UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

Expresión Gráfica en la Ingeniería

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL EN ANTEQUERA (MÁLAGA)

Grado en

Ingeniería Mecánica

Autor: PABLO MAQUEDA GARCÍA

Tutor: LAIA MIRAVET GARRET

MÁLAGA, septiembre de 2.023

Resumen

En un contexto de agotamiento de recursos no renovables y crecientes impactos del cambio climático, es esencial buscar fuentes de energía más limpias y sostenibles. En este estudio, se ha analizado el potencial de energía solar fotovoltaica en las cubiertas de los edificios en la zona del polígono industrial de Antequera, Málaga. La utilización de funcionalidades avanzadas 3D en Sistemas de Información Geográfica y datos geoespaciales ha permitido llevar a cabo este análisis en una gran área territorial de manera eficiente.

Se ha aplicado una metodología basada en un análisis multicriterio booleano utilizando el software ArcGIS. Como resultado de este proyecto, se ha determinado la superficie aprovechable en las cubiertas para la instalación de paneles solares fotovoltaicos, el potencial de generación de energía y la cantidad de energía que podría producirse con diferentes tipos de paneles solares. Estos datos no solo se aplican a nivel global de todo el polígono, sino que también están disponibles de forma individual para cada nave.

En resumen, en un contexto de agotación de recursos no renovables y crecientes impactos del cambio climático, es esencial buscar fuentes de energía más limpias y sostenibles. Este estudio demuestra la viabilidad de aprovechar la energía solar para avanzar hacia una fuente de energía más sostenible y reducir la dependencia de recursos no renovables.

Palabras clave: Naves; Módulos fotovoltaicos; Cubiertas; SIG; MDS; Potencia instalada; Energía producida;

Abstract

In a context of depletion of non-renewable resources and increasing impacts of climate change, it is essential to look for cleaner and more sustainable energy sources. In this study, the potential for photovoltaic solar energy on the roofs of buildings in the area of the Antequera industrial estate, Málaga, has been analyzed. The use of advanced 3D functionalities in Geographic Information Systems and geospatial data has made it possible to carry out this analysis in a large territorial area efficiently.

A methodology based on a Boolean multicriteria analysis has been applied using ArcGIS software. As a result of this project, the usable surface area on the roofs for the installation of photovoltaic solar panels, the energy generation potential and the amount of energy that could be produced with different types of solar panels have been determined. This data is not only applied globally to the entire polygon, but is also available individually for each warehouse.

In summary, in a context of depletion of non-renewable resources and increasing impacts of climate change, it is essential to look for cleaner and more sustainable energy sources. This study demonstrates the feasibility of harnessing solar energy to move towards a more sustainable energy source and reduce dependence on non-renewable resources.

Keywords: Ships; Photovoltaic modules; Covers; NEXT; MDS; Installed potency; Energy produced;

Índice

Índice de imágenes 5
1. Introducción 7
2. Objetivos 8
3. Fundamentos teóricos 9
   a. Energía solar fotovoltaica 9
   b. Radiación solar 9
   c. Posición del sol 10
   d. Tecnología fotovoltaica 11
   e. Componentes de un sistema fotovoltaico 12
   f. Tipos de células fotovoltaicas 13
   g. Tipos de instalaciones 15
   h. Pérdidas según el Código técnico de la Edificación 15
   i. Factores que influyen en el potencial fotovoltaico 17
   j. Medición 17
      - Energía producida 17
      - Potencia instalada 18
4. Obtención de datos 19
   4.1. Ortofoto 19
   4.2. Catastro 20
   4.3. Modelo Digital de Superficie 21
   4.4. Posición sol 22
5. Descripción de área de estudio 23
   5.1. Situación 23
   5.2. Clima 24
   5.3. Estructura urbana 25
6. Metodología de estudio 26
   6.1. Datos de partida 26
   6.2. Procesado de datos 27
   6.3. Ejecución del modelo 29
   6.4. Superficies de tejados disponibles 29
      6.4.1. Criterios 30
      6.4.2. Paso de Cubierta 30
      6.4.3. Pérdidas por inclinación y orientación 31

6.4.4. Determinación de Sombras 38
6.4.5. Superficie útil de cubiertas 41
6.4.6. Estadísticas de superficie de cubiertas 43
6.5. Cálculo de la irradiación solar 43
6.6. Potencia instalada 45
6.7. Energía producida 47
6.8. Asignación de resultados a naves 49
7. Análisis de Resultados 49
8. Conclusión 53
9. Bibliografía 54
Anexo I. Mapas de resultados
Anexo II. Posición solar para el cálculo de mapas de sombras
Anexo III. Resumen de resultados

Índice de imágenes

Ilustración 1. Tipos de radiación solar 9
Ilustración 2. Esquema posición solar 10
Ilustración 3. Como las células producen electricidad 11
Ilustración 4. Componentes de una instalación fotovoltaica 12
Ilustración 5. Módulo de células monocristalinas 13
Ilustración 6. Módulo de células policristalinas 13
Ilustración 7. Módulo de lámina delgada 14
Ilustración 8. Módulo de concentración fotovoltaica 14
Ilustración 9. Placa en estructura independiente 15
Ilustración 10. Placas flotantes 15
Ilustración 11. Definición de la inclinación y azimut según el CTE 16
Ilustración 12.Especificaciones de pérdidas en instalaciones fotovoltaicas según el CTE. 16
Ilustración 13. Captura web PNOA 19
Ilustración 14. Ortografía de Antequera. Recuadro rojo indica la zona de estudio 20
Ilustración 15. Cartografía catastral de Antequera 20
Ilustración 16. Modelo Digital de Superficie de Antequera 21
Ilustración 17. Modelo Digital de Superficies Normalizado de Antequera 22
Ilustración 18. Página web Soda-Pro 22
Ilustración 19. Datos de la base de datos Solar Geometry 2 23
Ilustración 20. Naves polígono de Antequera 23
Ilustración 21. Plano situación del municipio de Antequera 24
Ilustración 22. Parámetros climáaticos 25
Ilustración 23. Delimitación zona de estudio 27
Ilustración 24. Zona de estudio 26
Ilustración 25. Especificación zona 27
Ilustración 26. Capa catastro con naves mal definidas 28
Ilustración 27. Naves polígono bien definidas 28
Ilustración 28. Tabla datos posición sol. 29
Ilustración 29. Herramienta 'Zona de influencia' para eliminar zonas de paso a cubiertas 30
Ilustración 30. Capa creada para el paso de cubierta 31
Ilustración 31. Herramienta 'Pendiente' 32
Ilustración 32. Capa de pendiente de las cubiertas 32
Ilustración 33. Herramienta 'Orientación' 33
Ilustración 34. Orientación de cubiertas 33
Ilustración 35. Herramienta 'Reclasificar' 34
Ilustración 36. Herramienta 'Calculadora ráster' 34
Ilustración 37. Orientación según CTE 35
Ilustración 38. Herramienta 'Calculadora ráster' para asignar valor de latitud 35
Ilustración 39. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo de pérdidas 36
Ilustración 40. Herramienta 'Reclasificar' para asignar valores de 1 y 0 37
Ilustración 41. Zonas que son válidas para las especificaciones del CTE 37
Ilustración 42. Herramienta 'Sombreado' 39
Ilustración 43. Herramienta 'Calculadora ráster' 39
Ilustración 44. Herramienta 'Calculadora ráster' para obtener un mes 40

Ilustración 45. Herramienta 'Calculadora ráster' para calcular mapa de sombras del año 40
Ilustración 46. Mapa de sombra anua clasificado 41
Ilustración 47. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo del mapa de perdidas 41
Ilustración 48. Herramienta 'Reclasificar' para seleccionar superficie útil 42
Ilustración 49. Superficie útil disponible..... 42
Ilustración 50. Área útil en m2 representado en cada parcela 43
Ilustración 51. Herramienta 'Radiación solar de areas' 44
Ilustración 52. Irradiación global anual en cada nave..... 44
Ilustración 53. Tabla generada para cálculo de potencias 45
Ilustración 54. Potencia módulos Si-Monocristalinos.....45
Ilustración 55. Potencia módulos Si-Multicristalinos.....46
Ilustración 56. Potencia modulos CIS.....45
Ilustración 57.Potencia modulo TeCd.....46
Ilustración 58. Potencia módulos Si-Amorfo 46
Ilustración 59. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo de la energía producida 47
Ilustración 60. Energía módulos Si-Monocristalinos..... 48
Ilustración 61. Energía módulos Si-Multicristalinos..... 48
Ilustración 62. Energía módulos CIS..... 48
Ilustración 63. Energía módulos TeCd..... 48
Ilustración 64. Energía módulos Si-Amorfo 48
Ilustración 65. Discordancia entre MDSN y ortofoto 49
Ilustración 66. Comprobación inclinación..... 50
Ilustración 67. Comprobación orientación. 50
Ilustración 68. Visualización lateral cubierta 50
Ilustración 69. Comprobaciones pérdidas. 51
Ilustración 70. Comprobación de sombras 51
Ilustración 71.Potencia instalada (kWp) según módulo 52
Ilustración 72. Energía producida (Mwh) según módulo..... 52

1. Introducción

La energía fotovoltaica ha aumentado significativamente en los últimos años, convirtiéndose en una fuente de suma importancia. Los grandes avances revolucionarios introducidos en este tipo de tecnología hacen que resulte de poca dificultad poder transformar la energía solar en electricidad gracias a las células que están integradas dentro de los paneles solares. Es muy frecuente encontrarnos estas instalaciones tanto en edificios residenciales como en instalaciones comerciales e industriales.

La instalación de paneles solares en polígonos es muy aconsejable porque nos ayuda a disminuir los costes energéticos que pueden derivar de la maquinaria, puede aportar una mejor imagen de la empresa y reputación como un negocio comprometido con la sostenibilidad y el medio ambiente, posicionando a la vez a la empresa como una a la última en vanguardia e innovación. Debemos de tener en cuenta que la instalación de este tipo de paneles masivos en el polígono no nos produciría problemas de estética como puede llegar a ocasionar la instalación de estos en cualquier otro punto de la ciudad.

En la actualidad, el aumento de la demanda de energía eléctrica, combinada con la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir al máximo el uso de los combustibles fósiles, ha impulsado el desarrollo de fuentes de energía renovable. Tal es así que en Europa hemos pasado en 2003 de conseguir 1 GW de potencia instalada a en el año 2010 unos 13 GW y en el año 2011 llegando a los 22 GW. mediante energía renovables Entre estas fuentes, se encuentra, la energía solar fotovoltaica que destaca como una solución prometedora gracias a su disponibilidad, sostenibilidad y capacidad de generar electricidad limpia [1].

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) tiene como objetivo principal analizar el potencial fotovoltaico del polígono industrial de Antequera. Este análisis se llevará a cabo considerando diversos factores que influyen en la eficiencia y rentabilidad de dicho sistema, como la localización geográfica, la orientación, el ángulo de inclinación de nuestros tejados, las sombras que se pueden llegar a producir, la eficiencia de los propios paneles fotovoltaicos…

El potencial fotovoltaico se basa en la radiación solar disponible en la región de estudio, la cual puede variar según la ubicación geográfica, el clima local y otros factores medioambientales. La cantidad de radiación solar incidente en una zona determinada es un factor fundamental para determinar la cantidad de energía eléctrica que se puede generar a partir de paneles solares fotovoltaicos.

Además de la radiación solar, otros aspectos importantes a considerar son la orientación e inclinación de los paneles solares, el impacto de sombras, las condiciones de temperatura y la infraestructura existente para la conexión a la red eléctrica. Estos factores influyen en la eficiencia de conversión de la energía solar en electricidad y en la rentabilidad de los proyectos solares fotovoltaicos.

Para llevar a cabo el análisis del potencial fotovoltaico en el polígono de Antequera, se recopilaron datos de pendientes, orientaciones, sombras, radiación entre otros y se utilizarán herramientas de simulación y modelado específicos como el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Modelos Digitales de Superficie (MDS). Estas herramientas permitirán evaluar la producción de electricidad a lo largo del año mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos en la región. Una de las principales características de este sistema es la capacidad de integración de información alfanumérica y de datos georreferenciados que nos permiten obtener una visión conjunta del territorio y abordar análisis sobre grandes extensiones urbanísticas que mediante otra forma conllevaría procedimientos muy costosos.

En resumen, este TFG se centrará en analizar el potencial fotovoltaico de Antequera. Los resultados de este estudio nos darán información valiosa para la toma de decisiones en materia de energía renovable y contribuirán al desarrollo sostenible de la región, fomentando la adopción de tecnologías limpias y renovables en el sector energético.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es llevar a cabo un estudio exhaustivo y minucioso sobre el potencial fotovoltaico del polígono de Antequera. El estudio tendrá como misión principal analizar los diversos factores que influyen en la rentabilidad y eficiencia del sistema fotovoltaico incluyendo todos los datos pertinentes recopilados anteriormente dando lugar a la radiación solar.

Para este trabajo se ha hecho uso de la aplicación ArcMap dentro del programa ArcGIS. En nuestro caso hemos seleccionado para el estudio el polígono de Antequera, situado a las afueras del casco urbano de la ciudad de Antequera.

La metodología del estudio tendrá como estructura principal poder llegar a lograr los siguientes objetivos al final de la elaboración de este:

- Calcular la superficie de tejado útil disponible para la instalación de paneles fotovoltaicos mediante las pendientes, orientaciones y las sombras, para rentabilizar al máximo la instalación
- Determinar la radiación solar recibida en la zona seleccionada
- Evaluar la potencia instalada en función del tipo de módulo fotovoltaico a instalar, en nuestro estudio consideraremos 5 diferentes tipos de módulos que son los comúnmente más utilizados.
- Estimar la energía que se podría generar si se llevase a cabo la instalación con los diferentes módulos analizados

3. Fundamentos teóricos

a. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene de convertir luz solar en electricidad, por lo que tenemos a nuestro alcance una forma de aprovechar la radiación para poder generar electricidad de manera directa. Esta nueva forma de conseguir la electricidad usa paneles solares formados por varias células fotovoltaicas que convierten automáticamente la luz solar en electricidad.

Este tipo de energía se trata de una energía renovable (el sol es una fuente inagotable de energía) y no contaminante (no emiten gases de efecto invernadero ni producen contaminantes atmosféricos por lo que contribuye a la mejora de la calidad del aire)

b. Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones transmitidas por el Sol. Este transmite la radiación en forma de ondas electromagnéticas. Una vez que el Sol nos transmite esas ondas, no todas consiguen penetrar en la superficie terrestre debido a factores como el clima, la topografía y demás especificaciones propias del terreno donde nos encontremos.

La radiación solar se mide en una superficie horizontal mediante un sensor situado al sur y donde no haya sombras para que toda la radiación incida de forma directa sobre el sensor. Su unidad de medida es el W/m2 (vatio por metro cuadrado).

Podemos tener 3 componentes de radiación en función de cómo llega a la superficie terrestre **(Ilustración 1**):

- **Radiación difusa**: Sucede cuando la radiación no penetra de manera directa y se dispersa en múltiples direcciones a causa de las nubes, montañas etc.
- **Radiación directa**: Es la radiación que llega directamente del Sol sin sufrir ningún tipo de variación ni cambio.
- **Radiación reflejada (reflexión)**: Fracción de luz que llega por el reflejo de esta en las superficies como puede ser el agua, el suelo, las nubes. A este fenómeno se le conoce como efecto albedo

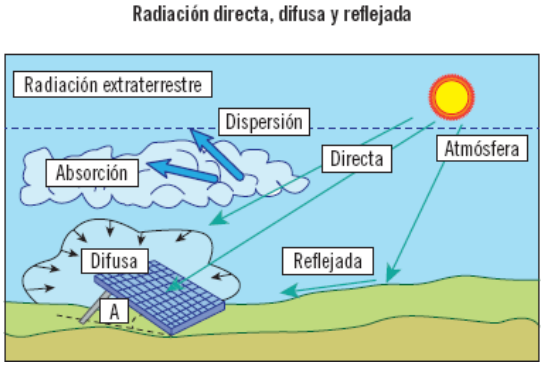


***Ilustración 1**. Tipos de radiación solar* [2]

c. Posición del sol

Cuando hablamos de la posición del sol nos referimos a la ubicación del sol en el cielo en un momento específico. La posición en la que se encuentra el Sol varía según la hora y el mes en el que nos encontremos y la ubicación, debido al movimiento de rotación de la Tierra y de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol por lo que todo esto nos influye en cuanta cantidad de luz solar llega a nuestro terreno de estudio.

Durante el día, el sol va desde el este hacia el oeste. El punto más alto en el cielo del sol se produce en el momento denominado "mediodía solar". La posición del sol queda completamente definida con los siguientes términos **(Ilustración 2**):

- **Altitud**: Ángulo vertical medido en grados desde el horizonte hasta su posición en el cielo. Su principal uso es para indicar la altura con respecto al horizonte, está comprendido entre el rango [0º- 90º] donde 0º nos indicaría que se encuentra en el horizonte y 90º que se encuentra totalmente encima.
- **Acimut**: Ángulo horizontal medido en grados en sentido de las agujas del reloj, que abarca el rango [0º-360º] donde 0º nos indicaría el norte, 90º el este, 180º el sur y 270º el oeste

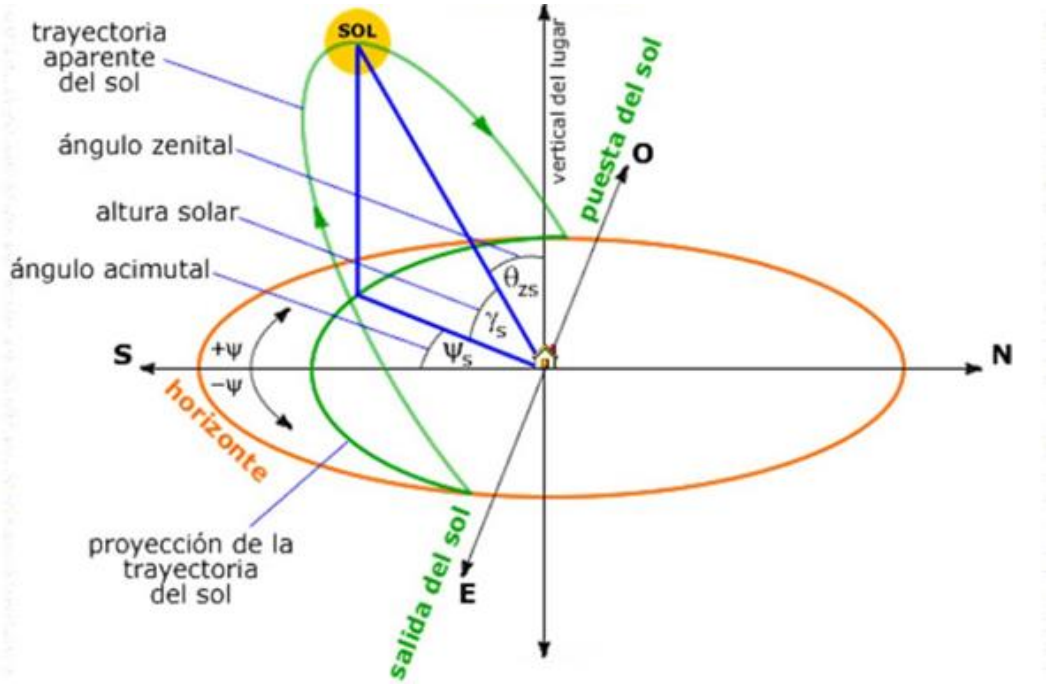


***Ilustración 2**. Esquema posición solar* [3]

d. Tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica se refiere a las técnicas que se usan para convertir luz solar en electricidad. Las placas fotovoltaicas están compuestas en su interior por células, dentro de cada célula tenemos un material semiconductor formado por dos capas una positiva (tipo P) y otra negativa (tipo N) para poder formar un campo eléctrico. Cuando la luz solar incide sobre las células fotovoltaicas, los fotones por los que están formadas estas células se activan liberando electrones a través de las capas descritas anteriormente y estas forman un flujo de corriente eléctrica. Esta corriente eléctrica puede ser usada para alimentar dispositivos eléctricos directamente o almacenarla en baterías para usarla posteriormente **(Ilustración 3**)

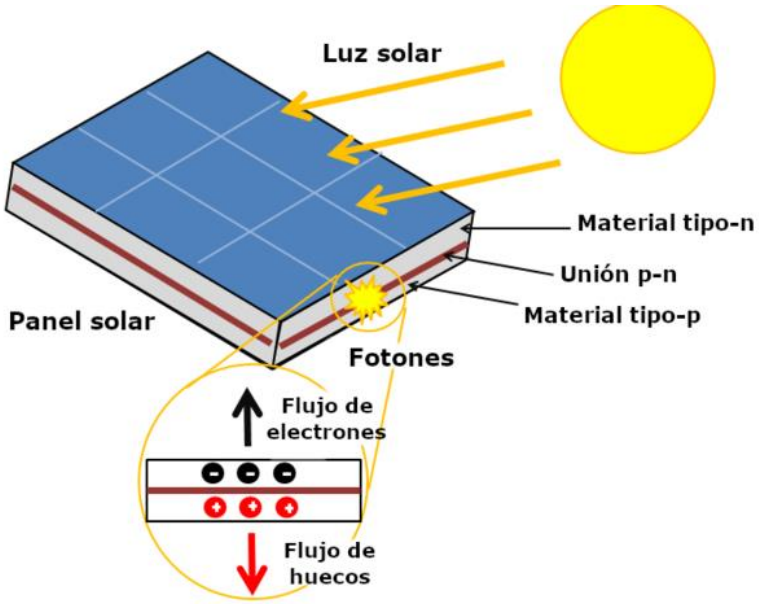


***Ilustración 3**. Como las células producen electricidad.* [4]

Las células solares pueden tener una vida útil de entre 20 y 40 años. Este tipo de tecnología ha experimentado grandes avances en los últimos tiempos por lo que ha llevado a lograr una mayor eficiencia en la conversión de la luz solar en electricidad, tal es así que se han desarrollado diferentes tipos de células como veremos posteriormente.

Cada vez estamos haciendo más uso de este tipo de tecnología por lo que todo nos hace indicar que este sector seguirá en auge y se continuarán desarrollando, mejorando y evolucionando este tipo de tecnología con el fin de conseguir una mayor eficiencia para que resulte más accesible para todos puesto que es un gran atractivo como fuente de energía sostenible.

e. Componentes de un sistema fotovoltaico

En este apartado vamos a hacer referencia al conjunto de componentes que son necesarios para poder transformar la energía solar en eléctrica y que esta sea compatible con nuestra red convencional y nuestros dispositivos de uso diario. Cabe destacar que las placas generan la corriente eléctrica en corriente continua (CC) y la corriente que nosotros solemos usar habitualmente es la denominada corriente alterna (CA). Los componentes prioritarios para poder realizar este proceso son los siguientes **(Ilustración 4**):

- **Paneles solares**: Convierten la radiación en electricidad en CC.
- **Estructura de montaje**: Será el encargado de sujetar y mantener con la inclinación y orientación dispuesta los paneles solares donde se colocan.
- **Inversor**: Es necesario que estén conectados a las baterías y su misión es convertir la corriente continua en corriente alterna apta para el consumo.
- **Baterías para almacenamiento de energía**: Encargadas de almacenar la energía no usada durante las horas de sol para poder usarla cuando no se encuentre presente. Puede llegar a ser lo más costoso de toda la instalación.
- **Regulador de carga**: Su función es regular el paso de la energía entre los paneles solares y las baterías. Para un rendimiento adecuado es muy importante haber realizado un dimensionamiento. Podemos encontrar 2 tipos (PWM y MPPT)
- **Cableado y conectores**: todos los componentes necesitan estar conectados entre sí. Es importante respetar las diferentes intensidades que circulan entre cada componente.
- **Equipos de procesamiento de energía**: sirve para poder registrar la cantidad de energía producida por el sistema y la energía que exportamos a la red eléctrica.
- **Dispositivos de protección contra sobreintensidades y sobretensiones**: formado por desconectadores de seguridad automáticos que protegen al cableado y sus componentes en caso de alguna subida de tensión o fallo en el sistema.
- **Equipo de puesta a tierra**: al igual que los dispositivos anteriores estos proporcionan seguridad al sistema de cualquier tipo de sobrecarga como pueden ser los rayos.

Estos componentes enumerados son los que distribuyen y almacenan la electricidad de forma segura y eficiente, tal es la importancia de todos estos componentes que pueden suponer hasta la mitad del coste total del sistema fotovoltaico [5]

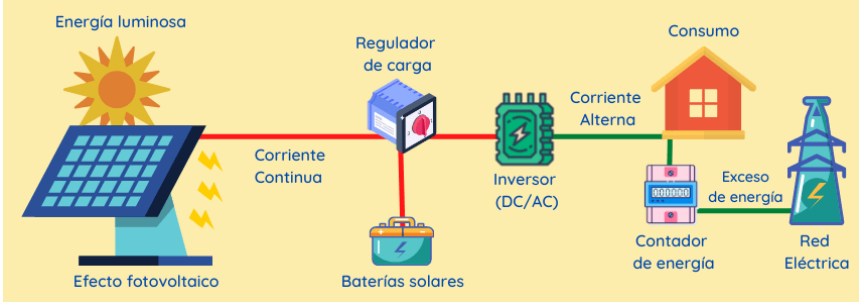


***Ilustración 4**. Componentes de una instalación fotovoltaica* [6]

f. Tipos de células fotovoltaicas

Podemos encontrar en el mercado diferentes tipos de módulos fotovoltaicos con diferentes tamaños precio y calidades. A continuación, vamos a proceder realizar una enumeración con alguno los diferentes tipos de células existentes actualmente:

- **Células con cristal de silicio**: Hoy en día son las más usadas en la industria fotovoltaica. Pueden dividirse en dos tipos:

    1. Monocristalinas: Células que están formadas por un solo cristal con estructura muy uniforme. Debido a su pureza nos garantiza un rendimiento superior a las demás, esto se consigue, gracias a que tiene los átomos de silicio perfectamente alineados y facilita mucho la conductividad entre los elementos. Se pueden reconocer a simple vista debido a su color homogéneo azul oscuro y con forma octogonal **(Ilustración 5**)[7]



***Ilustración 5**. Módulo de células monocristalinas* [8]

    2. Policristalinas o multicristalinas: Están compuestas por un bloque con varios cristales de silicio. Serán más baratas de producir, pero su rendimiento se verá perjudicado. Estas células se pueden reconocer por su color irregular y tener una forma totalmente cuadradas **(Ilustración 6)**

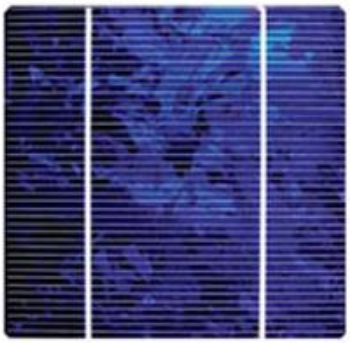


***Ilustración 6**. Módulo de células policristalinas* [9]

- **Células de capa delgada o amorfas**: Su formación se realiza depositando capas delgadas de material fotovoltaico sobre un sustrato flexible pudiendo ser vidrio o plástico [10]. Funcionan bien con poca luz. Estos módulos son los más baratos del mercado, pero tienen peor eficiencia que los mencionados antes por lo que se necesitaran una superficie mayor para llegar a la misma cantidad que con los otros tipos. Se recomienda este tipo de células para zonas donde el espacio no sea un problema **(Ilustración 7**)



***Ilustración 7**. Módulo de lámina delgada* [11]

- **Células de concentración fotovoltaica**: Su principal función es enfocar las células hacia la luz solar para que esta incida directamente sobre ellas mediante radiación directa **(Ilustración 8**)

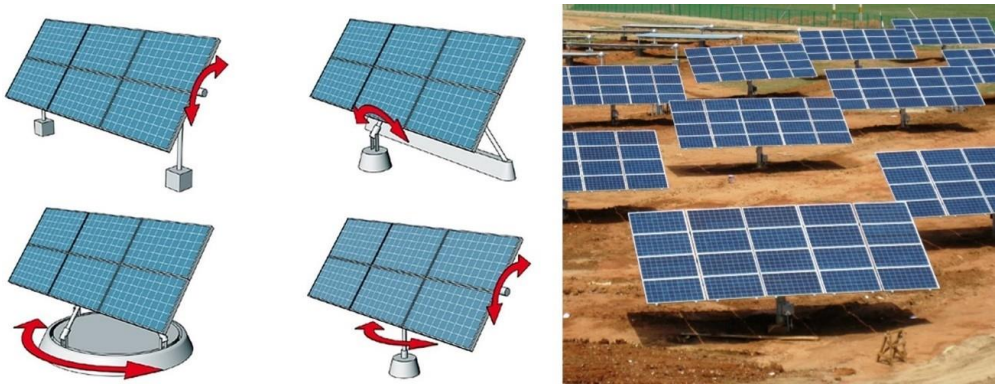


***Ilustración 8**. Módulo de concentración fotovoltaica* [11]

- **Células fotovoltaicas híbridas**: Formadas por una mezcla de células amorfas y monocristalinas para poder lograr así la máxima eficiencia posible. Este tipo de célula se encuentra en desarrollo y en fase de investigación por lo que será la opción más cara.

