAS DE VENTILACIÓN - rejillas aluminio lacado.” <https://www.industriasmass.com/productos/rejillas-de-ventilacion/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [27] Bicitavis, “El estilo VelopA en España,” 2017. <https://bicitavis.wordpress.com/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [28] SBautomatismos, “Motor puerta corredera automática de cristal,” *Catalogo*. <https://sbautomatismos.es/81-motor-puerta-corredera-automatica-de-cristal.html> (accessed Aug. 31, 2021).

- [29] Inpratex, “Luminaria LED ATEX e840 - Inpratex.” <https://www.inpratex.com/producto/luminaria-led-atex-e840/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [30] Preichelt, “VT-5090: PIR Deckensensor bei reichelt elektronik,” *Catalogo*. https://www.reichelt.de/de/de/pir-deckensensor-vt-5090-p201344.html?PROVID=2788&gclid=CjwKCAjw64eJBhAGEiwABr9o2KjVxpEah7XSMmuWp9qUCShynJEuyNTg-Na67XBcPMaiS-CpR-REUxoCTWcQAvD_BwE&r=1 (accessed Aug. 31, 2021).
- [31] Autosen, “Optischer Sensor Einweglichtschränke Sender 10m - AO003,” *Catalogo*. https://autosen.com/de/Positionssensoren/Optische-Sensoren/Optischer-Sensor-IP69K-Edelstahlgehaeuse-AO003?keyword=&device=c&network=u&gclid=CjwKCAjw64eJBhAGEiwABr9o2Fn2cDARadWgOvR9qR0E-WN4kRdwrsUF6WJMboSikIQ6S_vbEyAIdRoC3W4QAvD_BwE (accessed Aug. 31, 2021).
- [32] J. Garcia Fernandez, “Cálculos en iluminación de interiores,” *Oriol Boix*, 2020. <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html> (accessed Aug. 31, 2021).
- [33] S. Bortignon, “Orientación e Inclinación de los Paneles Solares Fotovoltaicos,” *Mpptsolar*, 2021. <https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html> (accessed Aug. 23, 2021).
- [34] Habitissimo, “Puertas Automáticas: Precio y Presupuestos ONLINE,” *Catalogo*, 2021. <https://www.habitissimo.es/presupuestos/puertas-automaticas> (accessed Aug. 31, 2021).
- [35] S. A. Cype Ingenieros, “Precio en España de kg de Acero laminado en caliente para bancada. Generador de precios de la construcción,” *Catalogo*.

- http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Particiones/Ayudas/Bancadas/Acero_laminado_en_caliente_para_bancada.html (accessed Aug. 31, 2021).
- [36] S. A. CYPE Ingenieros, "Precio en España de kg de Acero para hormigón. Generador de precios de la construcción.," *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/calculaprecio.asp?Valor=0%7C0_0_0_0_0_0%7C1%7CCHA010%7Ccha_010:_0_0_0_0_0_0_0_2_0#gsc.tab=0 (accessed Aug. 31, 2021).
- [37] S. A. CYPE Ingenieros, "Precio en España de Ud de Placa de anclaje de acero, con pernos soldados. Generador de precios de la construcción. ," *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/calculaprecio.asp?Valor=0%7C4_0%7C1%7CEAS005%7Ceas_005_dims:_0_150_150_2%7Chac_acerolam_todos%20placa_anclaje:_0_0_1_0%7Ceas_rigidizad:_0_0_0%7Ceas_anclaje:_0_0_30%7Chac_acero_pernos:_0_0_2#gsc.tab=0 (accessed Aug. 31, 2021).
- [38] S. A. CYPE Ingenieros, "Precio en España de m³ de Hormigón para armar en losas de cimentación. Generador de precios de la construcción. ," *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Cimentaciones/Hormigones__aceros_y_encofrados/Hormigones/CHH030_Hormigon_para_armar_en_losas_de_cim.html#gsc.tab=0 (accessed Aug. 31, 2021).
- [39] S. A. CYPE Ingenieros, "Precio en España de m² de Hoja exterior de ladrillo cerámico perforado cara vista, en fachada ventilada. Generador de precios de la construcción. ," *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas/Ventiladas/FAX_Hoja_exterior_de_ladrillo_cara/FAX010_Hoja_exterior_de_ladrillo_ceramico_.html (accessed Aug. 31, 2021).

- [40] Cronoshare, “¿Cuánto cuesta instalar un falso techo? Guía de Precios para 2021,” Jan. 02, 2021. <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/instalar-falso-techo-pladur> (accessed Aug. 31, 2021).