Tras ver cuáles son los tipos de células que existen se ha llegado a la conclusión que el módulo fotovoltaico dependerá de varios factores como el tamaño, la calidad de materiales, la eficiencia deseada, tamaño del tejado del ángulo de inclinación y la orientación a la que apunte podemos seleccionar un tipo de placa a u otra.

g. Tipos de instalaciones

Habitualmente tendemos a relacionar placas solares con tejados de los edificios puesto que es la zona habitual de la colocación de estos sistemas. Actualmente no es la única opción disponible, también se han desarrollado otro tipo de sistemas, como sistemas montados en el suelo en estructuras independientes, en las fachadas, ventanas de los edificios, flotantes etc. (**Ilustración 9 y 10**)

En este estudio solo colocaremos placas sobre los tejados de las naves del polígono, porque consideramos que con la gran amplitud de nuestras cubiertas es suficiente para abastecer la demanda requerida. La mayoría de los tejados que se encuentran en nuestro polígono son de los más comunes, es decir, tejados inclinados con una pendiente inclinada, como tejados a una o dos aguas, estos tejados son los más favorables para realizar este tipo de instalaciones porque nos permiten una fácil orientación hacia el sol. También existen otro tipo de tejados como pueden ser los planos, invertido, con cubierta mansarda, metálicos, con tejas etc. [12].



***Ilustración 9**. Placa en estructura independiente*



***Ilustración 10**. Placas flotantes* [13]

h. Pérdidas según el Código técnico de la Edificación

Cuando instalamos placas fotovoltaicas en las cubiertas de las naves o en los tejados de los edificios se nos ofrece una oportunidad grandiosa para aprovechar la energía solar y poder generar electricidad de manera limpia.

Los tejados suelen ser la ubicación más ideal para la instalación de este tipo de módulos, ya que al estar en esta localización nos proporcionan una mayor luz solar y menores sombras, lo que da lugar a una mayor eficiencia y por consiguiente mayor producción de energía eléctrica. A la vez que realizar una instalación en las cubiertas o tejados nos da ventaja también nos presenta inconvenientes porque no todos los tejados presentan una disposición óptima para captar de la mejor forma posible la radiación solar, es por eso, que colocamos los paneles sobre estructuras con una cierta inclinación y orientación para poder conseguir la máxima eficiencia posible.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) en el apartado de DB-HE nos define: "*Siendo β ángulo de inclinación, definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal* (**Ilustración 11, figura izquierda**). *Su valor es 0 para módulos horizontales y 90º para verticales" y "ángulo de azimut α, definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar* (**Ilustración 11, figura derecha**) *con valores típicos de 0º para módulos orientados al sur, -90º para módulos orientados al este y +90º para módulos orientados al oeste*"

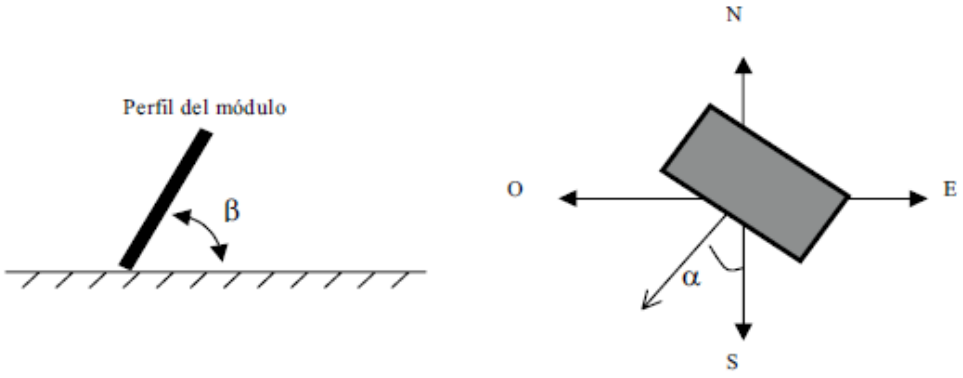


***Ilustración 11**. Definición de la inclinación y azimut según el CTE* [14]

Estas pérdidas límites, para módulos superpuestos en cubiertas de edificios no serán superiores al 20%, tal y como se especifica en el CTE:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

***Ilustración 12**.Especificaciones de pérdidas en instalaciones fotovoltaicas según el CTE.*

A partir de esto se ha generado la siguiente fórmula según la posición en la que se encuentre nuestra cubierta [14]:

$$Pérdidas\ (\%) = 100 * [1{,}2 * 10^{-4}(\beta - \phi + 10)^2 + 3{,}5 * 10^{-5} * \alpha^2]\ para\ 15º < \beta < 90º$$

$$Pérdidas\ (\%) = 100 * [1{,}2 * 10^{-4} * (\beta - \phi + 10)^2]\ para\ \beta \leq 15º$$

α= Ángulo de azimut (orientación)

β= Ángulo de inclinación (0º para orientación sur, -90º para orientación este y -90º para orientación oeste)

ϕ= Latitud del lugar

$\alpha, \beta\ y\ \phi$ se expresan en grados sexagesimales

i. Factores que influyen en el potencial fotovoltaico

Las placas fotovoltaicas al igual que otro dispositivo no funciona igual ante cualquier situación adversa que se produzca. El potencial fotovoltaico está influenciado por diversos factores [15], algunos de los más importantes son:

- **Radiación solar**: La cantidad de radiación de una región variará con respecto de otra. Las áreas con mayor radiación recibirán más energía, por lo que esto los dotará de un mayor potencial.
- **Orientación e inclinación**: la orientación e inclinación afectarán de forma notable como ya hemos mencionado anteriormente. Una buena localización sería en regiones cercanas al ecuador. La colocación ideal de las placas sería de una orientación al sur si nos encontrásemos en el hemisferio norte y de orientación al norte si estuviésemos en el hemisferio sur.
- **Sombreado:** las sombras generadas por cualquier tipo de obstáculo significan una especial reducción drástica del potencial.
- **Temperatura**: no es un factor muy determinante, pero se aconseja que estén en zonas donde la temperatura no sea demasiado alta porque su rendimiento se verá reducido a medida que aumente la temperatura, es decir, estas placas trabajan mejor en zonas donde la temperatura sea algo más suave.
- **Reflexiones**: Superficies reflectantes, como el agua, nos condicionan la cantidad de radiación solar que puede llegar a los paneles solares aumentando o disminuyendo así su potencial.
- **Pérdidas eléctricas**: Cuando hablamos de pérdidas eléctricas nos referimos a los diversos cables y conexiones que forman nuestra instalación y que el daño de alguno de estos elementos puede suponer una gran disminución en el rendimiento de nuestra instalación.
- **Evolución tecnológica**: Las mejoras en la tecnología de los módulos fotovoltaicos y su sistema dará lugar a un aumento significativo del potencial fotovoltaico a medida que avance más tiempo.
- **Limpieza y mantenimiento**: El polvo, los residuos y la suciedad almacenada en la superficie puede llegar a reducir la capacidad de estos para captar radiación y, en consecuencia, disminuir el potencial. Una limpieza regular aumentará el rendimiento y su potencial.

j. Medición

➢ Energía producida

La energía producida por placas fotovoltaicas está influenciada por varios factores como la duración de la radiación solar, la potencia nominal de las placas y la eficiencia de las placas.

La energía total anual se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$E = I_{md} * 365 * A_{pv} * e$$

$E =$ Energía anual (kWh)

$I_{md} =$ Media diaria de la radiación solar (kWh/m^2 dia)

$A_{pv} = Superficie\ de\ tejado$ útil

$e = Eficiencia\ de\ los\ módulos\ fotovoltaicos$

La **ecuación 4** estaría incompleta porque nos faltaría otro coeficiente para tener en cuenta que se conoce como el rendimiento energético de la instalación o "Performance Ratio" (PR). Este nuevo coeficiente nos dará información acerca de la calidad de la instalación fotovoltaica, teniendo en cuenta los diversos factores que son necesarios. Habitualmente se suele usar un valor medio por defecto del PR del 80% (0,8). Este valor asume una disposición óptima del sistema, sin pérdidas, por tanto, nuestra fórmula para calcular la energía total quedaría de la siguiente forma [16]

$$E = I_{md} * 365 * A_{pv} * e * PR$$

- **Potencia instalada**

"La potencia instalada en corriente alterna de una central fotovoltaica conectada a la red, como la potencia de corriente alterna a la entrada de la red eléctrica para un campo fotovoltaico con todos sus módulos en un mismo plano y que opera, sin sombras a las condiciones estándar de medidas"[17]

La fórmula para el cálculo de la potencia de cada placa fotovoltaica estará condicionada por los siguientes factores [16]:

$$P = I_9 * e * Apv$$

$P = Potencia\ instalada\ (kWp)$

$I_g = Irradiación\ global$ =1 kW/m2

$e = Eficiencia\ de\ los\ módulos\ fotovoltaicos$

$A_{pv} = Superficie\ de\ tejado$ útil *disponible*

4. Obtención de datos

Antes de empezar con nuestro proyecto se tendrá que realizar una recopilación de una serie de datos que posteriormente nos harán falta y usaremos en nuestro proyecto para la realización. Para ello vamos a describir cada uno de ellos para poder dar comienzo al desarrollo del trabajo. Este apartado es uno de los más importantes en el proyecto porque todo nuestro proyecto se verá influenciado por estos contenidos. Dependiendo de los datos se puede hacer un estudio más básico o uno con mayor profundidad y especificación.

4.1.Ortofoto

Obtención de una ortofoto de la zona en la cual va a ser desarrollado nuestro estudio. Este material lo hemos obtenido del Plan Nacional de Ortografías Aéreas (PNOA)[18] mediante una búsqueda por municipios. Tendremos que escoger o seleccionar una ortofoto en la que quede completamente definida toda nuestra zona de estudio.

Seleccionamos la ortofoto de máxima actualidad ofrecida por el PNOA que corresponde a julio de 2019 con una resolución de 0,25 x 0,25 m



***Ilustración 13**. Captura web PNOA* [18]

La ortofoto que se descarga abarca todo el municipio y parte de la comarca de Antequera, pero como nuestra zona de estudio es solo la del polígono industrial, recortamos esta ortofoto y nos quedamos solo con la zona que nos interesa. Este proceso se explicará posteriormente en otro punto dedicado especialmente para ello.

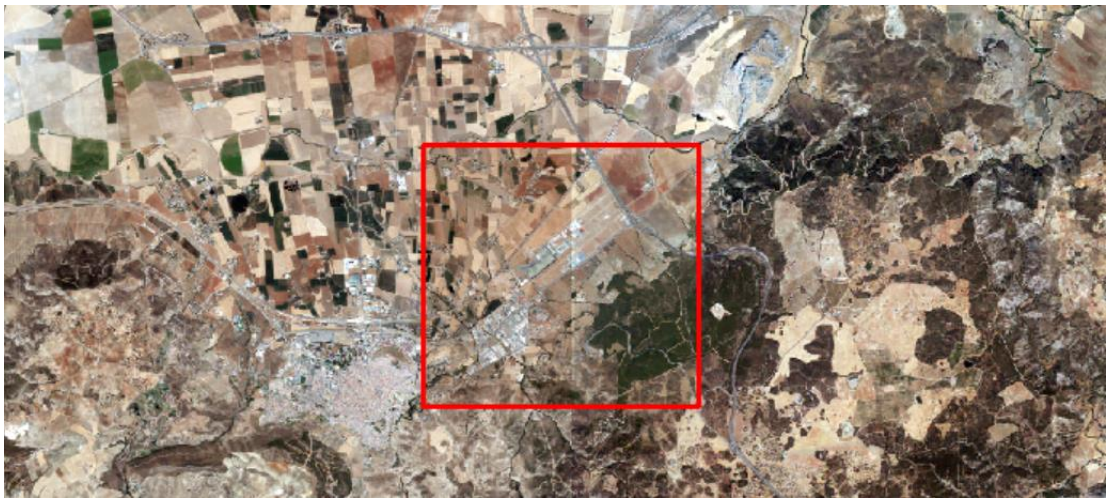


***Ilustración 14**. Ortografía de Antequera. Recuadro rojo indica la zona de estudio* [18]

4.2.Catastro

La Sede Electrónica del Catastro [19] brinda la oportunidad de acceder a los datos catastrales y ofrece de manera gratuita la cartografía catastral en formato "Shapefile". El archivo descargado contiene información de las diversas parcelas catastrales incluyendo suelo, alturas de diferente planta etc. etc. También nos indica otros datos relevantes como pueden ser el área, el número de edificación, e irrelevantes como el año de fecha de alta, de baja, de cambio de propietario etc.

También debemos tener en el modelo una delimitación de los edificios para conocer con exactitud las dimensiones de los tejados a las que nos enfrentamos. Dicha información la podremos encontrar en la Sede Electrónica del Catastro

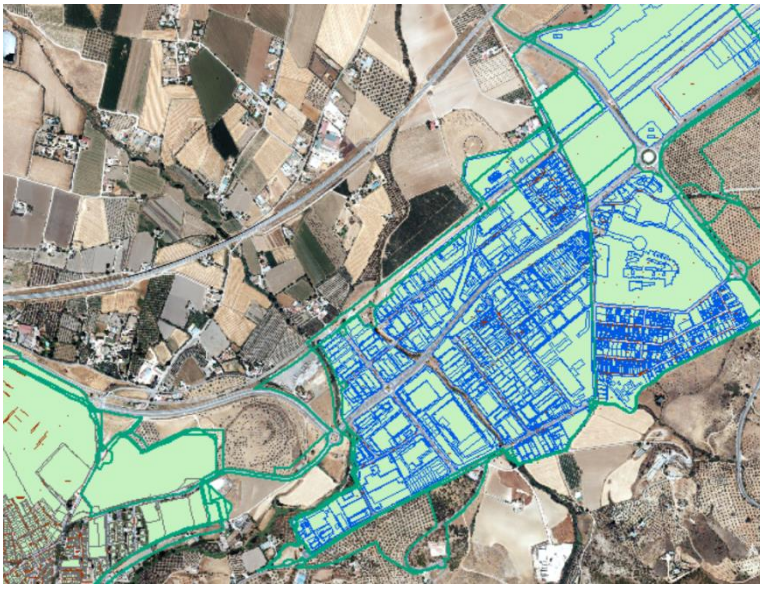


***Ilustración 15**. Cartografía catastral de Antequera* [19]

4.3.Modelo Digital de Superficie

El Modelo Digital de Superficies (MDS) nos da una representación digital tridimensional de la topografía del terreno de estudio. Estos modelos son realizados mediante técnicas de mapeo y datos geoespaciales para que se tenga en cuenta la elevación y el relieve del área. Nos dará información con detalle de la altitud y pueden procesarse mediante herramientas de análisis espacial para obtener mapas de pendientes y orientación, entre otros.

Estos MDS se obtienen a partir de datos LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) que es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz láser para obtener una muestra densa de la superficie. Los componentes necesarios para elaborar un sistema de datos LIDAR están formados por:

- Vehículo de recolección aéreo: avión, helicóptero…
- Sistema de escáner láser
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- INS (Sistema de Navegación por Inercia)

Estos datos LIDAR se pueden obtener del PNOA [18] y con ellos generar el MDS, pero como el propio PNOA nos da un buen MDS con una buena resolución, cogemos directamente el MDS, porque no se obtendrá uno que supere la resolución de este. Cuando nos referimos a resolución, estamos refiriéndonos a más densidad en el archivo de puntos LIDAR, es decir, más puntos por m^2, por lo que si tenemos más detalle (puntos) por m^2 se reproducirá mejor la cubierta pudiéndose así representar incluso chimeneas y otro tipo de elementos sobre los tejados. Si quisiéramos tener una mejor resolución tendríamos que realizar un vuelo tal y como se encarga para proyectos privados más específicos, pero para nuestro TFG con la resolución que tiene nuestro MDS es suficiente.

Como anteriormente, volvemos a realizar una búsqueda por municipios para seleccionar una que abarque toda nuestra área de estudio.

Se tienen varios Modelos Digitales que se van a usar en este estudio.

1. Modelo Digital de Superficie 1º cobertura con paso de malla de 5 m. Año 2014

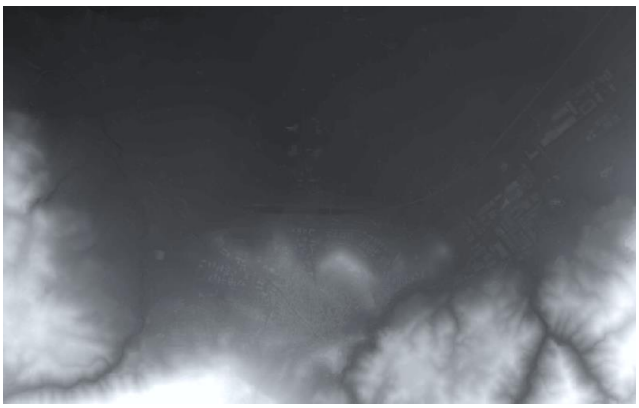


***Ilustración 16**. Modelo Digital de Superficie de Antequera*

2. Modelo Digital Superficie normalizado de clase edificación correspondiente a la 1º cobertura con paso de malla de 2,5 m. Año 2014



***Ilustración 17**. Modelo Digital de Superficies Normalizado de Antequera*

4.4.Posición sol

También deberemos de conocer y tener en presencia los datos relativos a la posición del sol que tiene lugar en nuestra zona de estudio. Para ello accedemos a la página web SoDa-Pro (Solar Radiation Data) [20]y descargamos una tabla que nos dará datos específicos acerca de la latitud y azimut de nuestra zona de estudio. Esta web tiene datos desde el 1980 hasta el 2023, en nuestro caso le hemos pedido que nos de datos desde el 1 de enero de 2022 al 31 de diciembre de 2022 con intervalos de una hora. La tabla nos dará una serie de datos que tendremos que editar posteriormente [21].

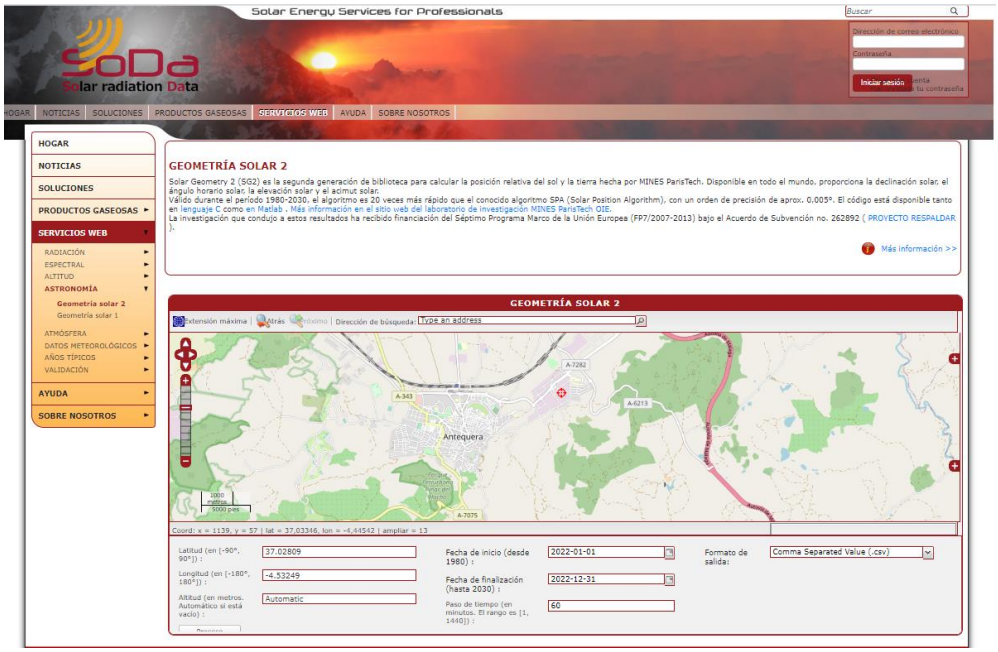


***Ilustración 18**. Página web Soda-Pro* [20]

Solar Geometry 2
Fast and accurate Solar Position Algorithm
MINES ParisTech / ARMINES
The research leading to these results of the ENDORSE project that has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under Grant Agreement no. 262892 (www.endorse-fp7.eu)
#
JDUT: universal julian date (day)
YYYY: year
MM: month of the year
DD: day of the month
H: hour of the day (decimal hour)
DOY: day of the year
DELTA: topocentric declination (radian)
OMEGA: topocentric hour angle (radian)
GAMMA_S0: topocentric Sun elevation angle without refraction correction (radian)
ALPHA_S: topocentric Sun azimuth angle Eastward from North (radian)
R: Sun-Earth Radius (ua)
#
latitude: 37.028090 longitude: -4.532490

# JDUT	YYYY	MM	DD	H	DOY	DELTA	OMEGA	GAMMA_S0	ALPHA_S	R
245.958.050.000.000	2022	1	1	0.0000	1	-0.40178632	96.657.287.637.774.300	-1.313.386.142.875	################	0.983354158687
245.958.054.166.667	2022	1	1	10.000	1	-0.40172778	96.657.549.341.225.700	-1.286.590.440.490	0.581655101857	0.983353744418
245.958.058.333.333	2022	1	1	20.000	1	-0.40166990	96.657.811.045.133.000	-1.127.594.765.624	################	0.983353330149
245.958.062.500.000	2022	1	1	30.000	1	-0.40161261	96.658.072.750.120.000	-0.929617790786	################	0.983352915880
245.958.066.666.667	2022	1	1	40.000	1	-0.40155578	96.658.334.456.747.800	-0.721949783117	################	0.983352501612
245.958.070.833.333	2022	1	1	50.000	1	-0.40149925	96.658.596.165.467.900	-0.513608417627	################	0.983352087343
245.958.075.000.000	2022	1	1	60.000	1	-0.40144280	96.658.857.876.582.900	-0.309260515709	################	0.983351673074
245.958.079.166.667	2022	1	1	70.000	1	-0.40138620	96.659.119.590.243.400	-0.112912025718	################	0.983351258805
245.958.083.333.333	2022	1	1	80.000	1	-0.40132922	96.659.381.306.428.800	0.070729718162	################	0.983350844537
245.958.087.500.000	2022	1	1	90.000	1	-0.40127163	96.659.643.024.940.900	0.235356092850	################	0.983350430268
245.958.091.666.667	2022	1	1	100.000	1	-0.40121323	96.659.904.745.433.600	0.372360362969	################	0.983350015999
245.958.095.833.333	2022	1	1	110.000	1	-0.40115385	96.660.166.467.429.200	0.470858159843	################	0.983349601730
245.958.100.000.000	2022	1	1	120.000	1	-0.40109340	96.660.428.190.341.300	0.519652632039	################	0.983349187461
245.958.104.166.667	2022	1	1	130.000	1	-0.40103181	96.660.689.913.532.700	0.511714770786	################	0.983348773193
245.958.108.333.333	2022	1	1	140.000	1	-0.40096910	96.660.951.636.350.100	0.448267222564	################	0.983348358924
245.958.112.500.000	2022	1	1	150.000	1	-0.40090533	96.661.213.358.159.800	0.338005181211	################	0.983347944655

***Ilustración 19**. Datos de la base de datos Solar Geometry 2* [21]

5. Descripción de área de estudio

5.1.Situación

El polígono de Antequera es una zona industrial localizada en la ciudad de Antequera en la provincia de Málaga, en la comunidad autónoma de Andalucía en la zona sur de España. Antequera se encuentra rodeada de un paisaje natural diverso que incluye montañas, colinas y paisajes agrícolas.

Nuestro polígono se encuentra en una ubicación clave puesto que al estar la ciudad en el centro geográfico de Andalucía lo dota de una muy buena situación estratégica y accesible, convirtiéndolo así en un punto importante para el transporte y la logística de la región. Se pueden encontrar una gran diversidad de empresas, sobre unas 250 empresas, con un grado de ocupación cercano al 80% [22], dedicadas a todo tipo de actividades abarcando desde la logística y almacenamiento hasta sectores como la construcción, automoción, fabricación e incluso emprendimiento.

Hoy en día el polígono se encuentra en proceso de expansión como últimas incorporaciones cabe destacar dos grandes empresas internacionales como Ikea y la empresa emiratí IMZ holdings con su filial Xpanel dedicada a los nuevos sectores de construcción prefabricados y sostenibles.



***Ilustración 20**. Naves polígono de Antequera* [23]

La tónica general de las naves de nuestro polígono suele ser de naves con una sola planta con cubierta casi plana o cubiertas del tipo a dos aguas. La amplia mayoría de las naves que forman nuestro polígono son de gran envergadura debido a que albergan empresas de primer nivel en cuanto a ámbito nacional e internacional se refiere como puede ser Lumon o los centros de distribución de Dia o Mercadona, esta última cuenta con una nave de más de treinta mil metros cuadrados para realizar sus operaciones de almacenamiento y distribución por toda la zona de Andalucía.

El polígono abarca una extensión aproximada de 2 km^2. Antequera se localiza a una latitud de 37º 1’ 10” N y una longitud de 4º 33’ 46” O, teniendo una altitud de aproximadamente 520 metros [24].



***Ilustración 21**. Plano situación del municipio de Antequera* [25]

5.2.Clima

El clima en el que se encuentra nuestro polígono presenta una temperatura media anual de 10ºC y una precipitación anual de 10 mm. Tiene un clima mediterráneo continentalizado [26].

La clasificación climática de Köppen [27] es un sistema ampliamente utilizado para clasificar los climas en todo el mundo en función de patrones de temperatura y precipitación. Esta clasificación utiliza letras mayúsculas para designar los principales tipos climáticos. Los principales tipos climáticos son:

- Clima tropical (A): Temperaturas cálidas durante todo el año y abundante precipitación
- Clima seco (B): Precipitación limitada durante todo el año
- Clima templado (C): Se encuentra en zonas de latitudes medias
- Clima frío (D): Se encuentra en latitudes altas

- Clima polar (E): Tienen temperaturas muy frías durante todo el año
- Clima de alta montaña (H): Climas extremos en regiones montañosas
- Clima de monzón (Am): Estaciones de monzones con lluvias muy intensas
- Clima de sabana (Aw): Clima tropical con estación seca pronunciada

Nuestra zona, equivale a una clasificación Csa (Clima mediterráneo con veranos cálidos y secos)

Se caracteriza por veranos calurosos con temperaturas por encima de los 30 grados Celsius e inviernos relativamente fríos con temperaturas mínimas que pueden llegar incluso a estar por debajo de los 0 grados Celsius.

En cuanto a términos de precipitación se refiere Antequera experimenta precipitaciones moderadas a lo largo de todo el año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	7.4	8.1	10.5	12.9	16.8	21.8	24.8	24.5	20.5	16.4	10.8	8.5
Temperatura min. (°C)	3.2	3.6	5.6	7.7	11	15.3	18	18.3	15.3	12	6.8	4.7
Temperatura máx. (°C)	12.3	13.1	15.7	18.1	22.4	27.9	31.3	30.9	26.1	21.5	15.4	13
Precipitación (mm)	61	54	60	57	39	13	2	7	36	66	75	76
Humedad(%)	80%	74%	70%	66%	58%	50%	46%	50%	61%	70%	75%	81%
Días lluviosos (días)	6	6	5	6	5	1	0	1	4	6	6	6
Horas de sol (horas)	5.7	6.5	7.7	9.0	10.9	12.5	12.6	11.6	9.8	7.9	6.4	5.6

***Ilustración 22**. Parámetros climáticos* [28]

Para nuestro estudio es muy útil e importante saber y conocer de primera mano los parámetros climáticos que tienen lugar en nuestra zona de estudio, ya que estos serán los que nos den una primera aproximación de la radiación solar incidente en el área de estudio

5.3.Estructura urbana

La estructura urbana se refiere a la organización, disposición y características de los elementos que conforman el entorno urbano de esta área de estudio. Esto puede incluir aspectos como edificios, calles, zonas verdes, infraestructuras, servicios públicos. La estructura urbana del polígono industrial de Antequera es una zona dedicada a actividades empresariales e industriales. Su estructura está diseñada de forma que pueda albergar el mayor número de empresas posibles y facilitar su rendimiento y actividad económica.

6. Metodología de estudio

A continuación, se va a detallar con profundidad los diferentes pasos necesarios para realizar el análisis del potencial fotovoltaico en el polígono de Antequera.

Nuestra metodología de estudio va a consistir en seguir la metodología basada en el modelo gSolarRoof [29] desarrollado en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) por el grupo de tecnologías de la Información Geográfica y Energías Renovables (gTIGER) que proporciona la posibilidad de calcular el potencial fotovoltaico de los tejados con una gran precisión.

Su desarrollo se ha elaborado mediante el Software ArcMap 10.8 usando como base para la elaboración los Modelos Digitales de Superficies (MDS) detallados en el punto 4. Se ha iniciado el proceso desde el Modelo Digital de Superficie Normalizado (NMDS) correspondiente a la primera cobertura con paso de malla de 2,5 metros. Esta capa representa la superficie ocupada por edificaciones, que combinada con la cartografía catastral del polígono nos dará facilidad para poder determinar la superficie que tendrán nuestras cubiertas. Una vez que tenemos delimitada nuestra cubierta útil, se realiza una cuantificación de la radiación solar para calcular tanto la potencia como la energía que podría obtenerse.

Se ha determinado la superficie útil de las cubiertas mediante la inclinación y orientación, junto con las sombras proyectadas durante las horas más representativas del día. Estos datos han sido extraídos de los Modelos Digitales de Superficie Normalizados (NMDS) y de Superficie (MDS). Utilizando estos recursos, se han identificado que áreas cumplen estos requisitos básicos para albergar paneles fotovoltaicos.

Para calcular la radiación solar anual en el polígono, se ha usado la herramienta integrada de ArcMap, haciendo uso del MDS como base. Con el propósito de lograr el objetivo establecido de determinar el potencial fotovoltaico instalado, y en consiguiente, la energía generable, se han considerado diferentes tipos de módulos fotovoltaicos y su impacto en los resultados finales.

Como resultado, se ha generado una tabla resumen para cada nave del polígono con la información sobre la superficie útil de cubierta, la potencia y la energía generada para cada tipo de módulo seleccionado como posible para poder realizar su instalación.

6.1.Datos de partida

La información preliminar para dar comienzo con la elaboración del estudio son los siguientes:

- Ortofotografía del PNOA. Julio 2019.
- Modelo Digital de Superficies (MDS). Resolución 5 x 5 m.
- Modelo Digital de Superficies Normalizado (NMDS). Resolución 2,5 x 2,5 m
- Capa de catastro

6.2.Procesado de datos

Todos los datos de partida obtenidos para la elaboración del proyecto están clasificados de forma automática por lo que a simple vista podemos observar que no todos los elementos están bien clasificados para proceder con la elaboración del estudio, por lo que tendremos que realizar una clasificación adecuada y lo más exacta posible para así evitar el mayor número de errores posibles en los resultados finales.

Lo primero que realizaremos será definir el límite de la zona de estudio de nuestro polígono para que sea más fácil la revisión y edición del conjunto de las demás capas, para ello definimos un polígono de forma irregular que abarque todo nuestro polígono.



***Ilustración 23**. Delimitación zona de estudio*

No metemos en nuestra capa de limitación de la zona de estudio los edificios que no tendrían sentido que estuviesen, como pudiesen ser edificios residenciales o de cualquier otro tipo no destinado a la industria propiamente dicho.



***Ilustración 24**. Zona de estudio*



***Ilustración 25**. Especificación zona*

Por otro lado, se encuentra la capa de las parcelas que es la de catastro descargada anteriormente y podremos ver la delimitación de los edificios dentro del área de estudio designada.



***Ilustración 26**. Capa catastro con naves mal definidas*

La capa de catastro descargada muestra que cada edificio no está representado como una única entidad para cada cubierta, sino que se identifica mediante referencias catastrales, dando lugar a que se produzcan superposiciones de los polígonos correspondientes a cada referencia catastral en casos donde el edificio tenga múltiples plantas o diferentes niveles de altura. Para llevar a cabo un análisis espacial preciso, es necesario separar cada cubierta individualmente como un polígono cerrado y bien definido. Por lo tanto, procedemos a realizar esta delimitación de forma manual.



***Ilustración 27**. Naves polígono bien definidas*

Al realizar de forma manual la correcta definición del perímetro de nuestras cubiertas esta nueva capa 'Naves' pierde la información referida al catastro de modo que unimos la capa de catastro a esta nueva capa para poder mantenerla.

Con respecto a la tabla que contiene los datos de la posición del sol realizamos una edición para conservar solamente los datos de interés que son los campos "GAMMA" y "ALPHA" que nos dan la elevación y acimut. Estas cifras vienen expresadas en radianes en la tabla descargada de la página web SoDa y nos interesa tenerlas en grados por lo que realizamos una conversión de unidades. Para ello realizamos la siguiente conversión de unidades en la que 180º grados equivalen a π radianes. Mediante el programa de cálculo Excel realizaremos una transferencia instantánea usando la siguiente fórmula:

$$Nº\ radianes * 180/\pi$$

ithout refraction correction (radian)
ard from North (radian)

	H	DOY	DELTA	OMEGA	GAMMA_S0	ELEVACION	ALPHA_S	ACIMUT	R	elevacion	acimut
1	0.0000	1	-0.40178632	96.657.287.639.519.500		-1,313383492		5,9387636115470	0.983354158687	-75,25133098	340,2660905
1	10.000	1	-0.40172778	96.657.549.342.971.000		-1,286586904		0,5816539016110	0.983353744418	-73,71599959	33,3263137
1	20.000	1	-0.40166990	96.657.811.046.878.300		-1,127592037		1,1072707236140	0.983353330149	-64,60626472	63,44193924
1	30.000	1	-0.40161261	96.658.072.751.865.300		-0,929615787		1,3775591748970	0.983352915880	-53,26306114	78,92832675
1	40.000	1	-0.40155578	96.658.334.458.493.200		-0,72194835		1,5589162855920	0.983352501612	-41,36459351	89,31932378
1	50.000	1	-0.40149925	96.658.596.167.213.300		-0,51360749		1,7077335335720	0.983352087343	-29,4275415	97,84592401
1	60.000	1	-0.40144280	96.658.857.878.328.300		-0,30926008		1,8471087387000	0.983351673074	-17,71929735	105,831535
1	70.000	1	-0.40138620	96.659.119.591.988.800		0,11		1,9899467738970	0.983351258805	-6,469386934	114,0155516
1	80.000	1	-0.40132922	96.659.381.308.174.300		0,070729083		2,1459786484840	0.983350844537	4,052477967	122,9555195
1	90.000	1	-0.40127163	96.659.643.026.686.300		0,235354841		2,3240422203170	0.983350430268	13,48483908	133,1578106
1	100.000	1	-0.40121323	96.659.904.747.179.000		0,372358442		2,5318568546050	0.983350015999	21,33456721	145,0647121
1	110.000	1	-0.40115385	96.660.166.469.174.600		0,470855568		2,7729766444530	0.983349601730	26,97803683	158,8798584
1	120.000	1	-0.40109340	96.660.428.192.086.700		0,519649472		3,0412647047700	0.983349187461	29,77372158	174,251632
1	130.000	1	-0.40103181	96.660.689.915.278.000		0,511711261		3,3181837772590	0.983348773193	29,31889561	190,1179261
1	140.000	1	-0.40096910	96.660.951.638.095.400		0,448263629		3,5803726874300	0.983348358924	25,68361403	205,1402441

***Ilustración 28**. Tabla datos posición sol.*

6.3.Ejecución del modelo

Una vez que tenemos a nuestra disposición todos los datos necesarios bien elaborados y definidos para la elaboración del modelo podemos dar inicio con la realización del estudio.

El estudio se lleva a cabo mediante un modelo geográfico que calcula una estimación del potencial fotovoltaico en nuestro entorno, teniendo en cuenta la localización óptima de la instalación en los tejados de las naves industriales.

6.4.Superficies de tejados disponibles

Para calcular la superficie de tejados disponible para la colocación de placas fotovoltaicas, tenemos que determinar qué condiciones deben de cumplir cada factor (restricciones). Le asignaremos valor 1 cuando nos cumpla lo establecido, es decir, que las condiciones sean favorables a lo marcado y 0 cuando no cumpla y por tanto sea desfavorable, obteniendo así diversas capas que posteriormente combinaremos en una sola y nos quedará aquello que cumple todas las condiciones impuestas de partida y nos dará la superficie útil.

6.4.1. Criterios

Las condiciones que tiene que cumplirse han sido resumidas en los siguientes puntos:

- Pérdidas ocasionadas por la inclinación de los tejados
- Pérdidas por la orientación de los tejados
- Superficie de tejados destinada al acceso
- Superficie de tejado afectada por las sombras producidas

Todas estas especificaciones las podemos desarrollar usando los MDS y NMDS anteriormente descritos.

6.4.2. Paso de Cubierta

Se trata del área que tenemos que dejar disponible para tener acceso a las placas para realizar diversas intervenciones como la instalación, reparación o mantenimiento. Para ello aplicamos un Buffer de -1 metro en el perímetro de nuestras cubiertas usando la herramienta 'Zona de influencia' **(Ilustración 29)** sobre la capa de catastro modificada anteriormente. Esto nos dará lugar a una nueva capa con una nueva superficie de estudio distinta a la anterior.

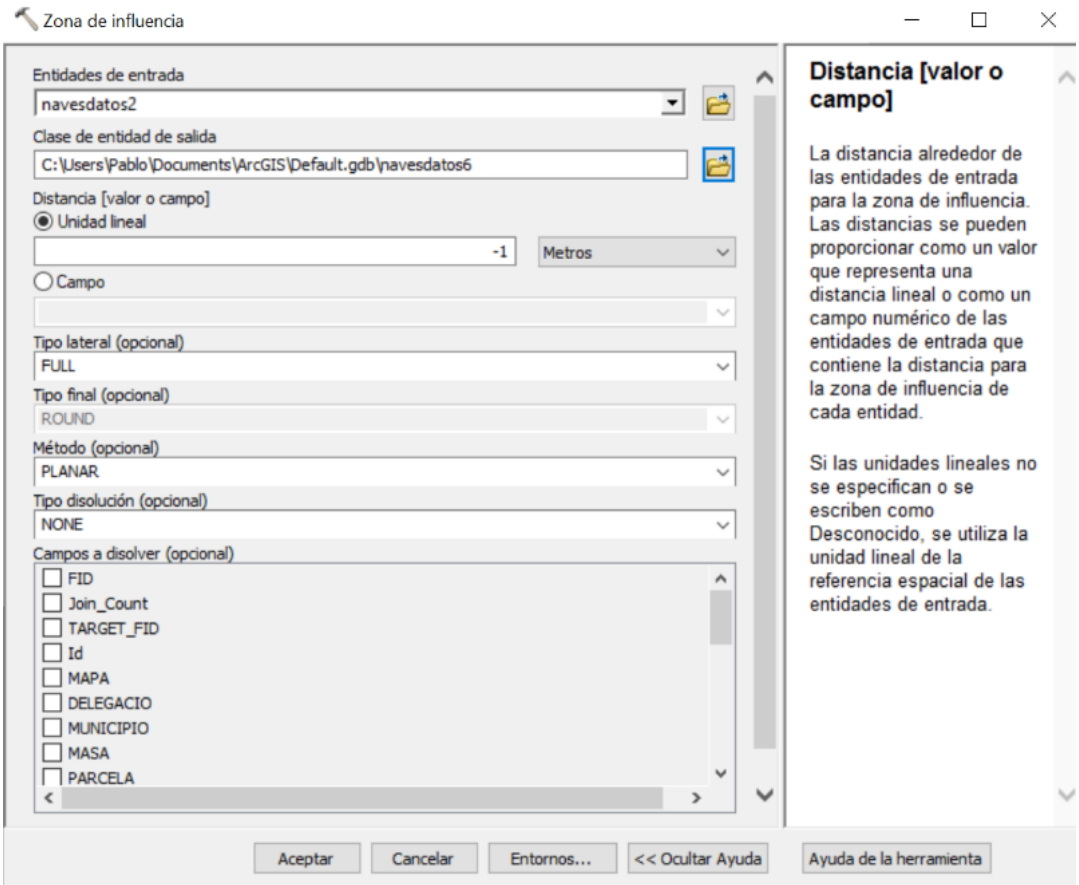


***Ilustración 29**. Herramienta 'Zona de influencia' para eliminar zonas de paso a cubiertas*

El objetivo de dejar una zona de paso en la cubierta no es solo para que se puedan realizar trabajos de mantenimiento o reparación de forma más segura, si no, también para que en caso de que se produzca un incendio sea menos laborioso la extinción de este. El "Documento Básico SI de Seguridad en caso de incendio" de 20 de diciembre de 2019 recogido en el CTE [30] nos marca que tiene que existir una zona de ocupación nula.

En la **Ilustración 30** podemos apreciar como quedaría nuestra superficie disponible. La zona en amarillo seria nuestra zona de paso y la zona en naranja la posible superficie disponible. A la izquierda de la imagen podemos ver una ventana que es una ampliación de una zona puntual para que se pueda apreciar mejor.



***Ilustración 30**. Capa creada para el paso de cubierta*

6.4.3. Perdidas por inclinación y orientación

El criterio marcado para las pérdidas de energía por inclinación de los módulos fotovoltaicos está establecido en el Documento Básico HE5 [31] del Código Técnico de la Edificación en antiguas versiones diciendo la siguiente condición: "*La disposición de los módulos se hará de manera que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación del sistema y a las sombras sobre el mismo sea inferior al 20% en el caso de superposición de módulos*"[14]. En la versión más reciente del CTE no se hace referencia a este criterio, por lo que, se ha respetado el establecido en su anterior

- Pendiente

La pendiente de los tejados se calcula a través del NMDS edificación haciendo uso de la herramienta 'Pendiente'

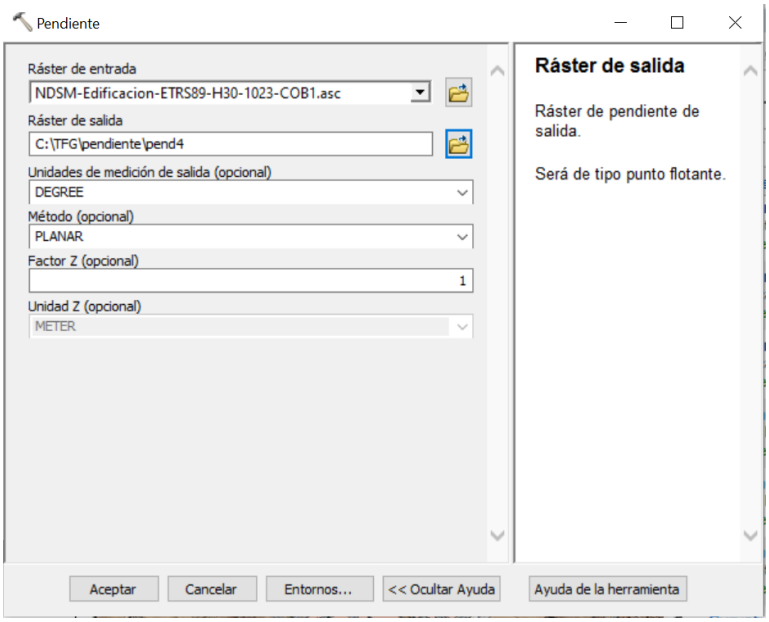


***Ilustración 31**. Herramienta 'Pendiente'*

Como podemos apreciar **(Ilustración 32)** nos sale la zona de nuestro estudio con las pendientes de cada tejado. Podemos ver que el rango de valores del estudio abarca desde los 0 grados hasta aproximadamente los 80, pero que la mayoría no sobrepasa los 13º. Nos marca el límite en 75 por algunas irregularidades existentes en el NMDS, pero se puede apreciar que la mayoría de los tejados analizados tienden a tener una inclinación bastante escasa por no decir nula siendo inferior a los 15º en la mayor parte. Esto nos indica un muy buen dato positivo.



***Ilustración 32**. Capa de pendiente de las cubiertas*

- Orientación

Para el cálculo de la orientación, usaremos el NMDS edificación como para la pendiente. Calcularemos la posición en la que se encuentran nuestros tejados respecto de la orientación. Esta vez usaremos la herramienta 'Orientación' **(Ilustración 33)**. El procedimiento será igual que el usado para el cálculo de la pendiente, solo que cambiaremos la herramienta usada.

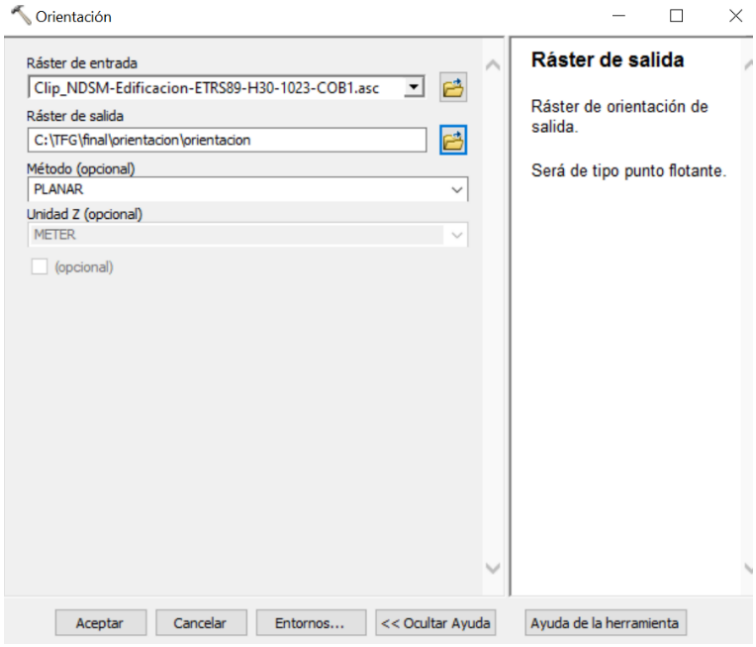


***Ilustración 33**. Herramienta 'Orientación'*

En esta herramienta tendremos valores que van desde 0 hasta 360; donde el 0 marcará el norte, 90 el este, 180 el sur, 270 el oeste y 360 el norte de nuevo, como podemos ver en **(Ilustración 34)** aparece un valor que indica -1, este valor hace referencia a las cubiertas planas.

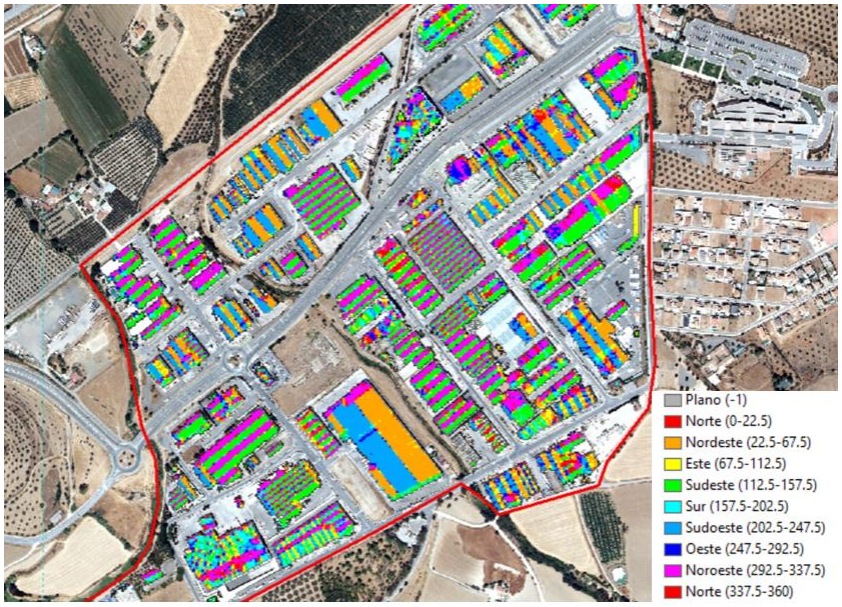


***Ilustración 34**. Orientación de cubiertas*

Estos valores no están optimizados según el CTE por lo que aplicaremos una reclasificación usando la herramienta 'Calculadora ráster' para que los valores sean los óptimos del CTE. Antes de realizar la reclasificación con la 'calculadora ráster' tenemos que reclasificar los pixeles que tienen valor -1 que están sin orientación que son los correspondientes a las cubiertas planas. Para ello vamos a hacer uso de la herramienta 'reclasificar' y obtendremos una nueva capa llamada 'orientacion1'

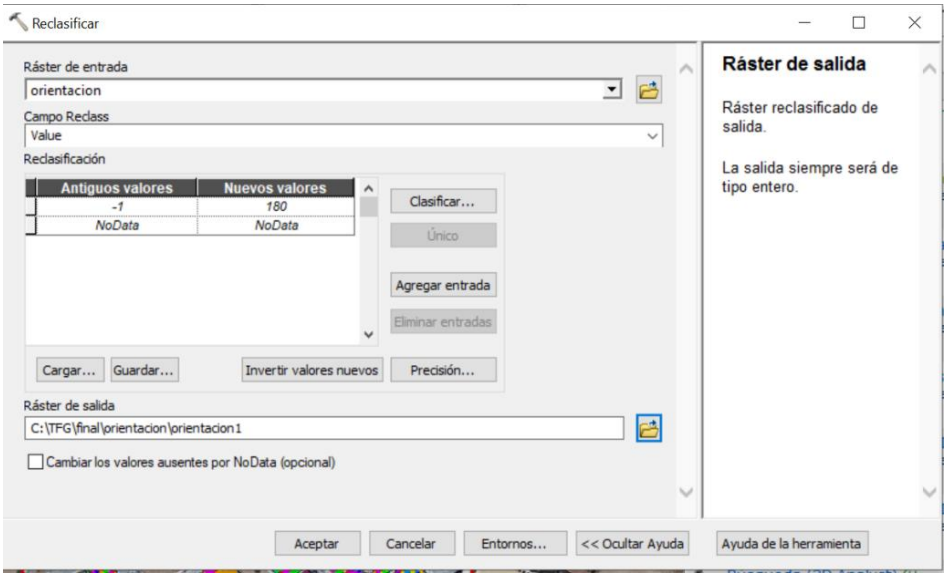


***Ilustración 35**. Herramienta 'Reclasificar'*

Una vez modificados los píxeles de valor -1 (sin orientación) a valor 180º (orientación sur) que es la más óptima, se usa ahora sí, la herramienta 'calculadora ráster' y se le impone la siguiente condición:

$$Con(\text{"}orientacion1\text{"} <= 180, (\text{"}orientacion1\text{"} - 180), (\text{"}orientacion1\text{"} - 180))$$

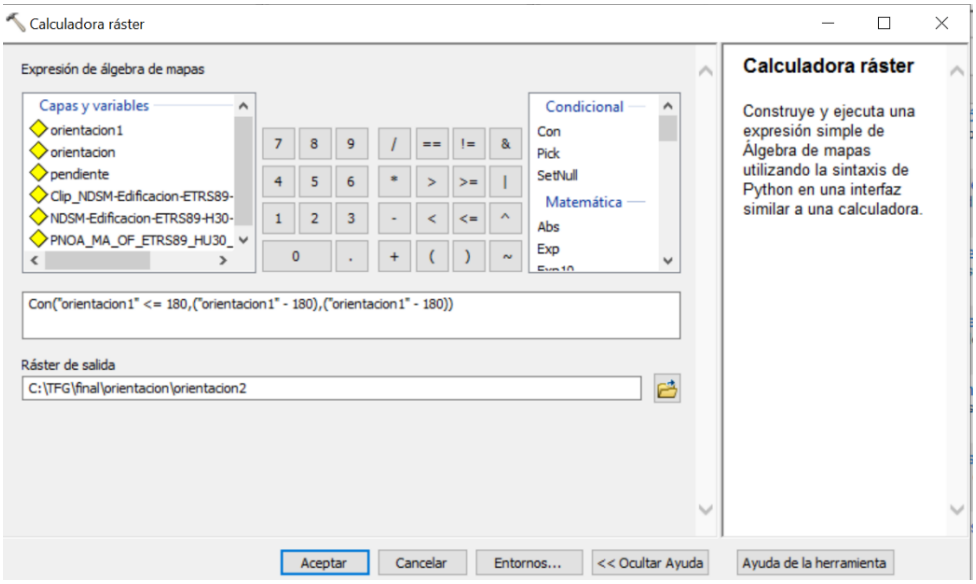


***Ilustración 36**. Herramienta 'Calculadora ráster'*

Esta expresión nos genera una nueva capa llamada 'orientacion2' **(Ilustración 35)** que ya se encuentra clasificada según el CTE.

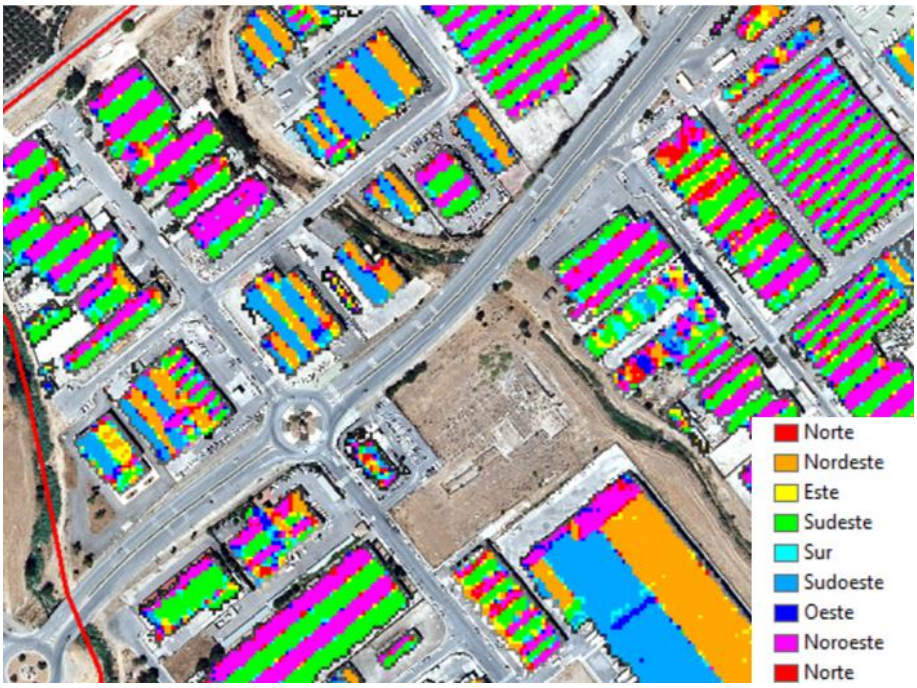


***Ilustración 37**. Orientación según CTE*

Una vez obtenidos los mapas de pendientes y orientaciones nos faltaría por obtener el de la latitud para poder realizar el cálculo de las pérdidas con respecto a la orientación y la inclinación para ello elaboramos el mapa de latitud.

La elaboración de este mapa lo conseguiremos usando el NMDS edificación recortado, la herramienta ya usada anteriormente 'calculadora ráster' para asignar el valor de la latitud a cada píxel y deberemos de saber cuál es la latitud de nuestra zona de estudio, en este caso la latitud de Antequera es de 37.0194º

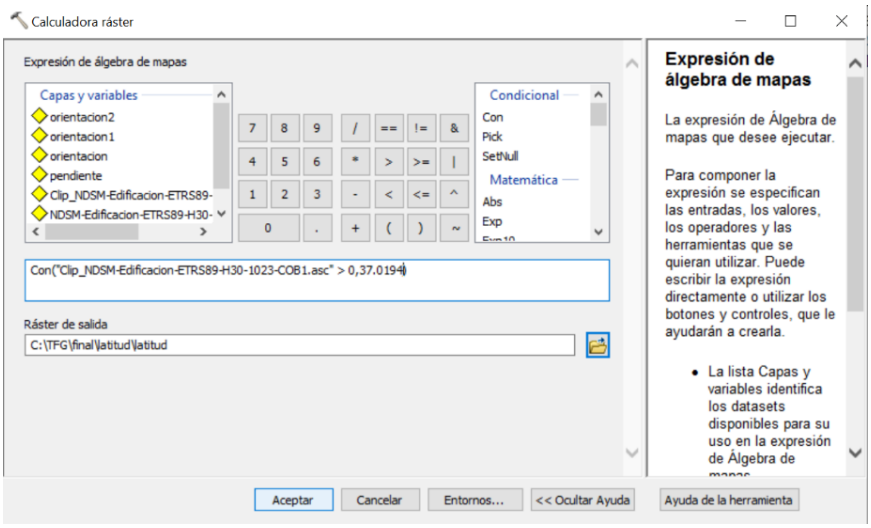


***Ilustración 38**. Herramienta 'Calculadora ráster' para asignar valor de latitud*

- Calculo perdidas orientación, pendiente y latitud

Una vez calculados los mapas de pendientes, orientación y latitud ya estamos en condiciones de proceder a realizar el cálculo de las pérdidas de las cubiertas de nuestro polígono. Para ver si tenemos que imponer alguna condición o no, nos vamos de nuevo a los criterios establecidos en el CTE en Documento Básico HE5 [31] nombrado ya anteriormente y nos indica que debemos de aplicar la siguiente condición que viene expresado en forma de fórmula. La expresión quedaría recogida de la siguiente forma:

$$Con\left(\text{pendiente} \leq 15,\left(100 * \left(0.00012 * \left(\text{Square}(\text{pendiente} - \text{latitud} + 10)\right)\right)\right),\left(100 * \left(0.00012 * \left(\text{Square}(\text{pendiente} - \text{latitud} + 10)\right) + \left(0.000035 * \left(\text{Square}(\text{orientacion})\right)\right)\right)\right)\right)$$

Usaremos la herramienta 'calculadora ráster' para generar un mapa nuevo en el que nos genere el mapa de pérdidas.