- [41] S. A. CYPE Ingenieros, “Precio en España de m² de Pintura a la cal sobre paramento interior de mortero de cal o mortero bastardo de cal. Generador de precios de la construcción. ,” *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Revestimientos_y_trasd osados/Pinturas_en_paramentos_interiores/A_la_cal/RIC020_Pintura_a_la_cal_sobre_paramento_inc4_0_2c15_0.html#gsc.tab=0 (accessed Aug. 31, 2021).

- [42] S. A. CYPE Ingenieros, “Precio en España de m² de Pintura a la cal sobre paramento exterior. Generador de precios de la construcción. ,” *Catálogo*. http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Revestimientos_y_trasd osados/Pinturas_en_paramentos_exteriores/A_la_cal/RFC020_Pintura_a_la_cal_sobre_paramento_ex.html#gsc.tab=0 (accessed Aug. 31, 2021).

- [43] A. Montilla Bueno, “¿Cuánto cuesta 1 metro cuadrado de construcción? [€/m²] - Arquitectos Málaga - Especialidad Viviendas Unifamiliares - Arturo Montilla,” 2020. <http://arturomontilla.com/es/cuanto-cuesta-1-metro-cuadrado-de-construccion-em2/> (accessed Aug. 31, 2021).

- [44] Cronoshare, “¿Cuánto cuesta un electricista por hora?,” Jan. 10, 2021. <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/electricista-hora> (accessed Aug. 31, 2021).

12 Índice de Imágenes

IMAGEN 0-1: REPRESENTACIÓN VISUAL DE LOS OBJETOS MÁS MENCIONADOS EN EL DOCUMENTO	XV
IMAGEN 1-1: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE CUMPLIMENTADOS EN ESTE PROYECTO [1]	1
IMAGEN 2-1: ESTADÍSTICA DE FRECUENCIA DEL MEDIO DE TRANSPORTE UTILIZADO EN ESPAÑA Y UE [6]	5
IMAGEN 2-2: DESARROLLO DE LOS ATRIBUTOS DE LA BICICLETA EN LOS ÚLTIMOS AÑOS [7]	6
IMAGEN 2-3: ESTADÍSTICA DE ESTUDIO SOBRE POBLACIÓN DE CICLISTAS 1 [7]	9
IMAGEN 2-4: ESTADÍSTICA DE ESTUDIO SOBRE POBLACIÓN DE CICLISTAS 2 [7]	9
IMAGEN 2-5: ESTADÍSTICA DE USUARIO DE BICICLETA SEGÚN GÉNERO Y EDAD [7]	10
IMAGEN 2-6: EVOLUCIÓN DE LOS USUARIOS DE LA BICICLETA SEGÚN GÉNERO [7].....	10
IMAGEN 2-7: RED DE KILÓMETROS DE CARRIL BICI EN LA CIUDAD DE BARCELONA [11]	12
IMAGEN 2-8: ESTADÍSTICA DE LAS PEORES CIUDADES PARA APARCAR UNA BICICLETA [10]	13
IMAGEN 2-9: ESTADÍSTICA DE USUARIOS QUE USA MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE ROBO [7]	14
IMAGEN 2-10: TITULAR ABC SOBRE EL DESCARTO DEL USO DE LA BICICLETA EN ESPAÑA [15]	16
IMAGEN 2-11: ESTADÍSTICA SOBRE LA IMPORTANCIA DE UN PARKING PRIVADO [7]	17
IMAGEN 2-12: ESTADÍSTICA SOBRE LA SUFICIENCIA DE PARKINGS PÚBLICOS [7]	17
IMAGEN 3-1: PARED LATERAL DEL APARCAMIENTO	19
IMAGEN 3-2: DATOS PARA LA ELECCIÓN DEL NÚMERO DE MÓDULOS	20
IMAGEN 3-3: DISTRIBUCIÓN CIRCULAR DE 20 MÓDULOS INDIVIDUALES (40 PLAZAS)	21
IMAGEN 3-4: ACOTACIÓN DE LA VISTA EN PLANTA DE UN MÓDULO 2+2	22
IMAGEN 3-5: DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE 10 MÓDULOS 2+2 (40 PLAZAS)	22
IMAGEN 3-6: ACOTACIÓN DE LA VISTA EN PLANTA DE UN MÓDULO 4+4	23
IMAGEN 3-7: DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE 5 MÓDULOS 4+4 (40 PLAZAS)	23
IMAGEN 3-8: DISTRIBUCIÓN UNIFORME CON MÓDULOS 2+2 Y 4+4 COMBINADOS (56 PLAZAS)	24
IMAGEN 3-9: MÓDULO DE TAQUILLAS 5x2 SELECCIONADO [16]	25
IMAGEN 3-10: VISTA EN PLANTA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL TECHO.....	26
IMAGEN 3-11: ESTRUCTURA DEL PARKING DE BICICLETAS JUNTO CON LA PARED LATERAL.....	28
IMAGEN 3-12: DISTRIBUCIÓN ENTRE PLAZAS CONTIGUAS PARA MAXIMIZAR EL NÚMERO DE BICICLETAS [17]	28
IMAGEN 3-13: REPRESENTACIÓN DE AMBAS ALTURAS DEL PARKING	29
IMAGEN 3-14: DESPLIEGUE DE LA SEGUNDA ALTURA [17].....	29
IMAGEN 3-15: DISTRIBUCIÓN DE LOS CARGADORES ELÉCTRICOS DE LA PARTE IZQUIERDA DEL PARKING	30
IMAGEN 3-16: VISTA GENERAL CON ESTRUCTURA DEL PARKING, PARED LATERAL, PUERTA Y REJILLAS DE ENTRADA	30
IMAGEN 3-17: REJILLAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AIRE.....	31
IMAGEN 3-18: VISUALIZACIÓN DEL PARKING COMPLETO DESDE DISTINTOS ÁNGULOS.....	31
IMAGEN 4-1: PLANO CENITAL DEL PARKING. ÁREA INTERIOR: 50.76 m ²	34
IMAGEN 4-2: NIVEL DE ILUMINACIÓN DEL APARCAMIENTO SEGÚN UNE 12464.1.....	35
IMAGEN 4-3: COEFICIENTES DE REFLEXIÓN ESTÁNDARES [32]	36
IMAGEN 4-4: CÁLCULO DE C ₀ MEDIANTE LA INTERPOLACIÓN DE K Y EL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN	36