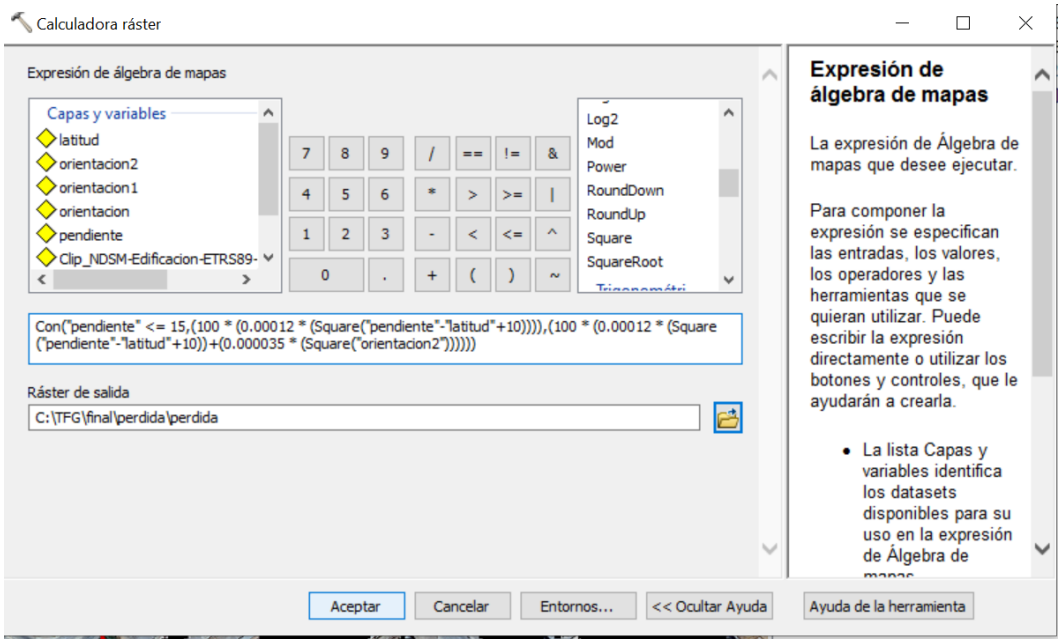


***Ilustración 39**. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo de pérdidas*

Posteriormente, para dar por concluida la zona de las pérdidas de nuestros tejados pondremos a 1 lo que nos sea útil (lo que cumpla, en este caso, las pérdidas menores al 20%) y a 0 lo que no sea útil (lo que no cumpla, en este caso, que las pérdidas superen el 20%) como anteriormente indicado, para ello realizaremos una nueva reclasificación del mapa de pérdidas con la herramienta 'reclasificar'

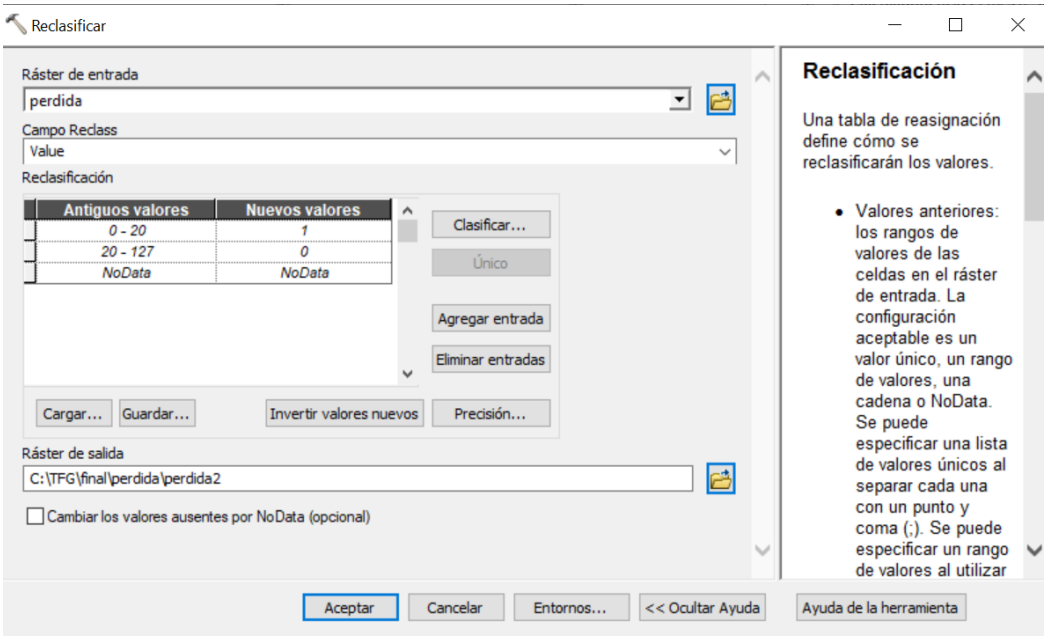


***Ilustración 40**. Herramienta 'Reclasificar' para asignar valores de 1 y 0*

Tras esto disponemos de un nuevo mapa en el que se nos representa donde la colocación de placas es válida y además cumple las especificaciones impuestas por el CTE. Recordar que en el mapa **(Ilustración 39)** encontraremos los pixeles de color rojo los que no superan el 20% de pérdidas y en color amarillo los ha superado el 20% marcado como tope.

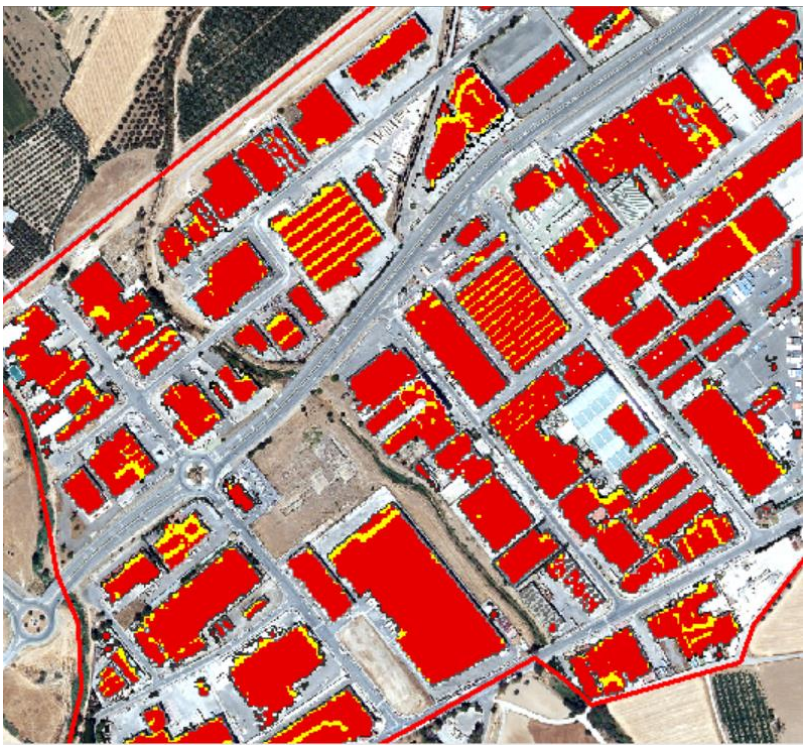


***Ilustración 41**. Zonas que son válidas para las especificaciones del CTE*

6.4.4. Determinación de Sombras

Continuando con el proceso, el paso siguiente es el cálculo del mapa de sombras. Las sombras son uno de los factores más importantes que se deben de tener en cuenta si queremos conseguir el mayor rendimiento. Para realizar un buen análisis de sombras de nuestro polígono tendremos que considerar varios elementos clave que pueden dar lugar a producir sombras como pueden llegar a ser:

- Fuentes de sombra: zonas arboladas, montañas cerca, muros alto, edificios cercanos entre sí y diferentes alturas de la propia cubierta
- Análisis temporal
- Elementos indeseados: Es importante considerar que pueden existir elementos propios de la construcción como chimeneas, ventilaciones o salidas de humos, que podrían generar sombras. Sin embargo, nuestra imagen de modelo digital del terreno (MDS) no tiene una resolución lo suficientemente alta como para poder identificar estos elementos con la precisión requerida. Cabe destacar que las sombras que podrían generarse debido a estos elementos serán muy pequeñas en comparación con el tamaño de nuestra cubierta. En caso de encontrarnos con algún obstáculo al instalar las placas solares debido a estos elementos y diera lugar a sombras, podríamos utilizar la zona de paso habilitada para poder mitigar este problema.

Aunque cabe destacar y recordar que las placas fotovoltaicas también pueden funcionar con radiación intermitente pero siempre buscaremos que en las horas más centrales del día tengan la máxima radiación posible para así poder absorber más energía.

Para la elaboración y cálculo de este mapa usaremos la herramienta ‘sombreado’ que nos dará un mapa sombreado a través del MDS y dependiendo del valor del azimut y altura que queramos considerar.

El criterio preestablecido nos indica que tendremos que eliminar las zonas en las que en las horas centrales del día reciban sombra en vez de luminosidad. Como no podemos seleccionar todos los días y todas las horas porque sería un trabajo muy laborioso, hemos decidido escoger todos los días 21 de cada mes, para que nos coincida con los diferentes equinoccios tanto el de verano como el de invierno y las horas más centrales del día que abarcan desde las 10:00 hasta las 16:00 que son las horas en las que más iluminación tenemos, para así poder obtener una estimación aproximada.

Además, debemos de tener en cuenta que para que la herramienta ‘sombreado’ funcione correctamente deberemos de introducir los valores de azimut y altura solar para cada hora de estudio. Los datos proporcionados por la página web ‘SoDa-Pro’ tienen intervalo de 1 hora y están todos los días del año 2022 que es el seleccionado, nosotros nos quedaremos solamente con los necesarios **(Anexo II)**. Estas capas generadas se llamarán: ‘dia_mes_hora’

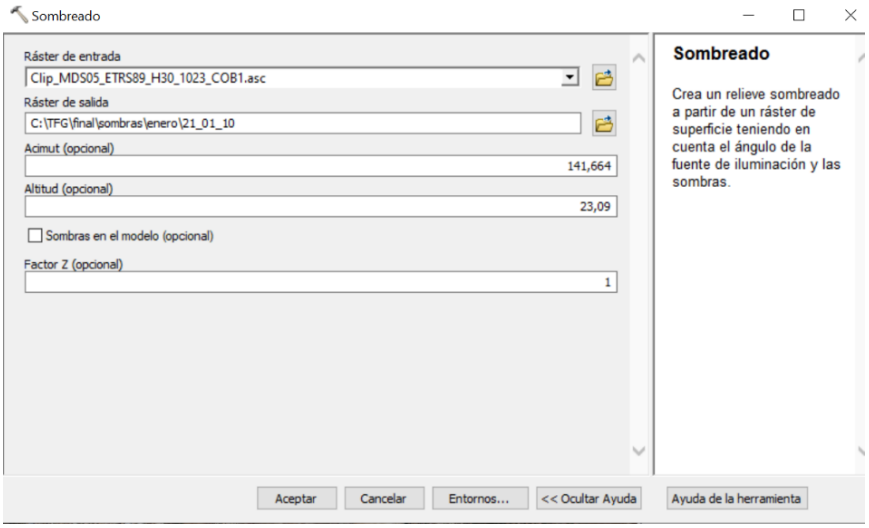


Ilustración 42. Herramienta 'Sombreado'

Mediante este procedimiento se ha obtenido un mapa de sombras para cada hora y mes establecido, a continuación, se realizará una reclasificación para distinguir de forma más eficaz que pixeles tendrán sombras o no, para ello, usaremos la 'calculadora ráster' y pondremos la siguiente condición:

$$Con(\text{"21_01_10"} > 0,1,0)$$

Esto nos definirá los pixeles de tal manera que los que tengan sombra y por tanto no son válidos para nuestro estudio tendrán un valor de 0 y los que tengan iluminación tendrán el valor de 1

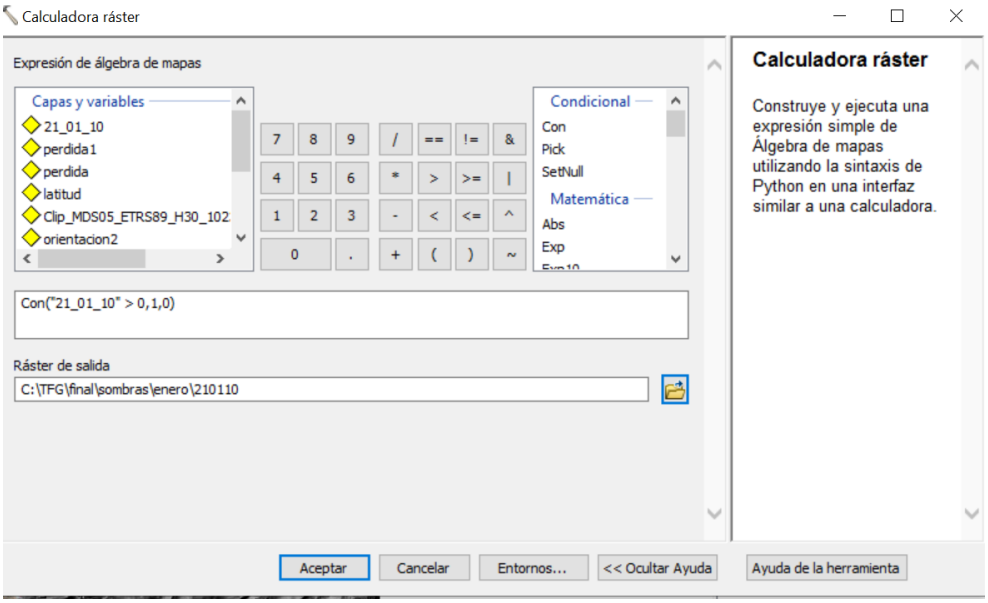


***Ilustración 43**. Herramienta 'Calculadora ráster'*

Una vez que hemos obtenido todas las capas (horas) del día escogido (21 en todos los meses) de su respectivo mes, volvemos a usar la 'calculadora ráster' para multiplicar los mapas. Ejecutaremos esta acción con el fin de descartar píxeles que tengan una sola hora de sombra. Dado que la configuración de nuestro polígono apenas produce sombras, esta medida nos permitirá compensar la eliminación de información causada por los elementos no deseados que no fueron detectados por nuestro modelo digital del terreno (MDS). Multiplicamos los siete mapas obtenidos que serían cada hora del mes y nos daría el mapa del mes. A este mapa lo llamamos tal cual sea el mes que tratamos.

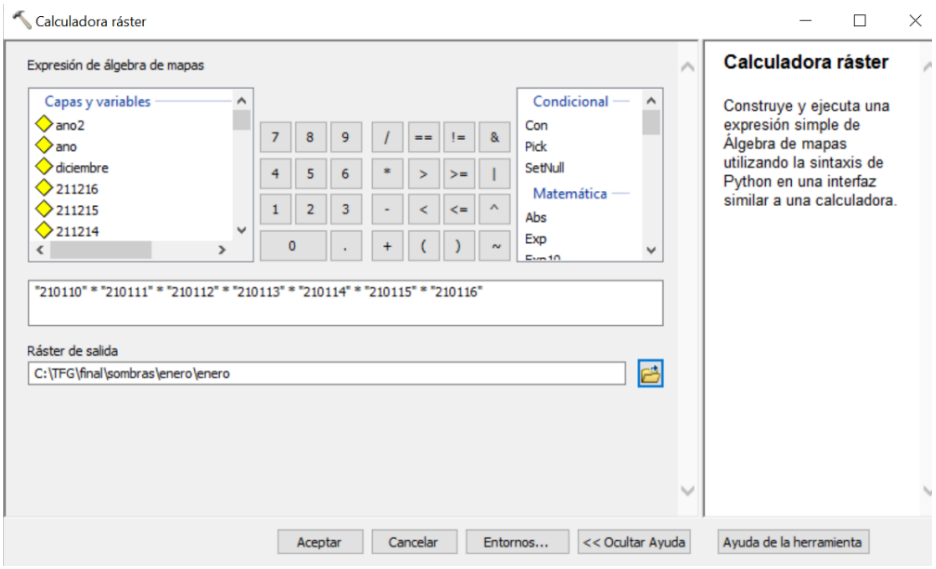


***Ilustración 44**. Herramienta 'Calculadora ráster' para obtener un mes*

Una vez obtenidos los 12 mapas de sombras (uno para cada mes), lo que haremos a continuación será combinar todos los meses y nos dará la sombra que tienen lugar en el año en la zona que estamos estudiando, para ello volvemos a usar la herramienta 'calculadora ráster'

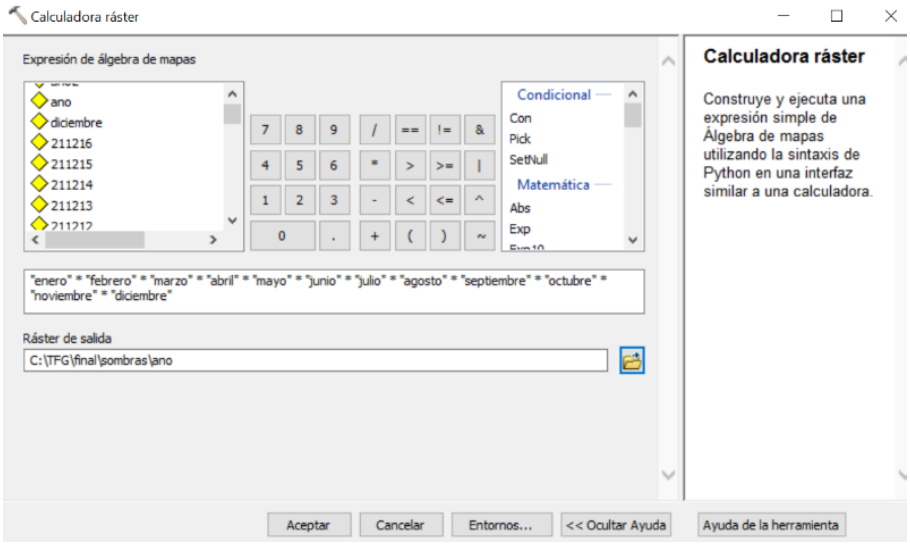


***Ilustración 45**. Herramienta 'Calculadora ráster' para calcular mapa de sombras del año*

Este último mapa realizado es el mapa definitivo de sombras que nos indicará que zonas de las cubiertas reciben algo de sombra y por tanto no son adecuadas para que se realice una instalación en ellas y cuales son válidas. Como estos mapas ya se reclasificaron antes no tendremos la necesidad de volver a realizar la reclasificación porque nuestro mapa **(Ilustración 46)** ya se encuentra con los píxeles de valor 0 (color morado) los que tienen sombra a lo largo de los 12 meses del año durante las horas indicadas y con valor 1 (color azul) los que reciben luz solar.



***Ilustración 46**. Mapa de sombra anua clasificado*

6.4.5. Superficie útil de cubiertas

Una vez generados todos los mapas con sus posibles pérdidas por inclinación, orientación y sombras, multiplicamos con la 'calculadora ráster' los mapas obtenidos anteriormente y obtendremos el mapa definitivo de pérdidas

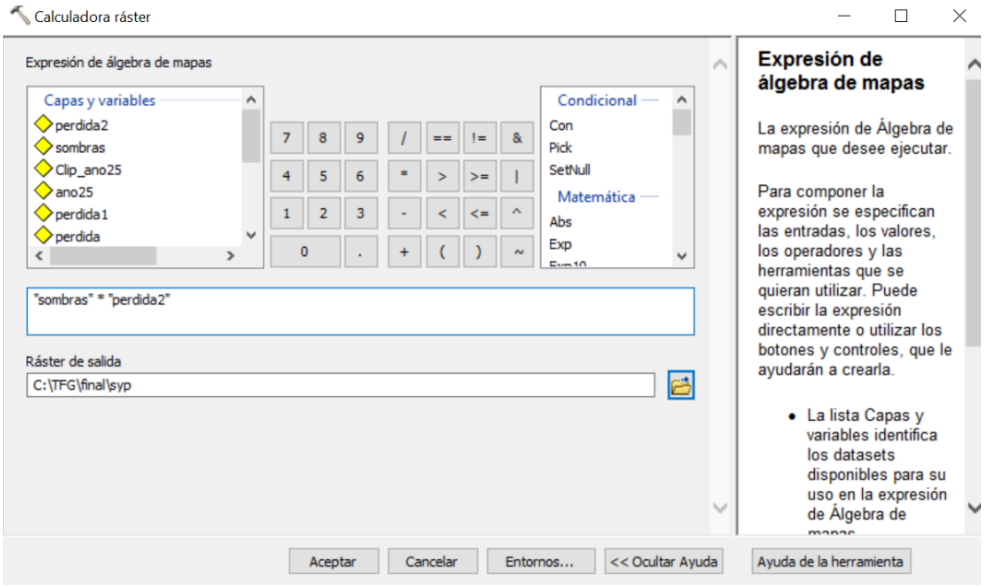


***Ilustración 47**. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo del mapa de pérdidas*

Tras realizar esta operación ya tenemos nuestro mapa con todas las perdidas posibles, a continuación, realizamos una reclasificación con la herramienta 'reclasificar' para quedarnos solamente con aquellos pixeles que tiene valor 1 que son los que cumplen todos los requisitos del CTE y que no tienen sombra a lo largo del año

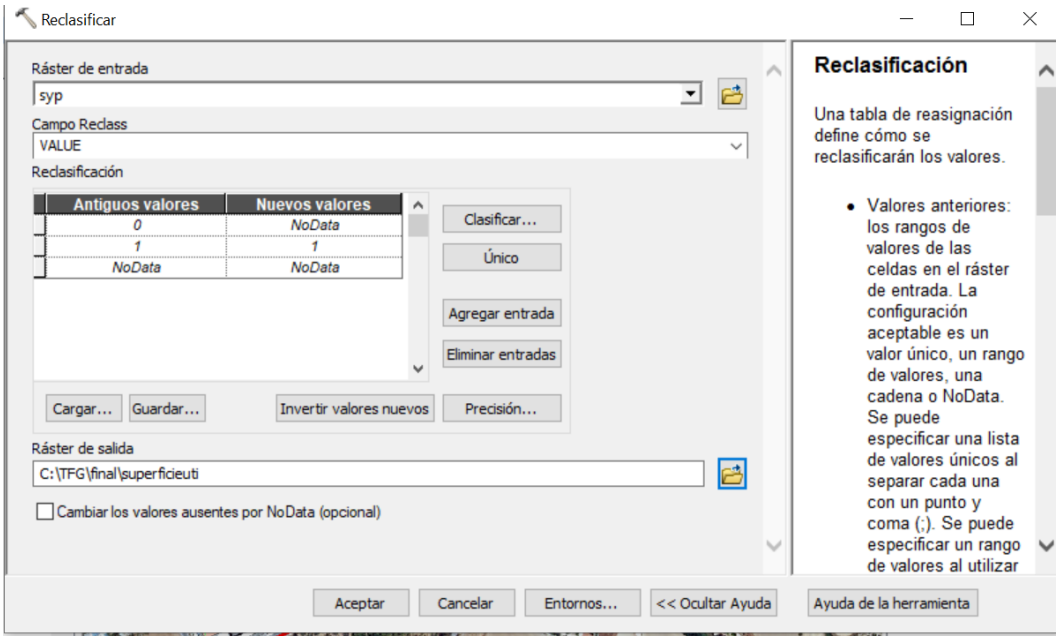


***Ilustración 48**. Herramienta 'Reclasificar' para seleccionar superficie útil*

Hemos denominado este mapa 'superficieut'. En la **(Ilustración 49)** tenemos representado la superficie de la cubierta de color naranja y la superficie útil disponible para la instalación de las placas fotovoltaicas de color azul



***Ilustración 49**. Superficie útil disponible*

6.4.6. Estadísticas de superficie de cubiertas

Al haber realizado antes la capa 'Naves' que nos indicaba cada área de la cubierta de forma perfecta, ahora podemos definir la superficie de tejado útil para la instalación de los módulos en cada nave, para ello hacemos uso de la herramienta 'Estadística zonales como tabla' usando la capa 'navesdatos' que es la que tiene las referencias de nuestras naves y además está incluido la zona de paso que hemos delimitado antes y el ráster 'superficieut'. Con esta nueva capa ya se puede representar el área útil en m^2 por cada nave **(Ilustración 50)**

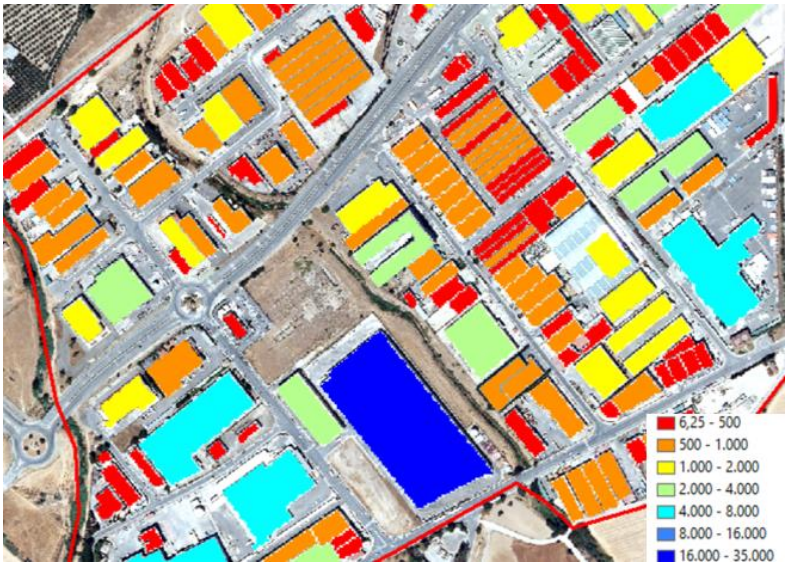


***Ilustración 50**. Área útil en m2 representado en cada parcela*

La superficie de cubierta útil total en nuestro polígono estudiado es de 310.250 m^2

6.5.Cálculo de la irradiación solar

En este apartado se va a explicar de forma detallada cómo se calcula la irradiación solar mediante el software 'ArcMap'. Usaremos en este caso la herramienta 'Radiación solar de áreas'. Esta herramienta calcula la radiación solar que incide sobre una superficie durante un intervalo de tiempo determinado.

La herramienta necesita que se le den una serie de datos e información para que pueda realizar el cálculo. Necesita el MDS, la latitud a la que se encuentre la zona de estudio, resolución y por último el intervalo de tiempo entre los que se quiere calcular la irradiación. La herramienta devuelve los valores de la irradiación en Wh/m^2.Los valores establecidos son:

- **Latitud**: 37.0194
- **Resolución**:1000
- **Configuración de la Hora**: Seleccionamos el año 2022 íntegro, es decir, lo que abarca del día uno de enero al día treinta y uno de diciembre con intervalo horario y diario de uno.

- **Proporción difusa**: Es un parámetro que viene establecido por defecto en 0,3. Valor adecuado para cuando nos encontramos antes un cielo despejado
- **Transmisividad**: Al igual que la proporción difusa también es un parámetro que viene establecido por defecto, aunque, en este caso su valor es de 0,5 y también es el valor adecuado para cuando nos encontramos antes cielos totalmente libre de nubes y por tanto despejado.

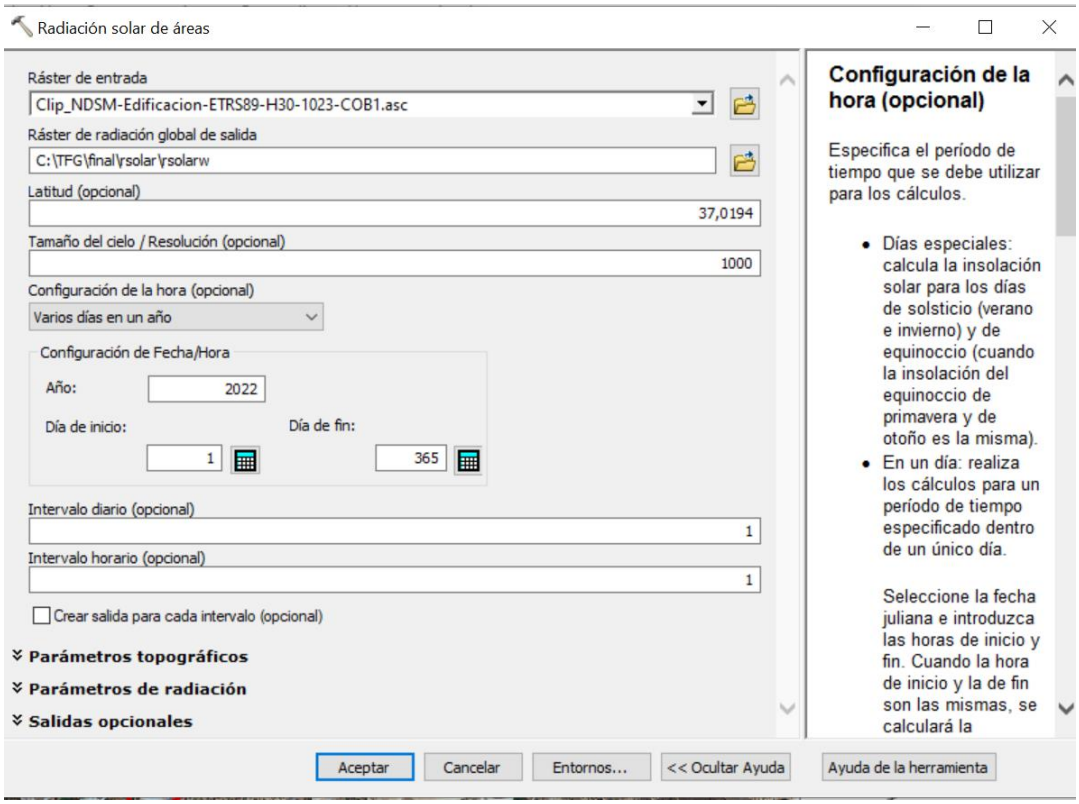


***Ilustración 51**. Herramienta 'Radiación solar de áreas'*

El mapa **(Ilustración 52)** que nos genera nos da la irradiación en Wh/m^2 como hemos dicho anteriormente para pasarlo a Kwh/m^2 que es la unidad que se requiere para la formula de la potencia usaremos la herramienta 'calculadora ráster' y dividiremos ese mapa entre 1000 y obtenemos ese mapa en las unidades deseadas.



***Ilustración 52**. Irradiación global anual en cada nave.*

6.6.Potencia instalada

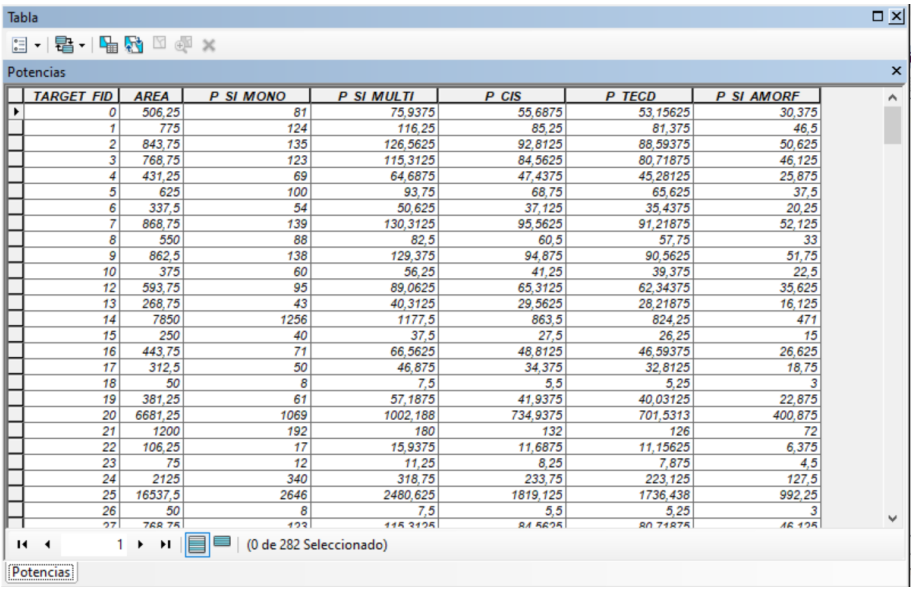
Para el cálculo de la potencia se hará uso de la fórmula de potencia mostrada anteriormente y tendremos que diferenciar según el tipo de panel que escojamos porque cada uno tiene un valor de eficiencia diferente. Con la fórmula y el valor de eficiencia podremos saber qué panel nos da una mayor potencia. La expresión del cálculo de la potencia ya comentada es:

$$P = I_g * e * A_{PV}$$

Para el cálculo de la potencia, deberemos tener en cuenta cada uno de los diferentes tipos de módulos fotovoltaicos existentes en el mercado y que se instalan de forma más habitual. Cada módulo presenta unos valores de eficiencia propios:

TIPOS DE MODULOS FOTOVOLTAICOS		EFICIENCIA
Cristal de silicio	Si-monocristalino	16%
	Si-multicristalino	15%
Lámina delgada	CIS (Cobre/Indio/Seleniuro)	11%
	Te Cd (Teluro/Cadmio)	10,5%
	Silicio amorfo	6%

Para proceder con el cálculo se ha copiado la tabla que contiene los datos de las naves y la superficie útil y se denomina 'Potencias'. En la tabla de atributos, se agregan tantos campos como tipos de módulos queramos analizar para ver las diferentes potencias para cada módulo. Los diferentes campos se nombran de una forma que sea fácilmente reconocible a simple vista y con brevedad. Para eso hemos decidido nombrarlos de la siguiente forma: 'P_Si_Mono', 'P_Si_Multi', 'P_CIS', 'P_TeCd', 'P_Si_amorf'. Para realizar el cálculo hemos usado la 'calculadora campo' introduciendo la fórmula anteriormente descrita. Nos devolverá la potencia para cada módulo en función de la nave numerada. La potencia está expresada en kWp



TARGET_FID	AREA	P_SI_MONO	P_SI_MULTI	P_CIS	P_TECD	P_SI_AMORF
0	506,25	81	75,9375	55,6875	53,15625	30,375
1	775	124	116,25	85,25	81,375	46,5
2	843,75	135	126,5625	92,8125	88,59375	50,625
3	768,75	123	115,3125	84,5625	80,71875	46,125
4	431,25	69	64,6875	47,4375	45,28125	25,875
5	625	100	93,75	68,75	65,625	37,5
6	337,5	54	50,625	37,125	35,4375	20,25
7	868,75	139	130,3125	95,5625	91,21875	52,125
8	550	88	82,5	60,5	57,75	33
9	862,5	138	129,375	94,875	90,5625	51,75
10	375	60	56,25	41,25	39,375	22,5
12	593,75	95	89,0625	65,3125	62,34375	35,625
13	268,75	43	40,3125	29,5625	28,21875	16,125
14	7850	1256	1177,5	863,5	824,25	471
15	250	40	37,5	27,5	26,25	15
16	443,75	71	66,5625	48,8125	46,59375	26,625
17	312,5	50	46,875	34,375	32,8125	18,75
18	50	8	7,5	5,5	5,25	3
19	381,25	61	57,1875	41,9375	40,03125	22,875
20	6681,25	1069	1002,188	734,9375	701,5313	400,875
21	1200	192	180	132	126	72
22	106,25	17	15,9375	11,6875	11,15625	6,375
23	75	12	11,25	8,25	7,875	4,5
24	2125	340	318,75	233,75	223,125	127,5
25	16537,5	2646	2480,625	1819,125	1736,438	992,25
26	50	8	7,5	5,5	5,25	3

***Ilustración 53**. Tabla generada para cálculo de potencias*

Todos los resultados obtenidos para cada nave se pueden consultar en el **Anexo III.**

La capa 'Potencias' se ha representado para cada uno de los campos de potencia, usando el mismo intervalo, para que se pueda observar el cambio de los resultados dependiendo del tipo de módulo fotovoltaico a colocar. En las **Ilustraciones 54 -58** se representan los valores de la potencia para cada nave estudiada. Los valores de la potencia para color son los siguientes:

- 0-250 kWp. Color azul
- 250-500 kWp. Color amarillo
- 500-1000 kWp. Color verde
- 1000-2500 kWp. Color violeta
- 2500-5000 kWp. Color rojo



Ilustración 54.
Potencia módulos Si-Monocristalino



Ilustración 55.
Potencia módulos Si-Multicristalinos



Ilustración 56.
Potencia módulos CIS



Ilustración 57.
Potencia módulos TeCd



Ilustración 58. *Potencia módulos Si-Amorfo*

6.7.Energía producida

Para completar el proceso de estudio de nuestro polígono, tenemos en cuenta la capacidad de producción de energía de nuestros módulos fotovoltaicos. La fórmula que usaremos para el cálculo de la energía es la siguiente:

$$E = I_A * e * A_{PV} * PR$$

Donde I_A ya calculado con el programa mediante la herramienta 'Radiación solar áreas' la irradiación global, e la eficiencia de los módulos fotovoltaicos, PR el rendimiento energético de la instalación con un valor por defecto de 0,8 y A_{PV} el área útil de tejado.

Para realizar este cálculo se ha usado de nuevo la herramienta 'calculadora ráster' multiplicando las capas de 'superficiut' que indica la superficie útil de las naves, la capa de 'rsolarkW', por el rendimiento energético y la eficiencia de cada módulo fotovoltaico.

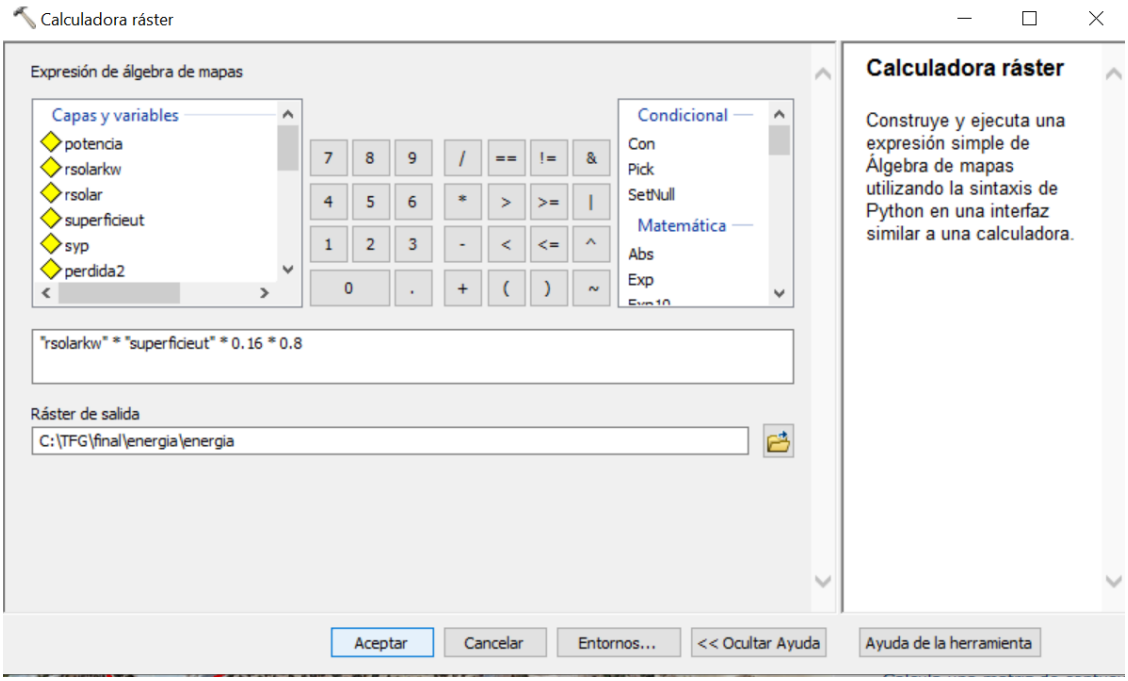


***Ilustración 59**. Herramienta 'Calculadora ráster' para el cálculo de la energía producida*

Una vez generados los nuevos mapas para cada módulo fotovoltaico, realizamos el mismo proceso que en el apartado anterior y representamos cada mapa. Los mapas al igual que antes, los llamamos de la forma más reconocible posible: 'E_Si_Mono', 'E_Si_Multi', 'E_CIS', 'E_TeCd', 'E_Si_amorf'. Una vez realizado esto asignamos el mismo intervalo de valores a cada mapa para que se pueda observar de forma visual de mejor manera. Los

resultados obtenidos para cada nave se pueden observar en el **Anexo III**. En las **Ilustraciones 60-64** se representan los valores de energía para cada nave.

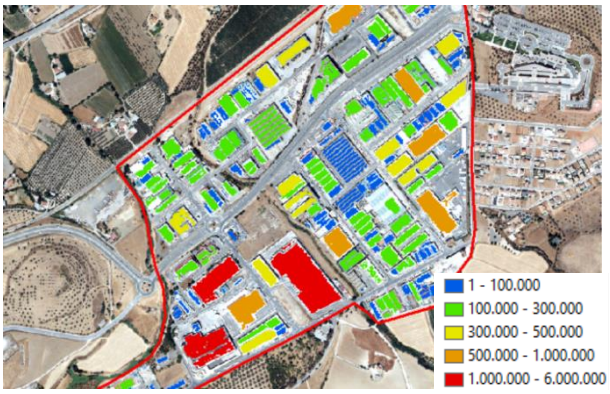


Ilustración 60.
Energía módulos Si-Monocristalinos

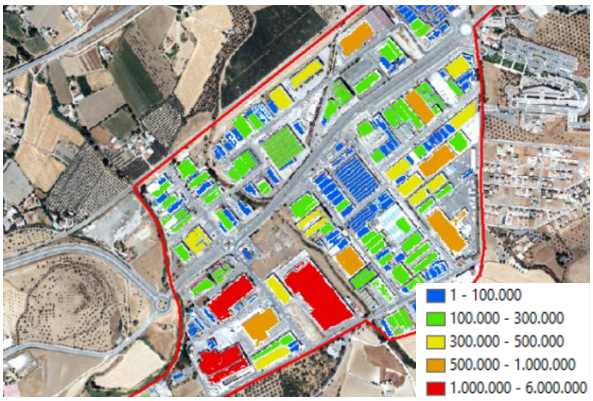


Ilustración 61
Energía módulos Si-Multicristalinos

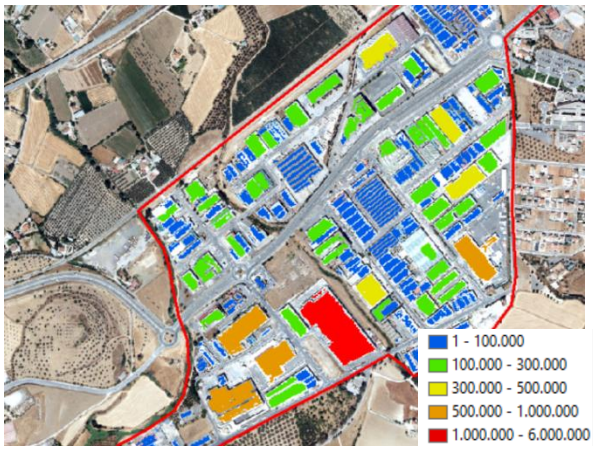


***Ilustración 62**. Energía módulos CIS*

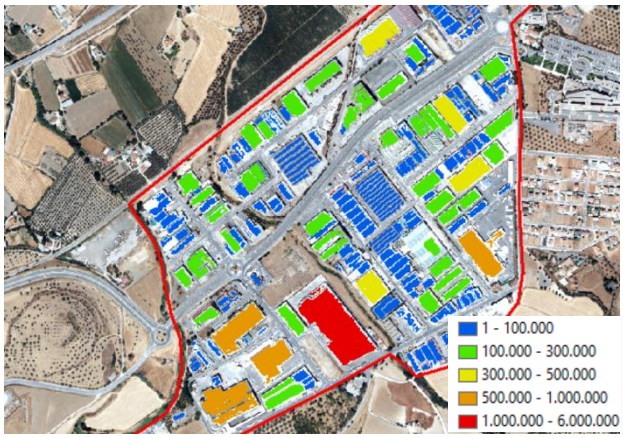


***Ilustración 63**. Energía módulos TeCd*

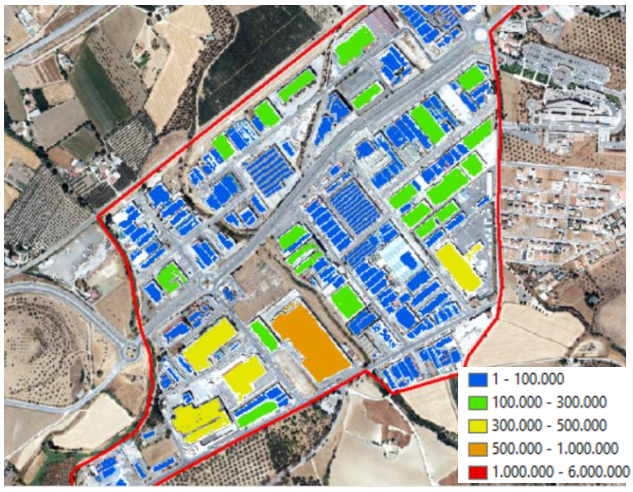


***Ilustración 64**. Energía módulos Si-Amorfo*

6.8.Asignación de resultados a naves

En último lugar, vamos a realizar una tabla resumen en el que se nos quede toda la información obtenida de forma ordenada, vamos a asignar los datos más representativos con los de las naves en nuestro polígono de estudio: superficie disponible, superficie útil, potencia y energía para los diferentes tipos de módulos estudiados. **(Anexo III)**

7. Análisis de Resultados

En este apartado, se llevará a cabo un análisis de los resultados que se han obtenido a lo largo de la aplicación de la metodología. Se examinará si los distintos resultados generados por el software utilizado son coherentes entre sí.

Antes de empezar, es fundamental tener en consideración que las diversas fuentes de datos utilizadas en la elaboración de este trabajo pueden que no coincidan en términos de tiempo y forma, lo que ha generado discrepancias entre ellas. En el apartado siguiente, se presentarán algunas soluciones a estos desafíos. Además, es relevante conocer que, incluso si las fuentes de datos son altamente precisas, siempre existe un margen de error incluso después de haber sido revisadas por las instituciones responsables. En nuestro polígono podemos identificar este tipo de errores en el caso del catastro.

- Procesado de parcelas catastrales

Cuando procesamos las parcelas, se ha apreciado diferencias entre la ortofoto y el catastro y el MDSN. Encontramos zonas donde el MDNS está exento de datos, mientras que en la ortofoto se puede ver su parcela al completo. Esto es debido a que la ortofoto y el catastro son del año 2022 y el MDNS data del año 2014 y en ese transcurso de tiempo se han producido modificaciones en la edificación. A continuación, se muestran **(Ilustración 65)** dos parcelas que hemos identificado en el que se da este tipo de error.



***Ilustración 65**. Discordancia entre MDSN y ortofoto*

- Perdidas por inclinación y orientación

Analizamos los resultados dados por las herramientas usadas para la determinación de la pendiente, orientación y pérdidas. Para ello vamos a seleccionar varias cubiertas y veremos si el sistema reconoce de forma exacta o no los diferentes tipos de pérdidas.

Para la inclinación **(Ilustración 66)** observamos cómo el sistema reconoce con una precisión las áreas planas y los cambios de altura representando estos cambios con colores más vivos.

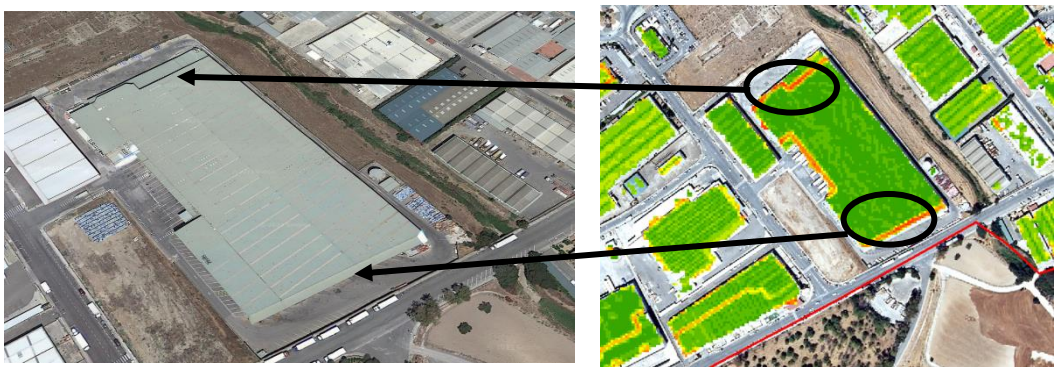


***Ilustración 66**. Comprobación inclinación*

Para la orientación vemos como la herramienta identifica de forma clara los paños que conforman la cubierta de nuestra nave **(Ilustración 67).** En la **Ilustración 68** se muestra la nave representada en 3D para apreciar cómo es realmente la nave y que el resultado es coherente

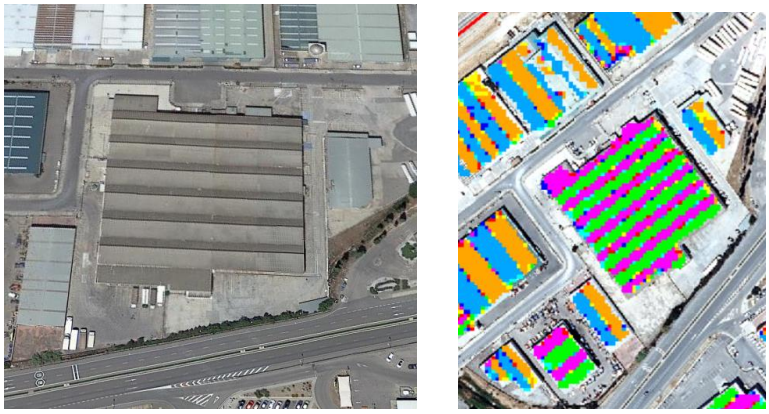


***Ilustración 67**. Comprobación orientación.*



***Ilustración 68**. Visualización lateral cubierta*

Al aplicar los cálculos de pérdidas por inclinación y orientación, se puede observar claramente como las zonas orientadas al norte están en su totalidad eliminadas, puesto que cuentan con una exposición a la radiación solar menos favorable. Sin embargo, las zonas orientadas al sur las mantiene en su totalidad. Las zonas de rojo indican las pérdidas menores al 20% **(Ilustración 69)**

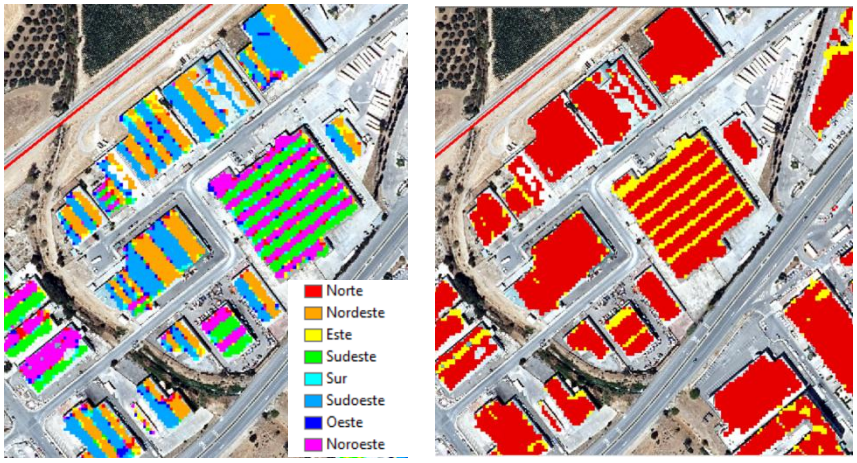


***Ilustración 69**. Comprobaciones pérdidas.*

- Perdidas por sombra

Las áreas que presentaban sombra durante las horas establecidas para el estudio han sido excluidas, para la verificación de los resultados obtenidos, se ha buscado una zona donde el sombreado presente signos evidentes y se supervisa que la herramienta usada por el programa descarta esa zona.

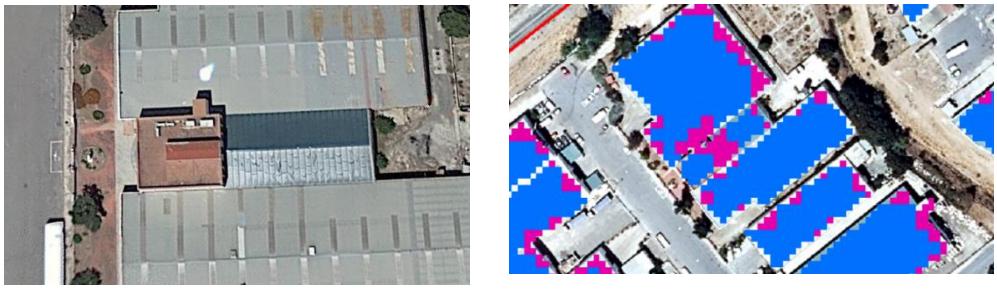


***Ilustración 70**. Comprobación de sombras*

En la **Ilustración 70**, podemos observar como el edificio marrón tiene mayor altura que los que le rodean, generando una superficie de sombra como se puede ver en el mapa de sombras (derecha) de color magenta, que es lo correspondiente a las sombras.

Una vez comprobado que el proceso nos muestra unos datos correctos, se analizan los resultados específicos del estudio:

- Superficie útil: Hemos obtenido una superficie útil de 311.243 m2 frente a una superficie disponible para estudio de 435.113 m2, esto es, que un 71% de la superficie de cubiertas cumple los criterios que se han establecido.
- Potencia instalada y Energía producida: Dependiendo del módulo fotovoltaico que se instale nos daría una cantidad u otra **(Ilustración 71 y 72)**

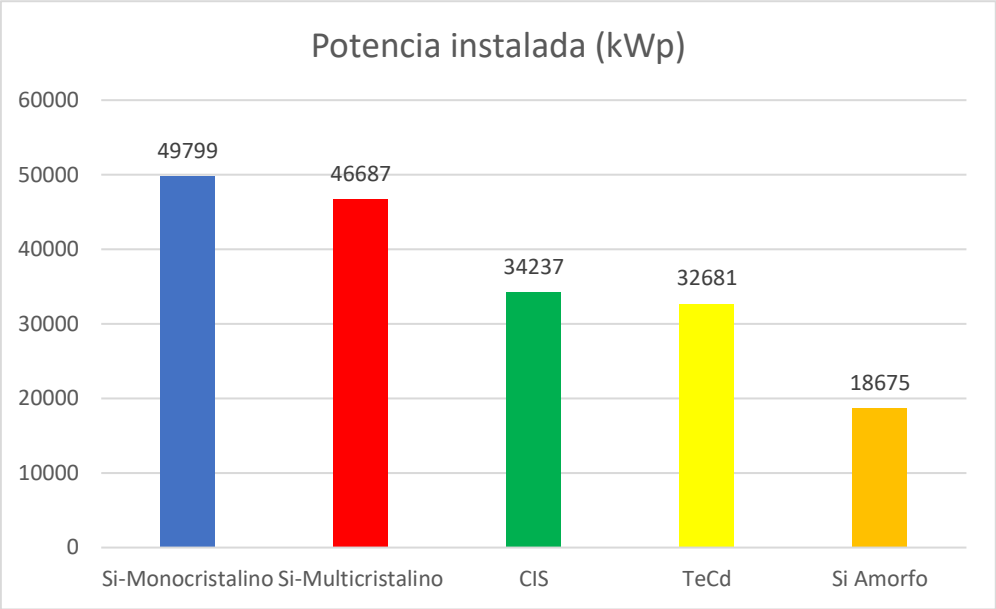


Ilustración 71.Potencia instalada (kWp) según módulo

Podemos ver que el módulo fotovoltaico que menos potencia nos produciría es el de Silicio Amorfo con una potencia de 18.675 kWp, sin embargo, con el módulo de Silicio Monocristalino se alcanzaría una potencia de 49.799 kWp esto nos indica, que generaría una potencia de un 266 % más que el de silicio.

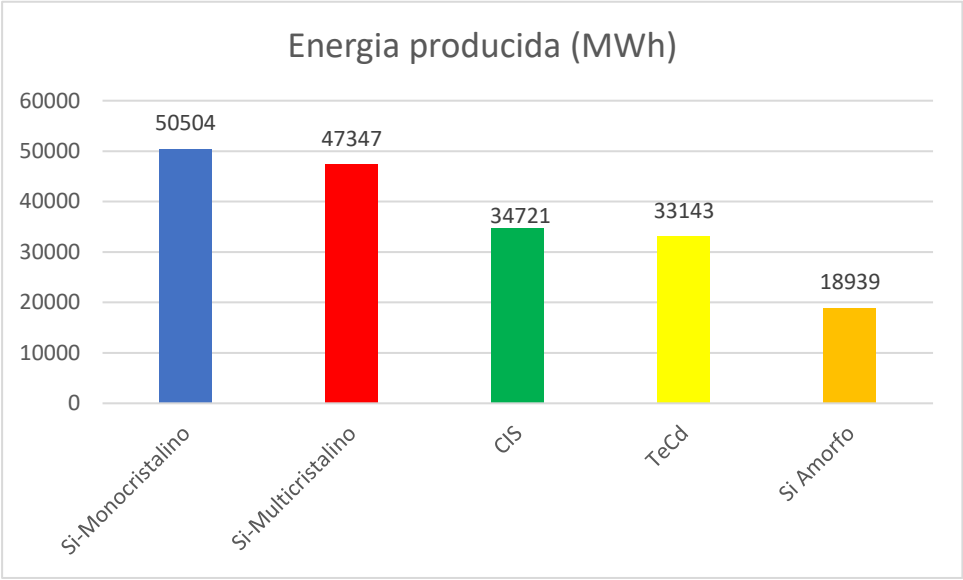


***Ilustración 72**. Energía producida (MWh) según módulo*

Se puede apreciar que al igual que sucedió en la potencia para la energía también será el módulo de Silicio Monocristalino el que más energía nos genere, llegando a alcanzar la cantidad de 50.504 MWh de forma anual, y el que menos el de Silicio Amorfo con 18.939 MWh

En el **Anexo I** se muestran los diferentes mapas de Potencia y Energía para cada tipo módulo.

La metodología utilizada no solo permite calcular datos generales para una extensa área, sino que también genera información detallada para cada nave de forma individual. Para conseguirlo, se crea una nueva capa y se unen las tablas resumen obtenidas de los diferentes cálculos. También ofrece la posibilidad de obtener los valores mínimos, medios y máximos de energía y potencia para cada nave.

Finalmente, hemos realizado una comparación de los datos recopilados con otros estudios similares para validar su precisión. Buscamos investigaciones que se asemejan en términos de dimensiones a nuestro polígono. En un estudio realizado para el polígono de Don Benito [32] se señala que con una superficie disponible de 362.503 m^2 utilizando módulos de Silicio Monocristalino, obtendría una potencia de 45.01 Mwp y generaría una energía de 60 GWh. Por otro lado, encontramos un análisis realizado por la Universidad de Zaragoza [33] donde para una superficie de 111.995 m2 utilizando módulos de Silicio de Amorfo, se obtendría una potencia de 6.7 Mwp y generaría una energía de 5.78 GWh. Como podemos apreciar estos datos son muy similares a los obtenidos en nuestro estudio, lo que nos lleva a concluir que los datos recopilados son confiables.

8. Conclusión

Este proyecto ofrece una evaluación estimada de la implementación de sistemas fotovoltaicos en el Polígono Industrial de Antequera. Además de presentar los resultados, se destacan los beneficios de utilizar un Sistema de Información Geográfica (GIS) en este tipo de análisis y se resalta la utilidad del enfoque para exponer dichos resultados.

El tipo de área que se ha estudiado se distingue por estar compuesta por una serie de naves donde se ubican diversas empresas, generalmente con un gran impacto económico. Se ha considerado que la forma más indicada de que un polígono industrial utilice energía limpia es, a través, de la implementación de este tipo de sistemas en sus tejados, con la capacidad de poder abastecer a las empresas con suficiente energía eléctrica para el desarrollo de su actividad. La implantación de estos sistemas generaría una visión mucho más limpia y comprometida con el medio ambiente por parte de las empresas.

La instalación de energía solar fotovoltaica requiere un análisis minucioso y completo de múltiples elementos relacionados con las características espaciales. Se ha considerado que las herramientas SIG es la forma óptima para poder realizar este tipo de estudios al proporcionar unas herramientas adecuadas para cumplir con este tipo de necesidades.