IMAGEN 4-5: CÁLCULO DE DISTANCIA MÍNIMA ENTRE LUMINARIAS	37
IMAGEN 4-6: DISTRIBUCIÓN DE LUMINARIAS EN EL TECHO.....	38
IMAGEN 4-7: VALORES LÍMITE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN.....	39
IMAGEN 5-1: TRAYECTORIA DEL SOL A LO LARGO DE LAS ESTACIONES [33]	44
IMAGEN 5-2: ORIENTACIÓN DE LA TIERRA RESPECTO AL SOL EN VERANO E INVIERNO.....	45
IMAGEN 5-3: RANGO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES EN MADRID.....	46
IMAGEN 5-4: ÁNGULOS ÓPTIMOS DE INCLINACIÓN CADA DOS MESES EN MADRID	46
IMAGEN 6-1: GRÁFICO DE RESULTADOS DE DÓNDE LLEVA EL USUARIO LA BICICLETA CUANDO CAMINA. MUESTRA: 53	
USUARIOS DE DIFERENTES EDADES	52
IMAGEN 6-2: ESQUEMA UNIFILAR DE CONEXIONES	54
IMAGEN 7-1: DISTRIBUCIÓN DE VIGAS Y PILARES EN EL APARCAMIENTO.....	58
IMAGEN 7-2: REPRESENTACIÓN REAL DE ESTRUCTURA	58
IMAGEN 7-3: UNIONES ENTRE VIGAS Y PILAR. ORIENTACIÓN DE PILARES HACIA DENTRO DE LA ESTRUCTURA	59
IMAGEN 7-4: LOSA MIXTA EUROMODUL44 EN FORMA DE U	59
IMAGEN 7-5: DIMENSIONAMIENTO DE PERFILES Y DISTRIBUCIÓN DE CARGAS.....	62
IMAGEN 7-6: CIMENTACIÓN DE PILAR: PLACA DE ANCLAJE Y ZAPATA.....	63
IMAGEN 7-7: DIMENSIONAMIENTO PLACAS DE ANCLAJE.....	64
IMAGEN 7-8: ZAPATAS PARA PILARES P6 Y P7	64
IMAGEN 7-9: CERRAMIENTO	65
IMAGEN 10-1: ANÁLISIS DE RENTABILIDAD SOBRE BENEFICIO ANUAL	81

13 Índice de tablas

TABLA 1: TABLA DE SÍMBOLOS	XIV
TABLA 2: TABLA DE ABREVIATURAS	XIV
TABLA 3: LEYENDA DESCRIPTIVA	XV
TABLA 4: RESUMEN DE LAS POSIBLES DISTRIBUCIONES	24
TABLA 5: PROVEEDORES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS	33
TABLA 6: DATOS DE ILUMINARIA	35
TABLA 7: INCLINACIÓN DE LAS PLACAS EN CADA PERIODO FRENTE A LA INCLINACIÓN IDEAL	47
TABLA 8: TIEMPO DE ENERGÍA SUMINISTRADA A CADA BICICLETA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE N_c	49
TABLA 9: PORCENTAJE DE CARGA ALCANZADO EN CADA BATERÍA POWERPACK 400 WH EN FUNCIÓN DE N_c	50
TABLA 10: PORCENTAJE DE CARGA ALCANZADO EN CADA BATERÍA DE 700 WH EN FUNCIÓN DE N_c	50
TABLA 11: NORMATIVAS	57
TABLA 12: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P1	66
TABLA 13: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P2	66
TABLA 14: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P3	66
TABLA 15: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P4	67
TABLA 16: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P5	67
TABLA 17: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P6	67
TABLA 18: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P7	67
TABLA 19: RESULTADOS DE ESFUERZOS DE PILAR P8	68
TABLA 20: RESUMEN DE PERFILES SELECCIONADOS	69
TABLA 21: PRESUPUESTO DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE PROVEEDORES.....	73
TABLA 22: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL TOTAL.....	75
TABLA 23: TARIFAS OFERTADAS	77

14 Anexos

Los anexos de los productos de proveedores no se incluyen en este documento. Sus características más importantes están recogidas en el apartado 3.3 *Lista de proveedores*. También se incluye su correspondiente referencia. Dicha referencia incluye el link de compra del producto, donde puede encontrarse toda su información.



3. VIGAS

3.1. Forjado 1

Tramos	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (EUROCÓDIGO 3 EN 1993-1-1: 2005)														Estado
	λ_{w0}	N_k	N_{Ed}	M_k	M_{Ed}	V_k	V_{Ed}	$M_k V_k$	$M_k V_{Ed}$	$N_k M_k$	$N_k M_k V_k$	M_k	$M_k V_k$	$M_k V_{Ed}$	
P1 - P2	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 2.208 m $\eta = 34.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 4.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 3.112 m $\eta = 94.7$	x: 4.407 m $\eta = 6.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 94.7$
P8 - B6	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 49.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 11.0$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 1.61 m $\eta = 2.9$	x: 0 m $\eta = 11.0$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 49.7$
B6 - B7	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 1.967 m $\eta = 69.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 16.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 4.111 m $\eta = 38.5$	x: 0 m $\eta = 19.4$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 69.2$
B7 - P3	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 1.79 m $\eta = 49.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 1.79 m $\eta = 11.0$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.9$	x: 1.79 m $\eta = 11.0$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 49.7$
P7 - B10	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 49.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 11.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 1.61 m $\eta = 2.8$	x: 0 m $\eta = 11.1$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 49.8$
B10 - B11	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 2.148 m $\eta = 69.2$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 16.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 39.2$	x: 0 m $\eta = 19.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 69.2$
B11 - P4	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 1.79 m $\eta = 49.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 1.79 m $\eta = 11.0$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.8$	x: 1.79 m $\eta = 11.1$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 49.8$
P6 - P5	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 2.208 m $\eta = 34.9$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 4.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 3.112 m $\eta = 99.0$	x: 0 m $\eta = 6.6$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 99.0$
P8 - P7	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.829 m $\eta = 8.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 2.212 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 8.1$
P8 - P1	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 2.776 m $\eta = 65.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 3.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 2.776 m $\eta = 2.7$	x: 0 m $\eta = 3.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 65.4$
P7 - P6	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 2.776 m $\eta = 65.6$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 3.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 2.776 m $\eta = 2.7$	x: 0 m $\eta = 3.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 65.6$
P1 - P6	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 73.8$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 7.115 m $\eta = 11.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.9$	x: 7.115 m $\eta = 11.6$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 73.8$
P2 - P5	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 73.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 7.115 m $\eta = 11.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.9$	x: 7.115 m $\eta = 11.6$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 73.7$
P5 - P4	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.223 m $\eta = 65.6$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 2.999 m $\eta = 3.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.7$	x: 2.999 m $\eta = 3.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 65.6$
P2 - P3	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.222 m $\eta = 65.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 2.999 m $\eta = 3.5$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m $\eta = 2.7$	x: 2.999 m $\eta = 3.5$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 65.4$
P3 - P4	$\lambda_{w0} \leq \lambda_{w0,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 1.382 m $\eta = 8.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 8.1$

Abolladura:
 λ_{w0} : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N: Resistencia a tracción
 N_k : Resistencia a compresión
M: Resistencia a flexión eje Y
 M_k : Resistencia a flexión eje Z
V: Resistencia a corte Y
 V_k : Resistencia a corte Z
 $M_k V_k$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 $M_k V_{Ed}$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Y combinados
 $N_k M_k$: Resistencia a flexión y axil combinados
 $N_k M_k V_k$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_k : Resistencia a torsión
 $M_k V_k$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 $M_k V_{Ed}$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
 η : Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁶⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁷⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

15 Planos