Uno de los aspectos más importantes que presenta este modelo es la opción de poder escoger entre varios tipos de módulos fotovoltaicos y ver la variación de potencia y energía que nos daría cada uno de ellos. No todos los módulos tienen la misma eficiencia, lo que significa que algunos requerirán de una superficie mayor para generar la misma cantidad de electricidad. Al comparar los resultados de los distintos módulos, se podrá tomar una decisión informada y con criterio sobre qué módulo fotovoltaico a instalar es el más rentable, puesto si bien la eficiencia es conocida a priori, conocer la superficie disponible permite analizar la viabilidad de instalar un mayor número de módulos menos eficientes, pero más económicos

Es importante destacar que, gracias a la metodología empleada, hemos logrado llevar a cabo un estudio integral de todo el polígono, sin esto, hubiéramos tenido que realizar un enfoque distinto en el que se dependería en cierta medida de unas estimaciones globales, lo que daría un resultado mucho menos efectivo. Otros procedimientos de análisis con el mismo nivel de detalle conllevarían un esfuerzo significativamente mayor y difícil de gestionar.

Los resultados derivados de este análisis son altamente favorables a simple vista. Se trata de un área muy homogénea, uniforme, compuesta por edificaciones con cubiertas de gran superficie y con una inclinación bastante escasa. Además, carecen de elementos que puedan producir una gran cantidad de sombras, lo que permitiría aprovechar la amplia mayoría de la superficie para instalar los módulos fotovoltaicos. En términos generales, los resultados muestran que la potencia y la energía generada son mayores cuanto mayor es la superficie de la nave, lo que indica que estos datos muestran una correspondencia significativa y son reales.

9. Bibliografía

[1] «La energía renovable | Fichas temáticas sobre la Unión Europea | Parlamento Europeo». https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable

[2] «Determinación del potencial solar». https://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/39121/book/OEBPS/Text/chapter1.html

[3] I. Y. Barrera, «Laboratorio de Innovación y Desarrollo de Energías Renovables (LIDER) Guía Técnica Diseño e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos y Conectados a la Red a pequeña escala Información recopilada y elaborada por: “Por un Desarrollo Agrario Integral y Sostenible” “Por un Desarrollo Agrario Integral y Sostenible”».

[4] F. Belabbes, D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, y M. Medles, «Using the snake optimization metaheuristic algorithms to extract the photovoltaic cells parameters», *Energy Convers Manag*, vol. 292, p. 117373, sep. 2023.

[5] A. Chermitti, O. Boukli-Hacene, A. Meghebbar, N. Bibitriki, y A. Kherous, «Design of a Library of Components for Autonomous Photovoltaic System under Matlab/Simulink», *Phys Procedia*, vol. 55, pp. 199-206, ene. 2014.

[6] «Energía Solar Fotovoltaica: qué es, para que sirve y cómo funciona». https://www.cursosaula21.com/que-es-energia-solar-fotovoltaica

[7] «¿Qué Tipos de Células Fotovoltaicas Existen?» https://estudiarenergiasrenovablesonline.es/tipos-celulas-fotovoltaicas-existen

[8] «Proyecto de planta fotovoltaica con paneles bifaciales-Proyecto Fin de Máster-Universidad Politécnica de Madrid-2020».

[9] «Celda solar fotovoltaica policristalina - 125 x 125 mm - Maharishi Solar Technology - estándar». https://www.directindustry.es/prod/maharishi-solar-technology/product-54437-358068.html

[10] «BOE-A-2008-2494 Ley 14/2007, de 26 de noviembre, del Patrimonio Histórico de Andalucía.» https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2494

[11] A. José Francisco Zea Benítez Madrid y J. Muñoz Cano, «TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA DE SEGUIDOR SOLAR».

[12] «Energía solar». https://solar-energia.net

[13] «Extremadura alberga la primera planta fotovoltaica flotante de España». https://www.innovaspain.com/acciona-extremadura-planta-fotovoltaica-flotante/

[14] D. Básico, «DB-HE, Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Ahorro Energético (DBHE). Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2008».

[15] M. Castro Fernández, M. A. Soto Calvo, M. Vilaragut Llanes, y A. Santos Fuentefria, «Análisis del comportamiento de las centrales fotovoltaicas de la Empresa Eléctrica de la Isla de la Juventud desde su puesta en marcha», en *Congreso Internacional de Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico*, 2017.

[16] J. Liu *et al.*, «A novel approach for assessing rooftop-and-facade solar photovoltaic potential in rural areas using three-dimensional (3D) building models constructed with GIS», *Energy*, vol. 282, p. 128920, nov. 2023..

[17] «IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red, (2011).» https://www.idae.es/

[18] «PNOA, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), (2023)». https://pnoa.ign.es

[19] «Sede Electrónica del Catastro.» https://www.sedecatastro.gob.es/OVCInicio.aspx

[20] «SoDa Pro, Solar Radiation Data (SoDa). Solar Energy Services for Professionals». https://www.soda-pro.com/

[21] «Solar Geometry 2, Solar Radiation Data (SoDa). Solar Energy Services for Professionals, (2023).» https://www.soda-pro.com/web-services/astronomy/solar-geometry-2

[22] «Zonas Industriales - Antequera Logística». https://antequeralogistica.com/zonas-industriales-antequera/

[23] «Las obras de la fábrica de la multinacional LUMON en Antequera llegan al 90% de ejecución - landreset.es». https://www.landreset.es/las-obras-de-la-fabrica-de-la-multinacional-lumon-en-antequera-llegan-al-90-de-ejecucion

[24] «SIMA - Antequera (Málaga) | Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía». https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=29015

[25] «Ayuntamiento de Antequera». https://www.antequera.es/municipio/antequera/

[26] «El clima en Antequera, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) - Weather Spark». https://es.weatherspark.com/y/35300/Clima-promedio-en-Antequera-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o

[27] R. Falquina, A. de la Vara, W. Cabos, D. Sein, y C. Gallardo, «Impact of ocean-atmosphere coupling on present and future Köppen-Geiger climate classification in Europe», *Atmos Res*, vol. 275, p. 106223, sep. 2022

[28] «Clima Antequera: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Antequera». https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/antequera-56881

[29] «CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT): gSolarRoof, (2023)». https://ciemat.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=75bd823d86a84e38a280dd1ca44d76e8

[30] «DB-SI, Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio (DBSI).», [En línea]. Disponible en: https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SI/DBSI.pdf

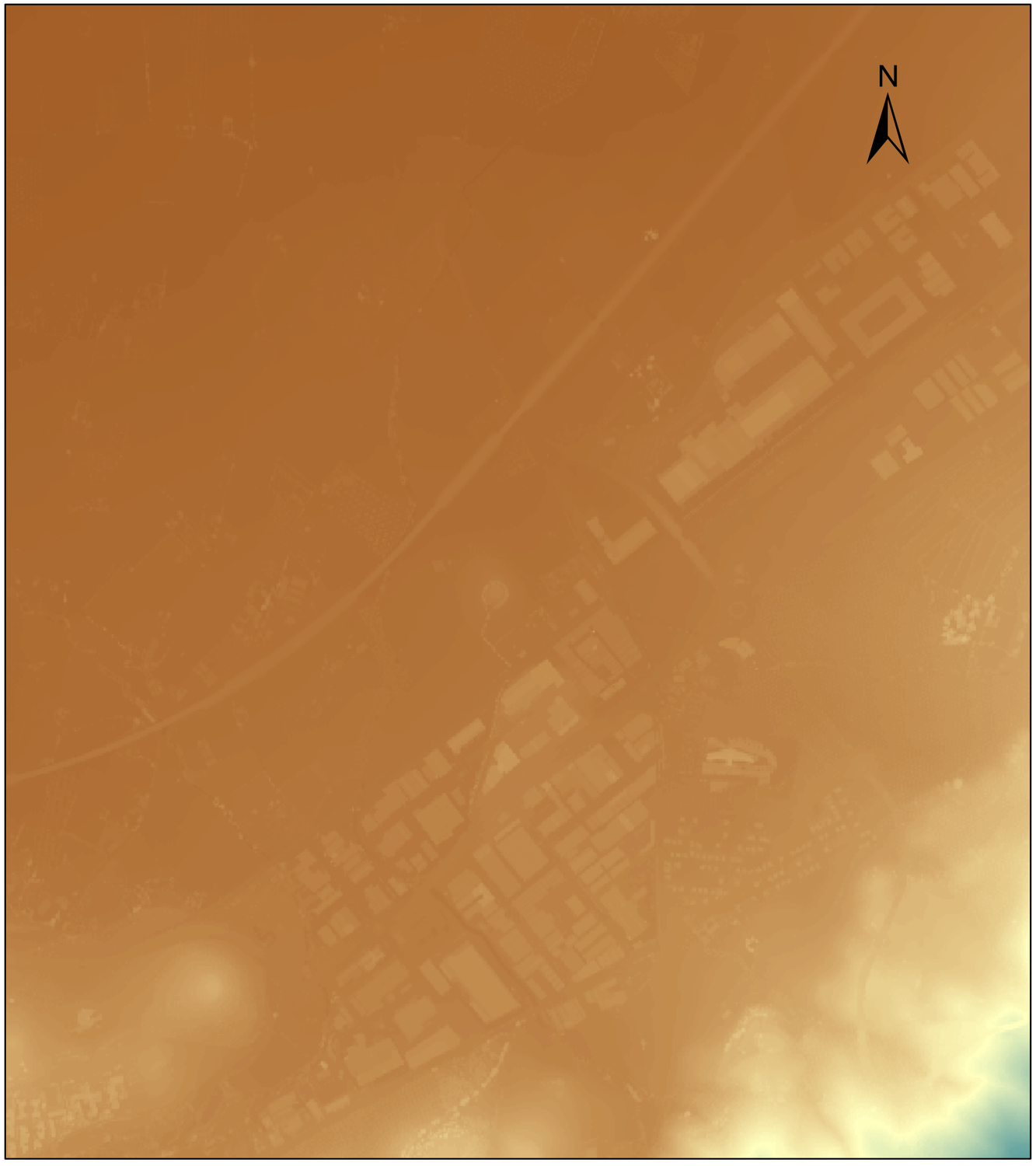
[31] «Documentos CTE- Documento Básico HE5». https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/DocumentosCTE.html

[32] A. María, M. Ávila, J. Domínguez, B. José, A. Ferrer Tebar, y G. Díaz Herrero, «Estudio del potencial solar mediante la aplicación de la metodología gSolarRoof en los polígonos industriales de Don Benito y Plasencia.», nov. 2020, Accedido: 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://documenta.ciemat.es/handle/123456789/1136

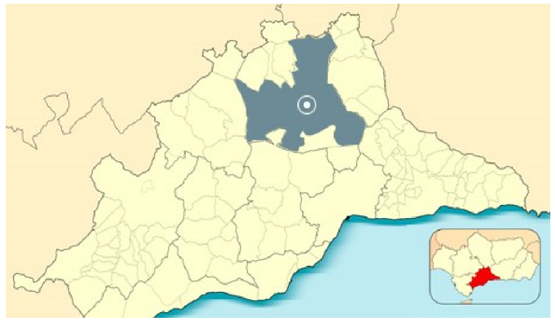
[33] A. M. Martín Ávila y J. Domínguez Bravo, «Desarrollo de un modelo geográfico para la evaluación del potencial fotovoltaico en entornos urbanos», Accedido: 4 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.ign.es/ign/main/index.do.

ANEXO I

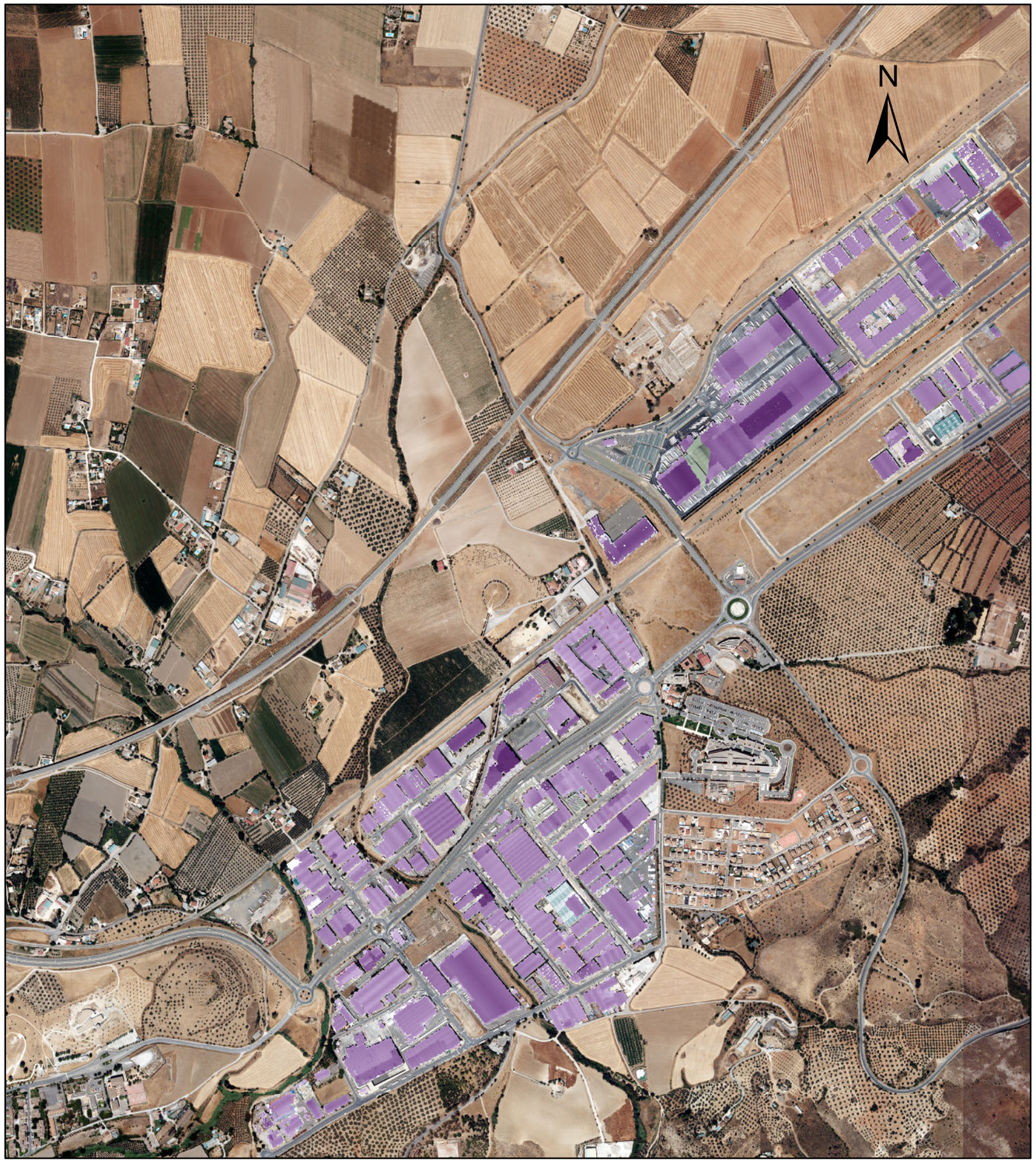
Mapas de resultados



Situación



Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Modelo Digital de Superficies		*Escala:* 1:12000



Situación



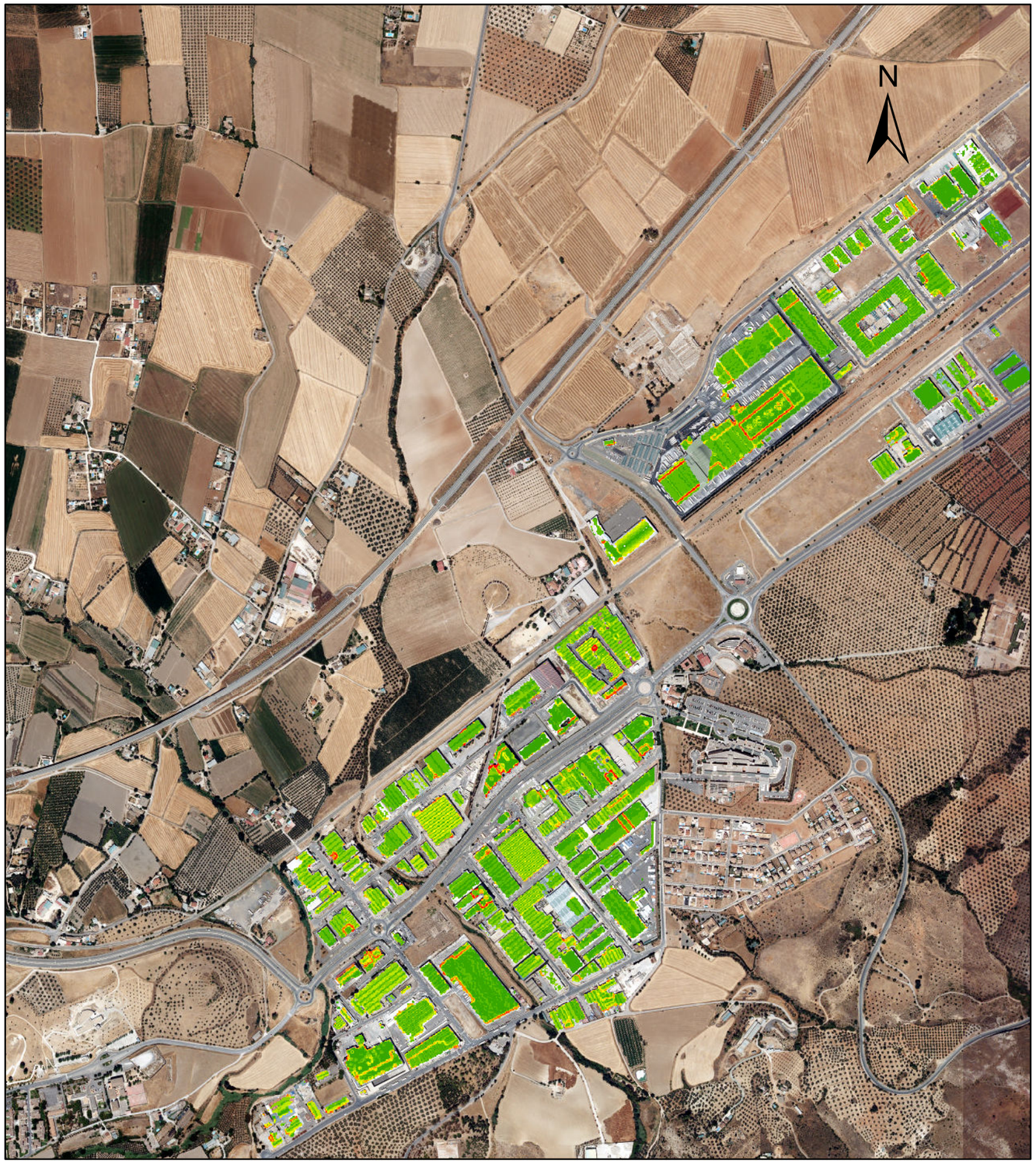
Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Modelo Digital de Superficies Normalizado		*Escala:* 1:12000



Situación



Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de naves del Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



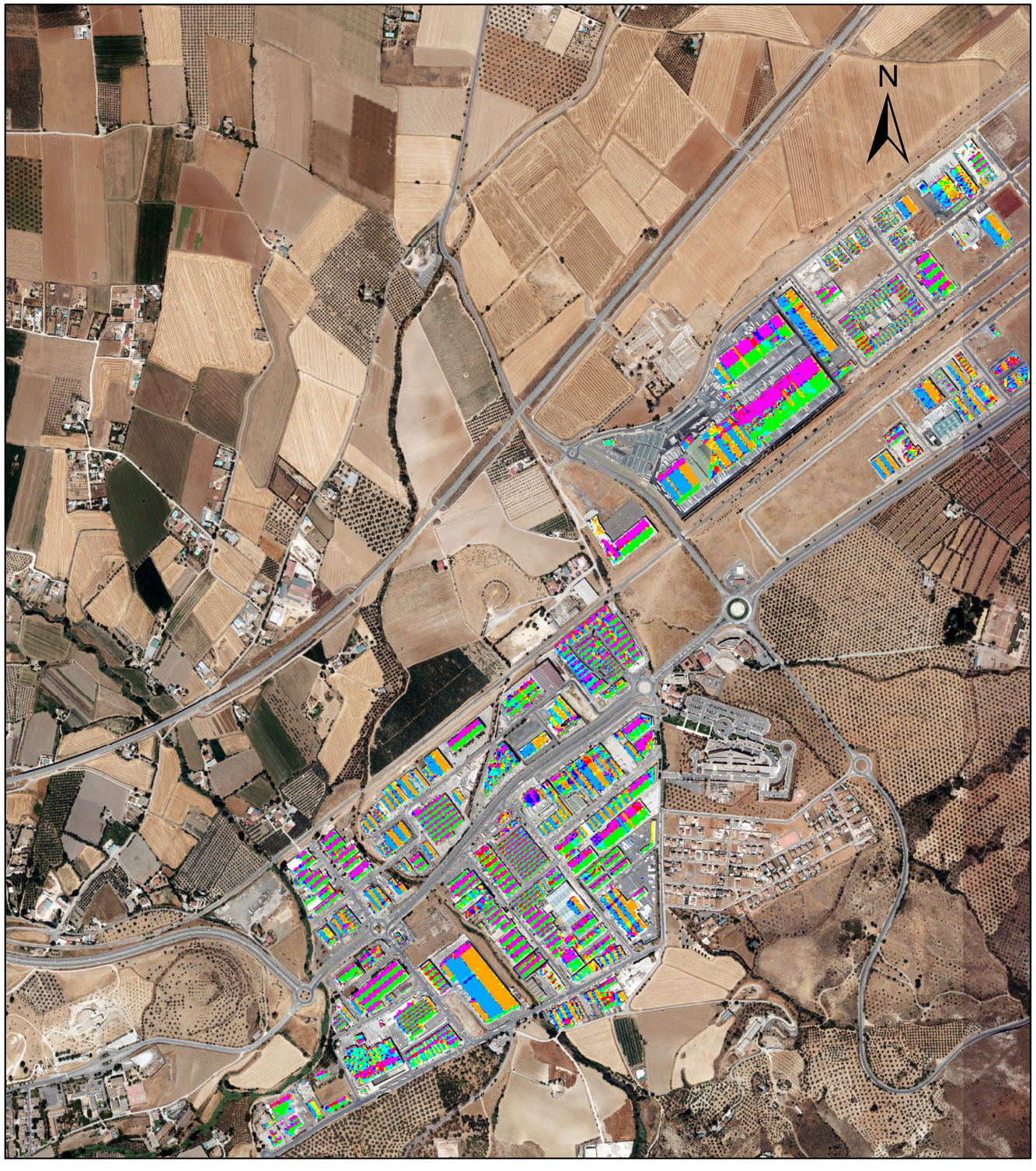
Situación



Grados de inclinación

- *0 - 4,17*
- *4,17 - 8,34*
- *8,34 - 13,4*
- *13,4 - 19,36*
- *19,36 - 26,81*
- *26,81 - 35,44*
- *35,44 - 44,68*
- *44,68 - 55,1*
- *55,1 - 75,96*

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de pendientes del Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



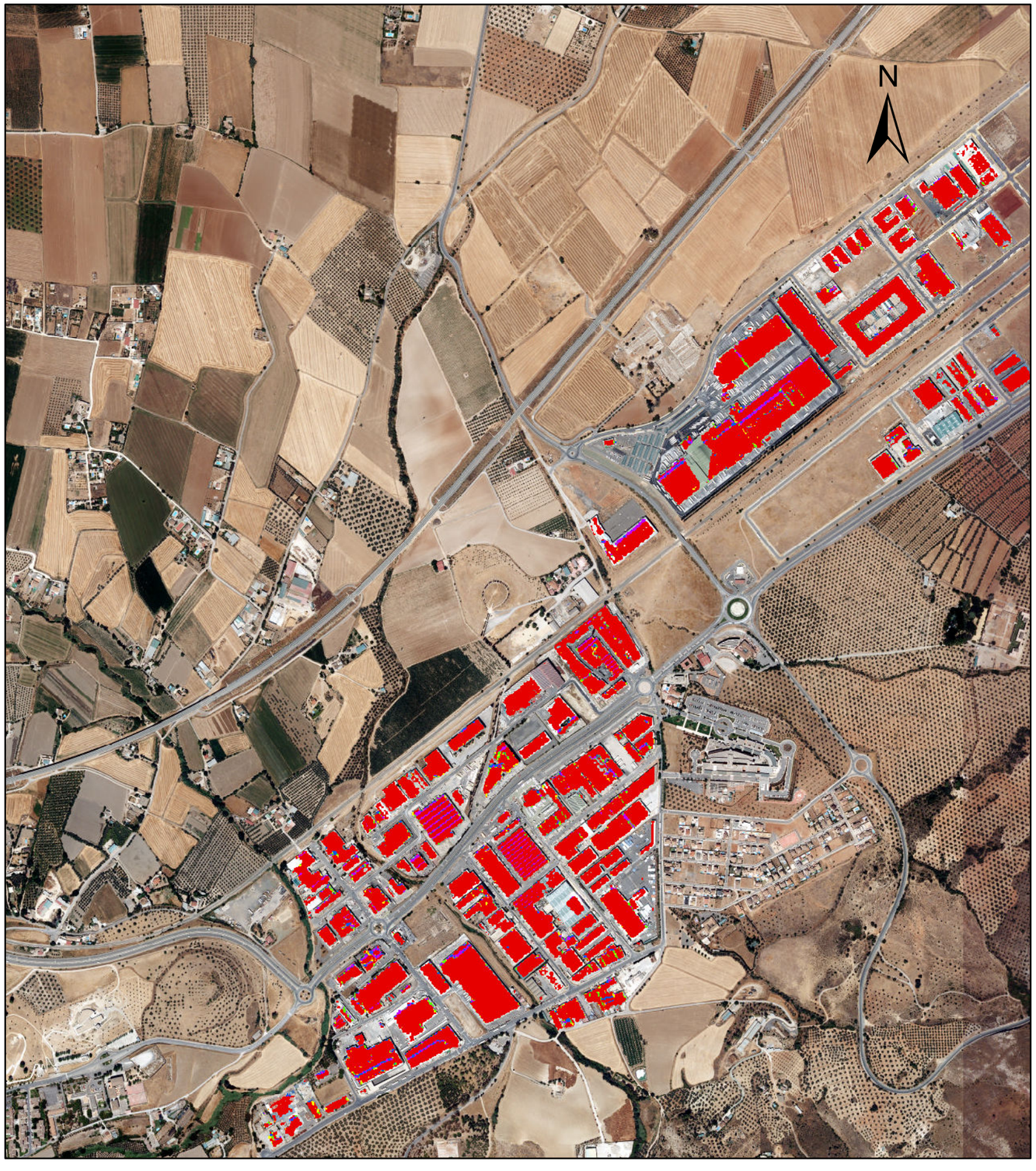
Situación



Orientación

- *Norte*
- *Nordeste*
- *Este*
- *Sudeste*
- *Sur*
- *Sudoeste*
- *Oeste*
- *Noroeste*
- *Norte*

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: *Trabajo Fin de Grado*		*Fecha:* *03 / 09 / 2023*
Apellidos, Nombre: *Maqueda García, Pablo*		*DNI: 26302206-G*
Título: *Mapa de orientaciones del Polígono de Antequera*		*Escala:* *1:12000*



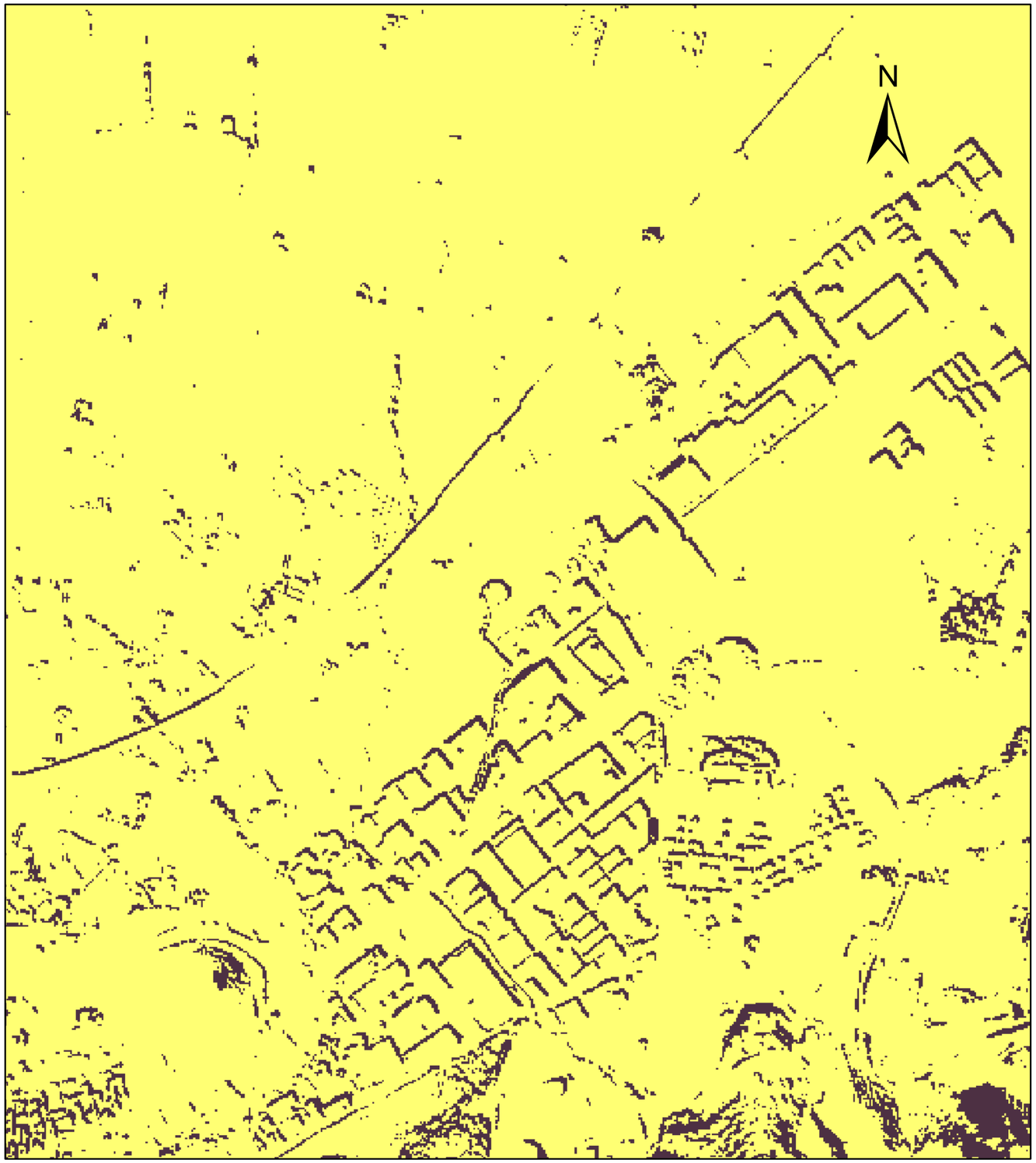
Situación



Porcentaje de perdidas

- *0 - 20 %*
- *20 - 40 %*
- *40 - 60 %*
- *60 - 80 %*
- *80 - 100 %*

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: *Trabajo Fin de Grado*		*Fecha:* *03 / 09 / 2023*
Apellidos, Nombre: *Maqueda García, Pablo*		*DNI: 26302206-G*
Título: *Mapa de perdidas del Polígono de Antequera*		*Escala:* *1:12000*



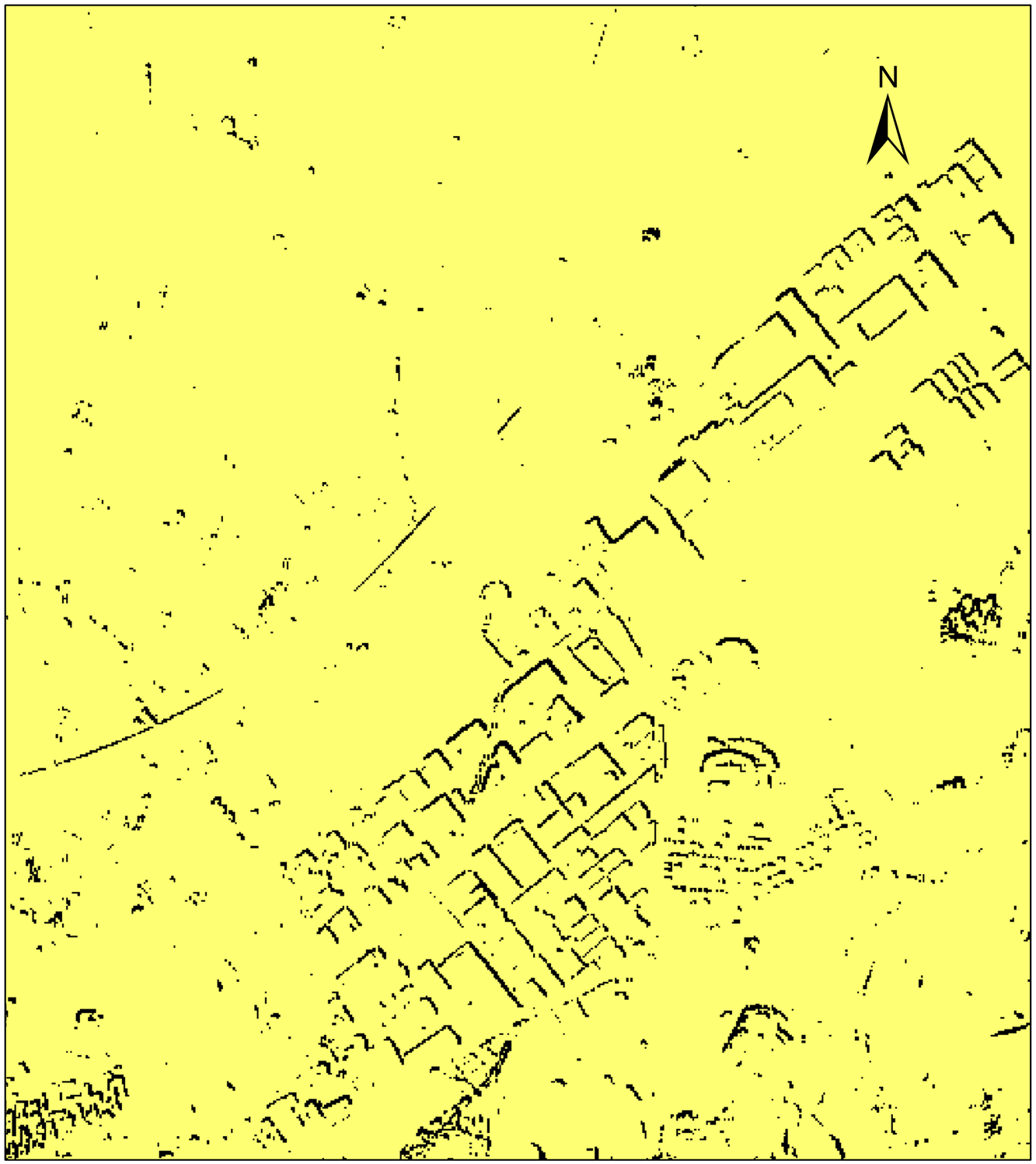
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos — **ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**		**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de sombras del mes de Enero en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



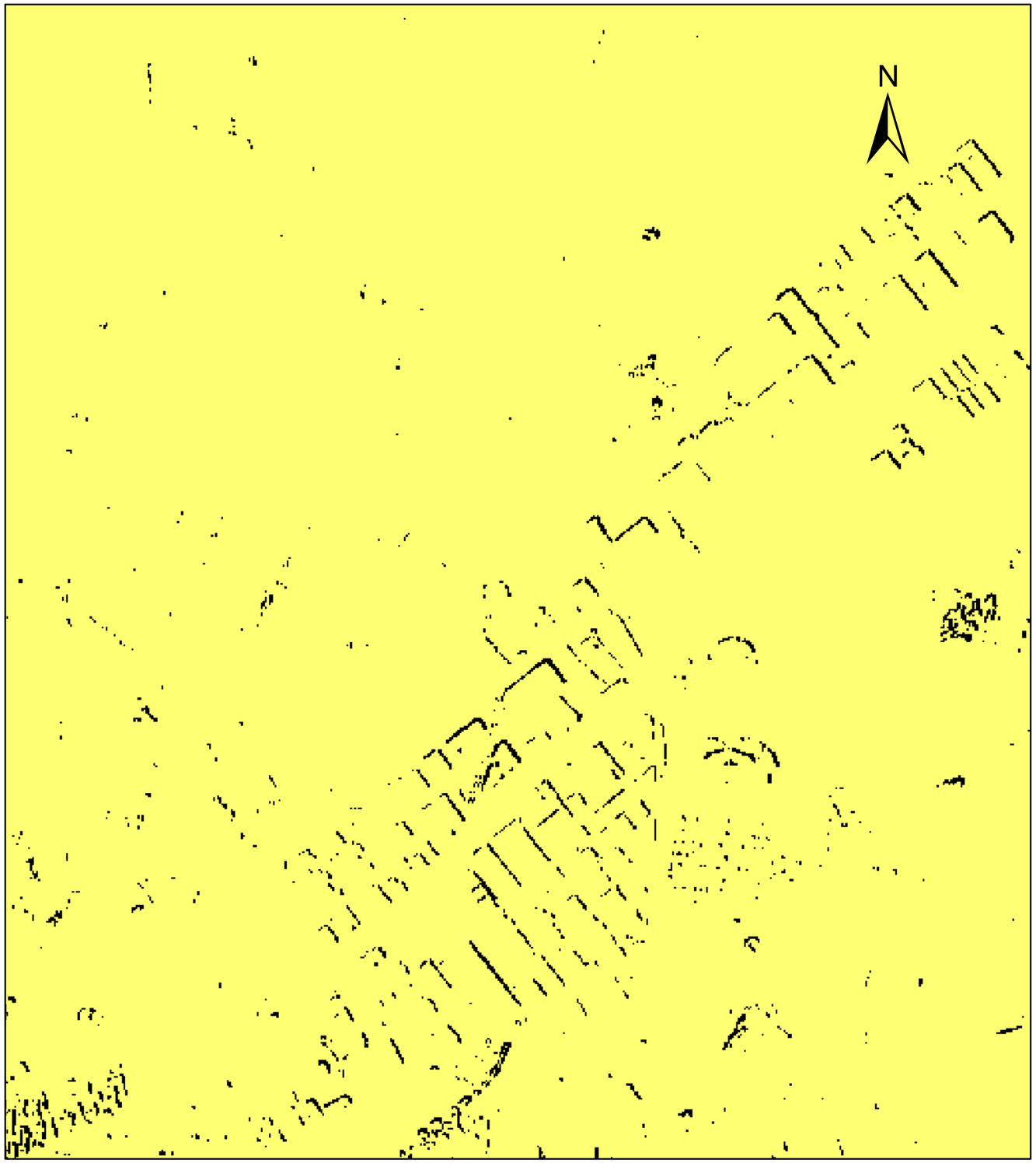
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Febrero en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



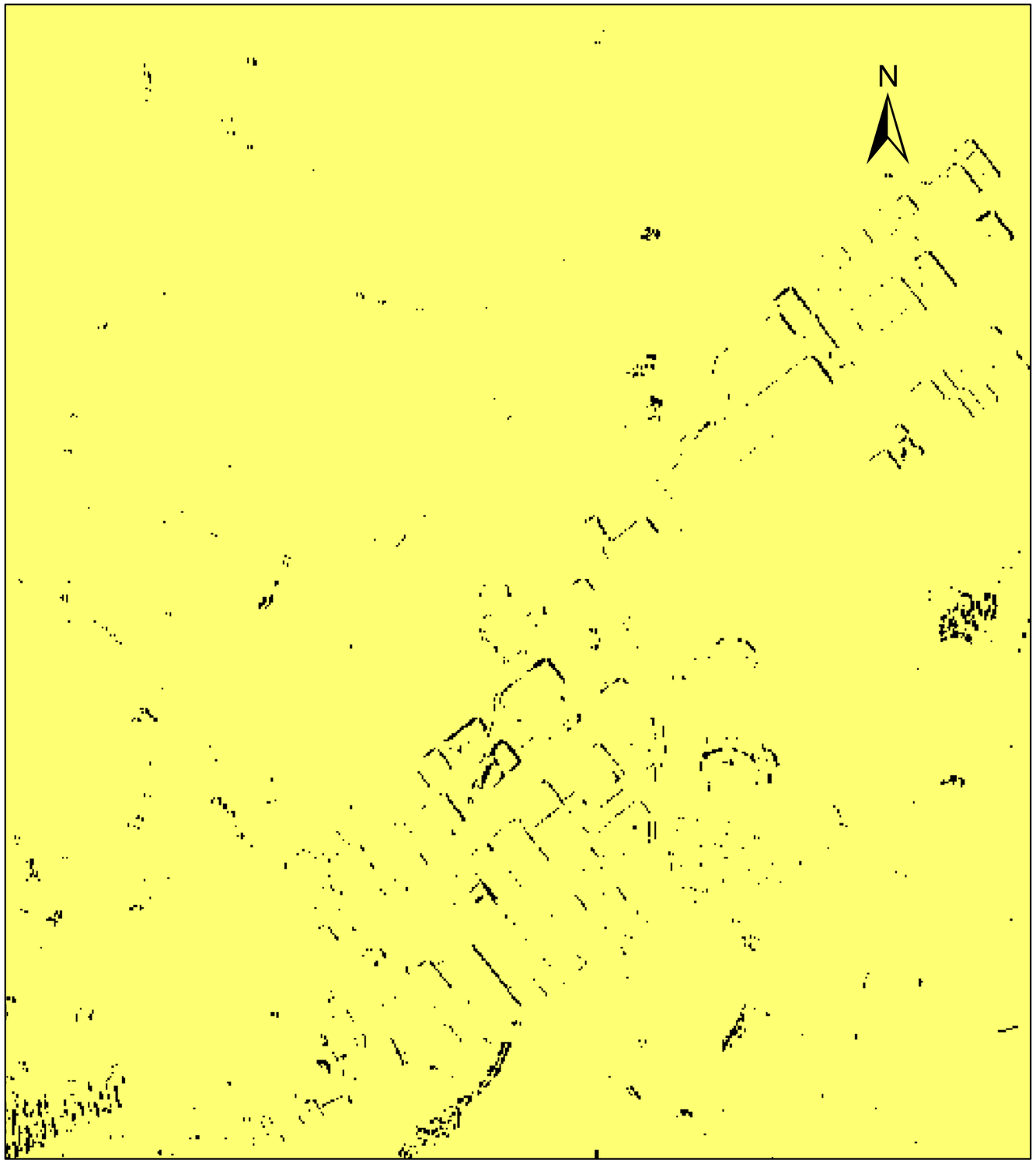
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Marzo en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



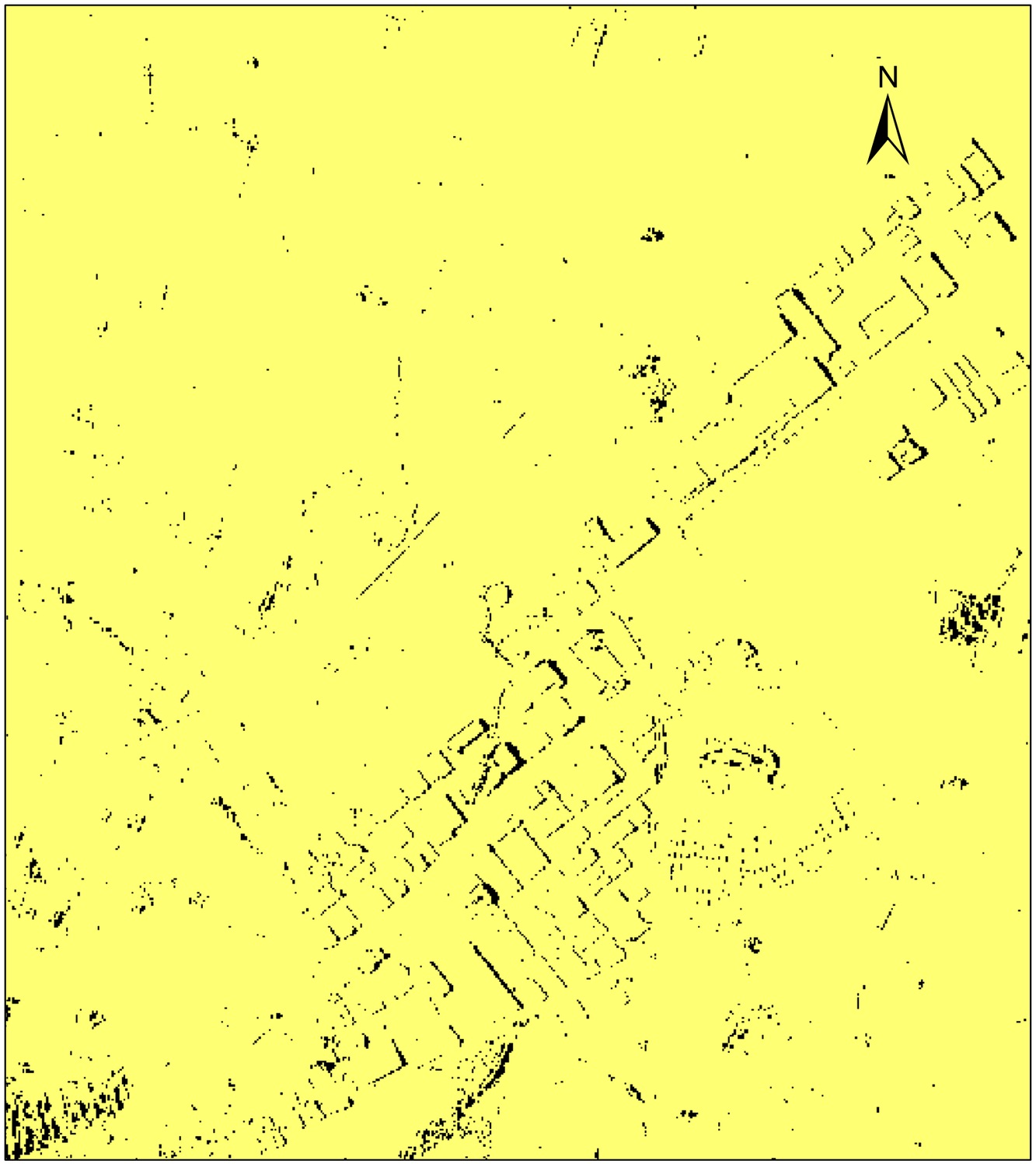
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Abril en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Mayo en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de sombras del mes de Junio en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



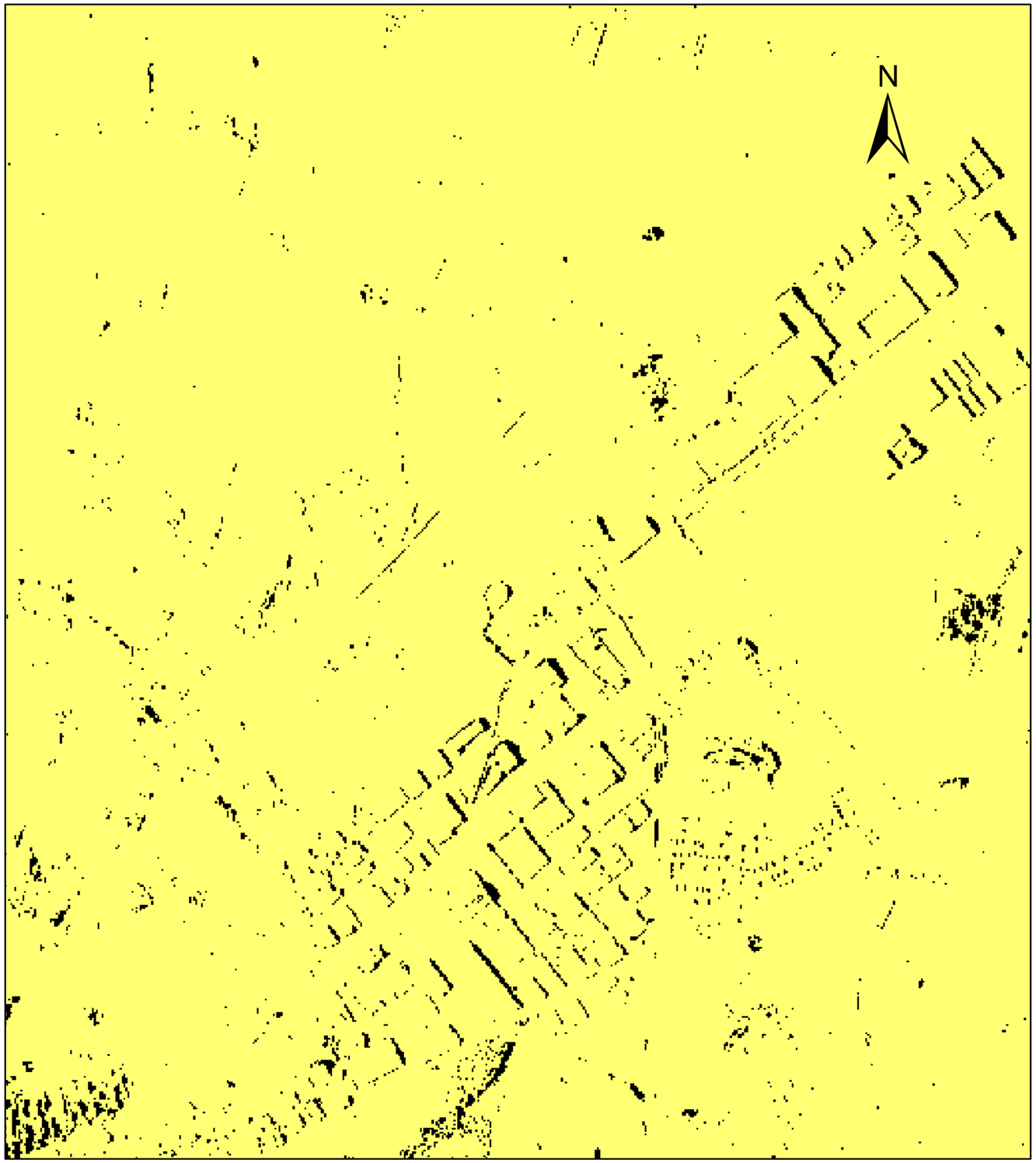
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de sombras del mes de Julio en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



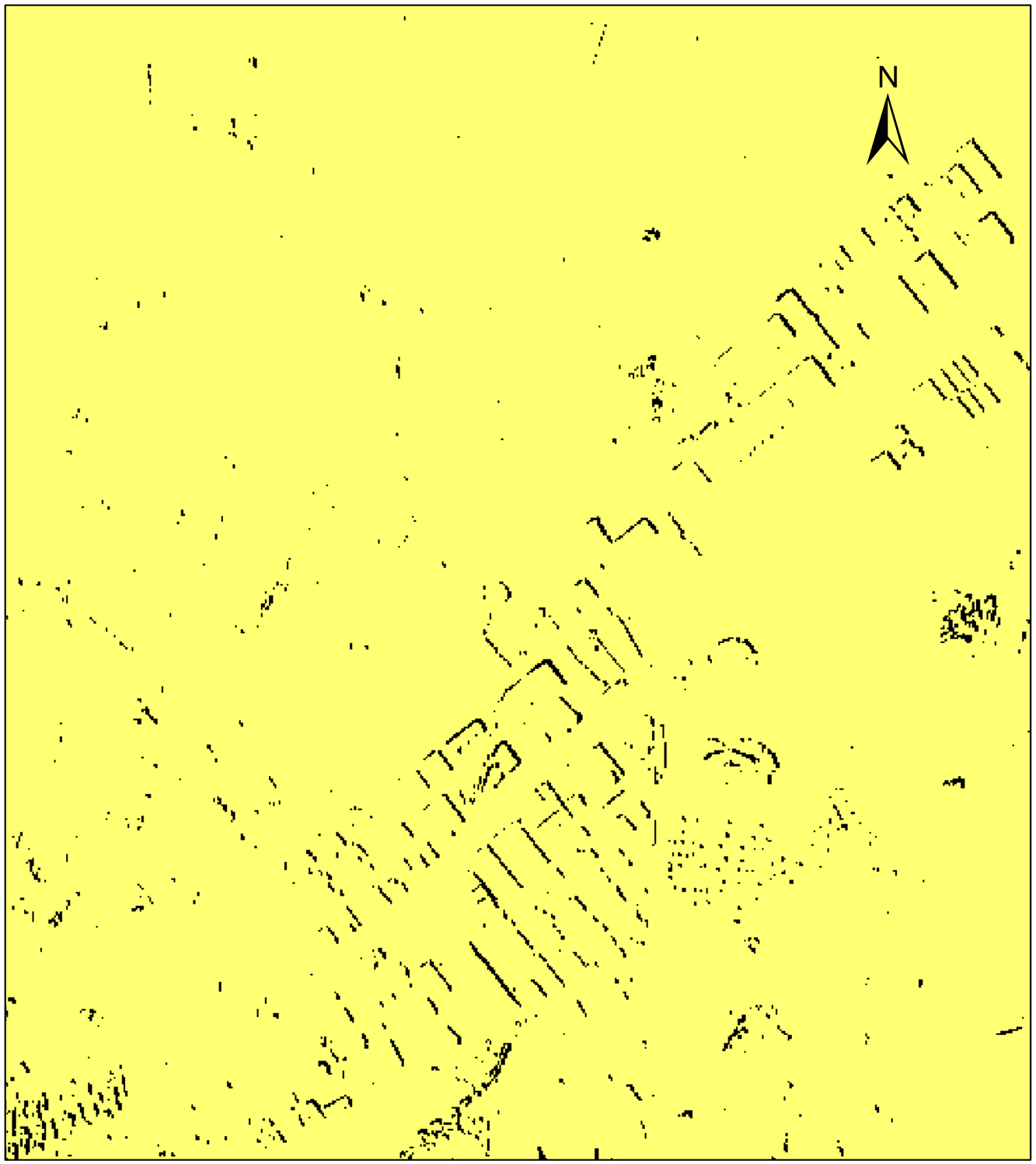
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Agosto en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



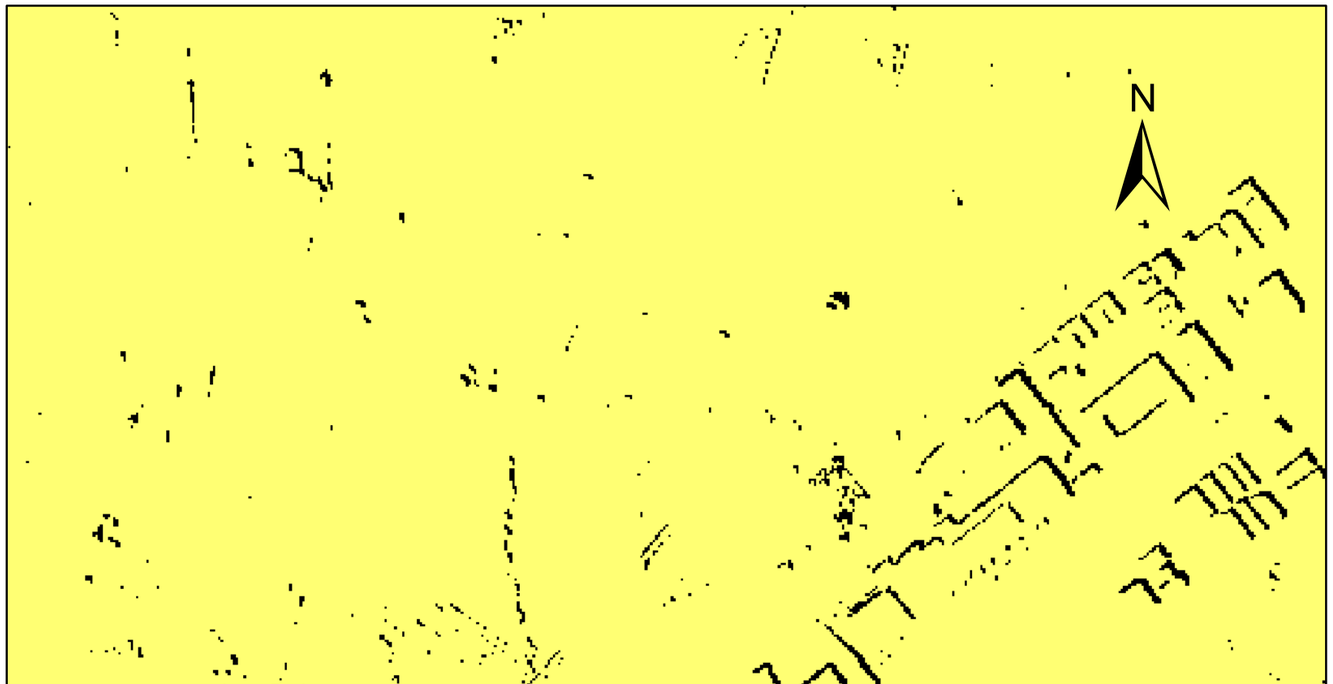
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Septiembre en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



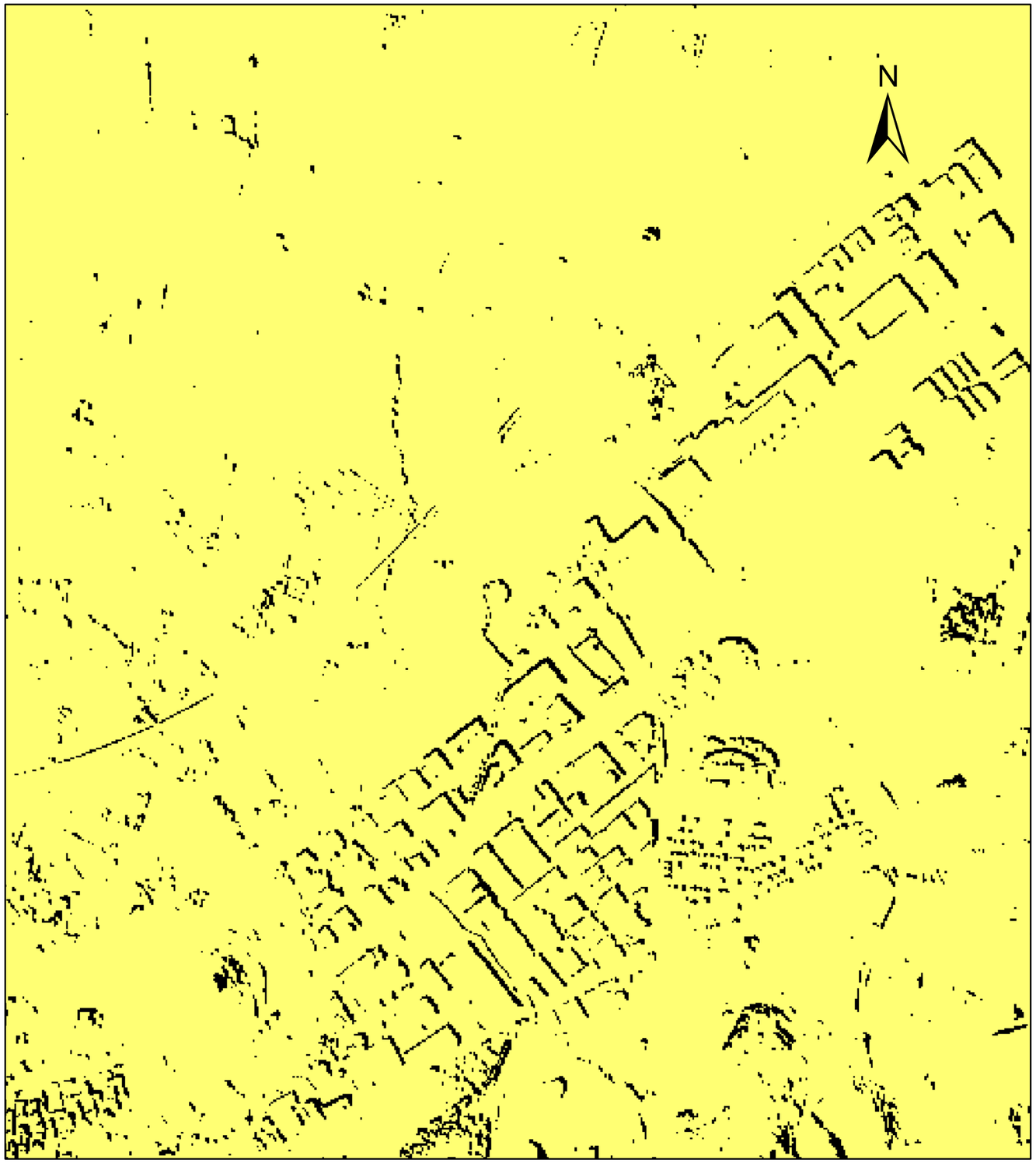
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Octubre en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



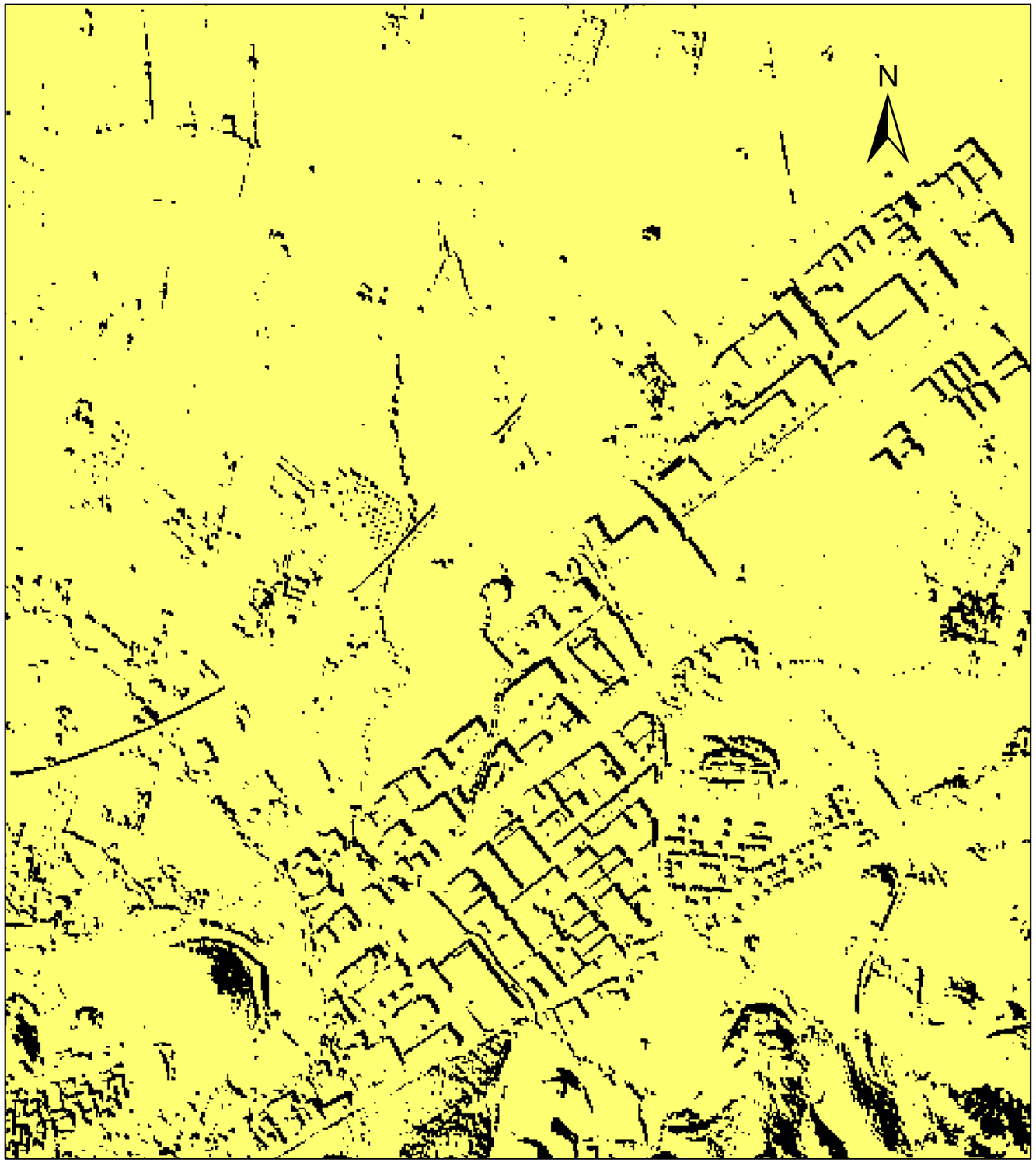
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Noviembre en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



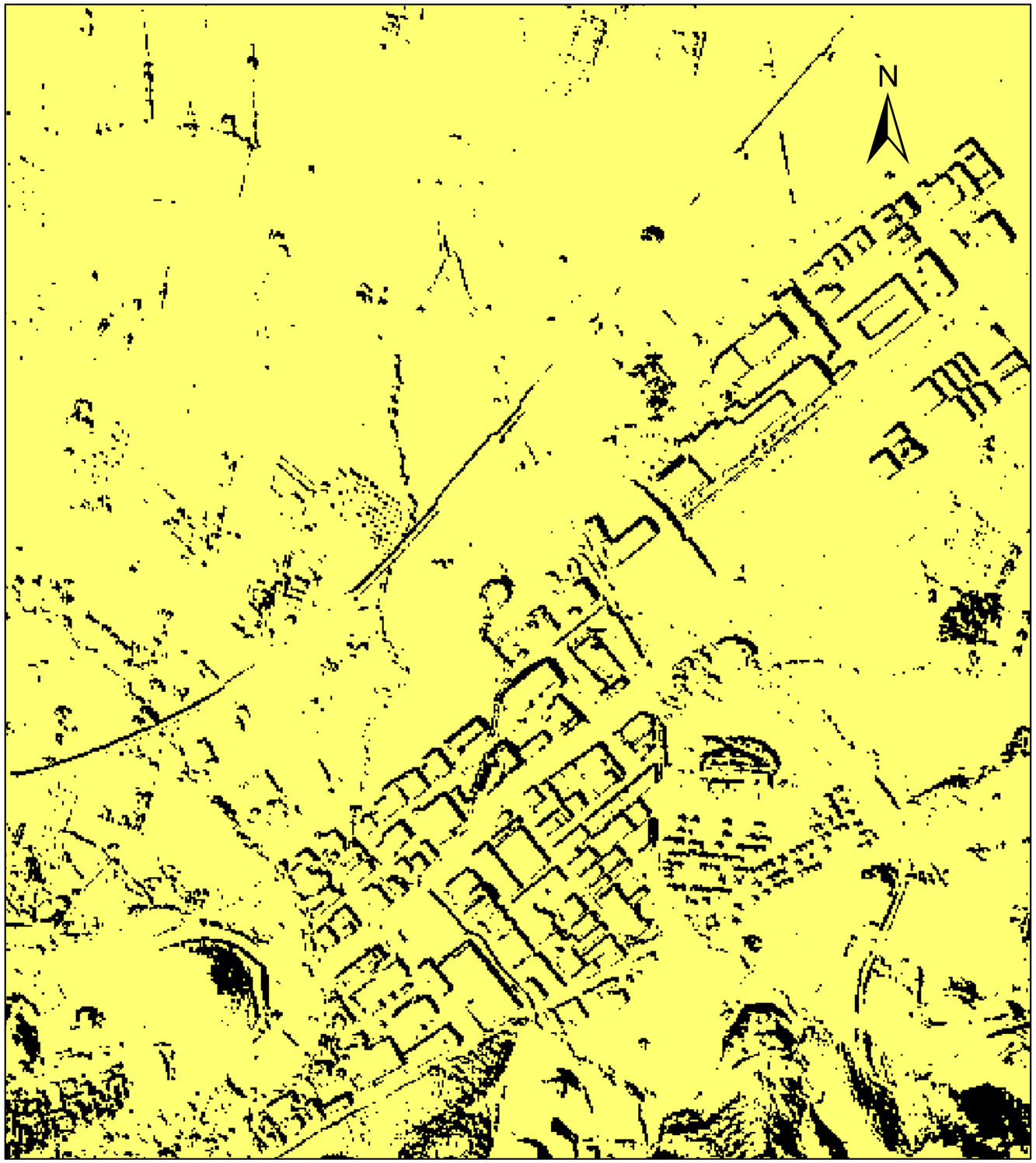
Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras del mes de Diciembre en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



Situación



Con sombra

Sin sombra

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de sombras anual del Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



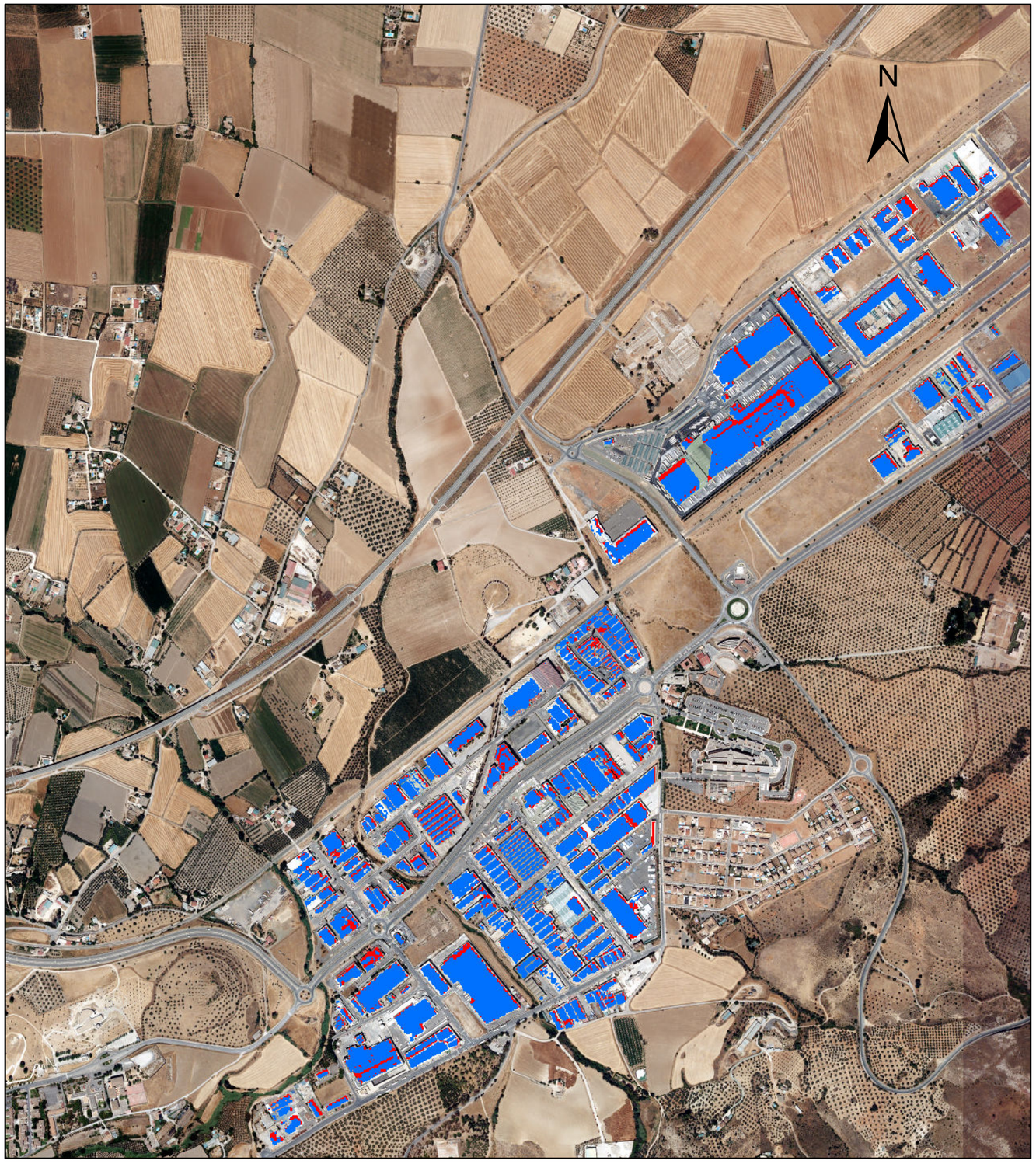
Situación



Con sombras

Sin sombras

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de sombras anual por naves del Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



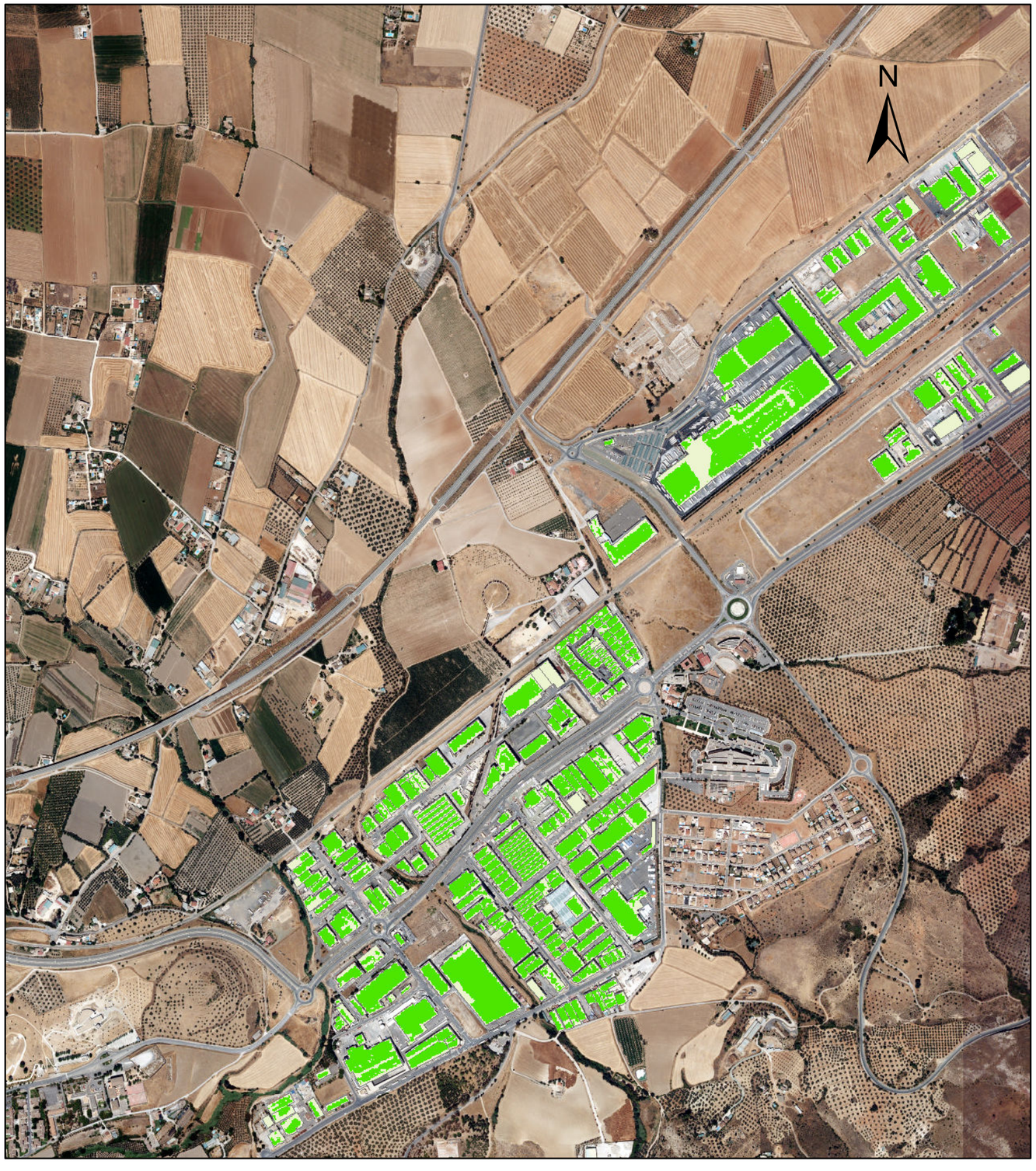
Situación



Zonas no cumplen criterios

Zonas si cumplen criterios

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de zonas que cumplen o no los criterios establecidos en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

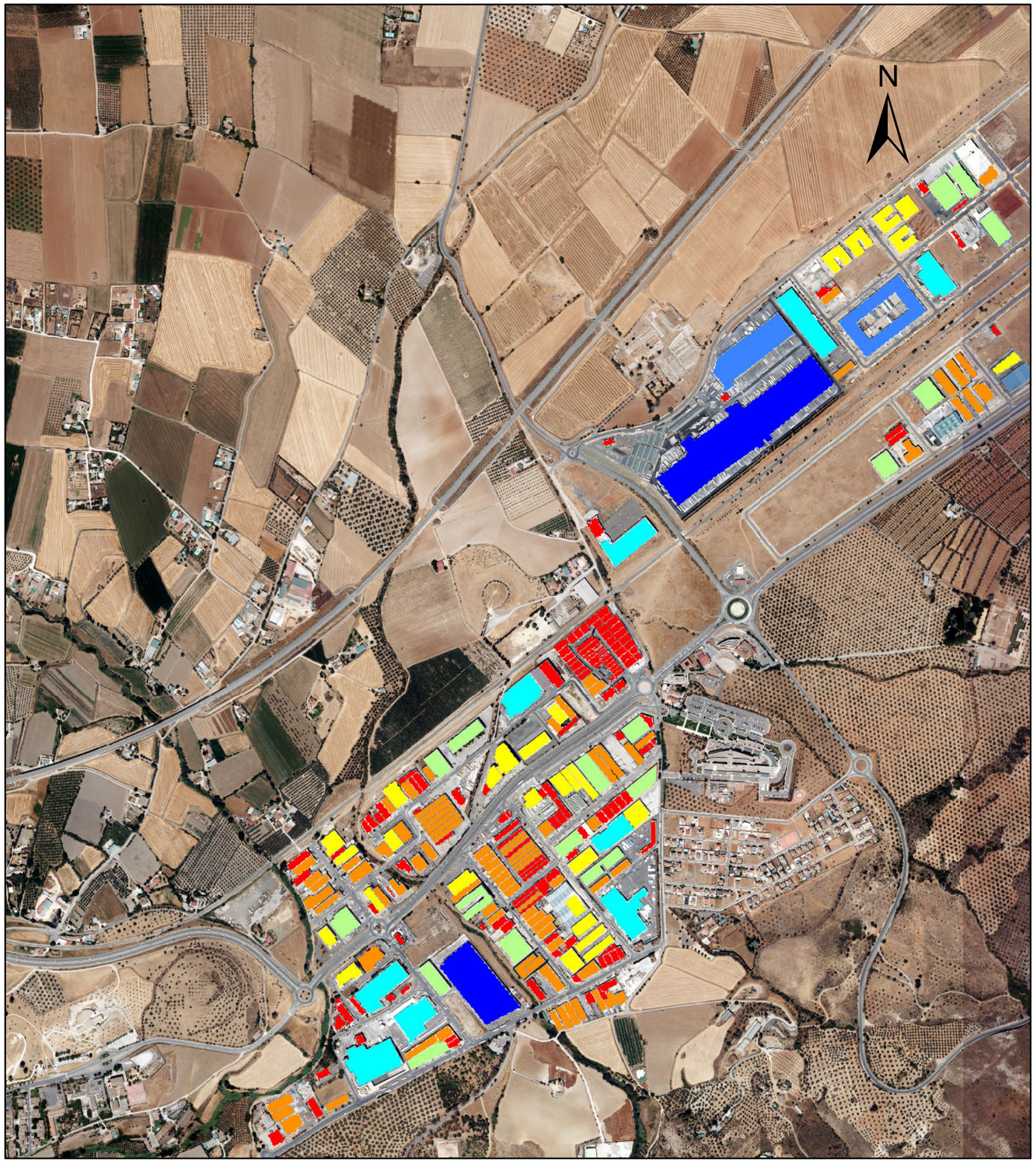


Situación



Superficie util

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de superficie útil en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

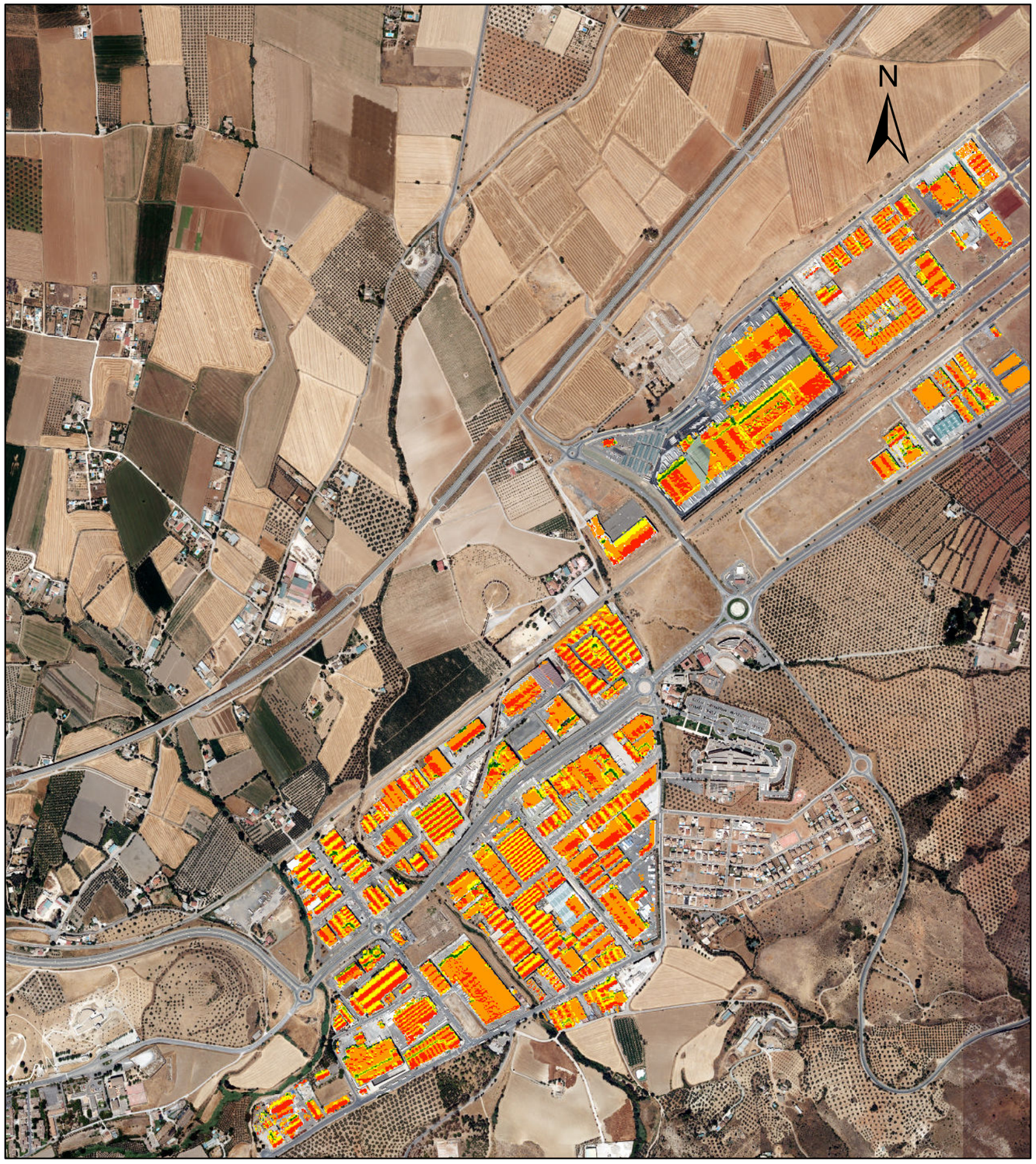


Situación



- 0 - 500 m2
- 500 - 1.000 m2
- 1.000 - 2.000 m2
- 2.000 - 4.000 m2
- 4.000 - 8.000 m2
- 8.000 - 16.000 m2
- 16.000 - 35.000 m2

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de área útil en m2 en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

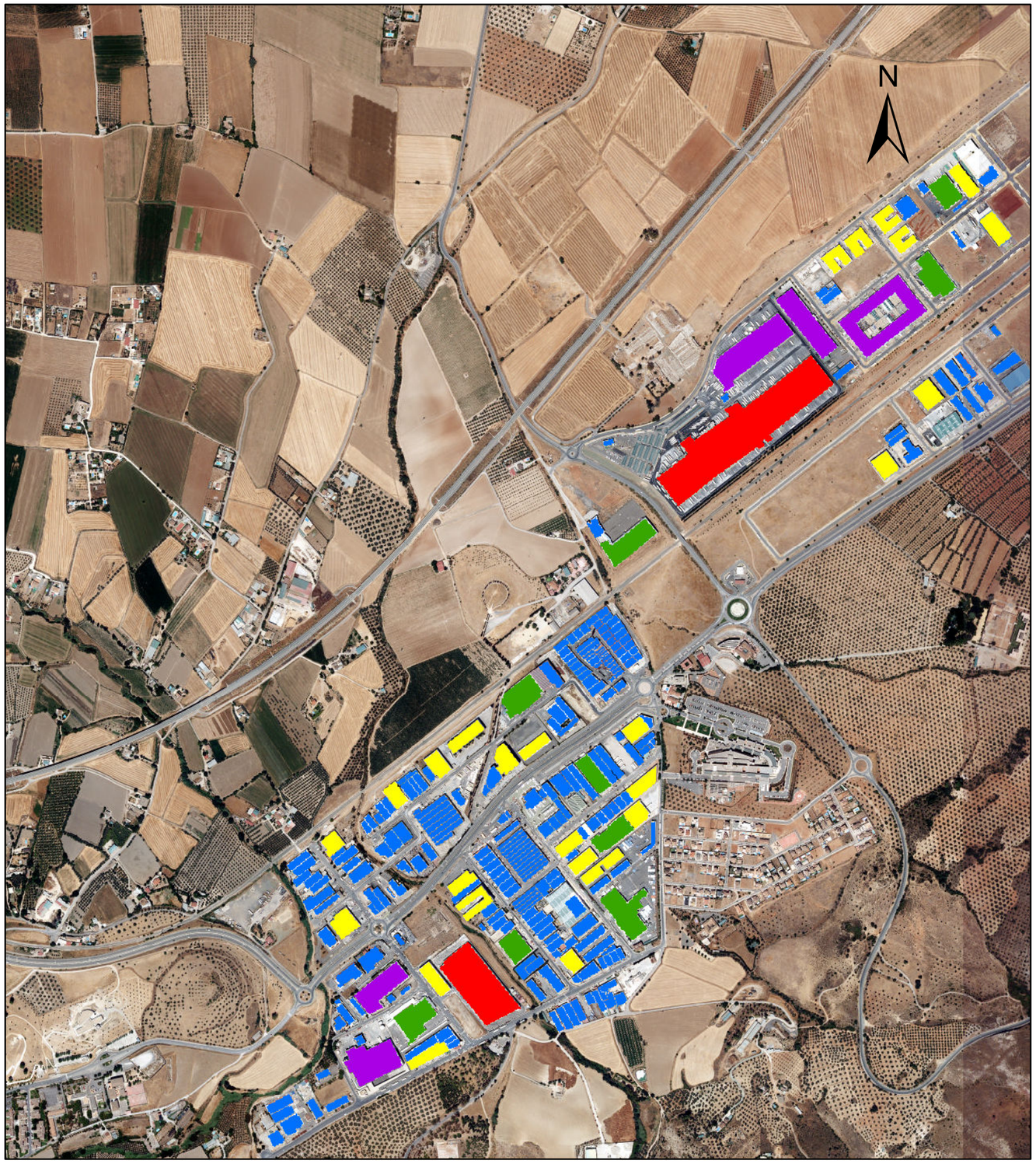


Situación



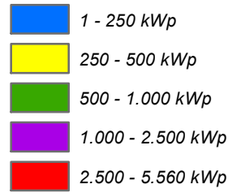
75 - 750 kW/m2
750 - 1.000 kW/m2
1.000 - 1.200 kW/m2
1.200 - 1.300 kW/m2
1.300 - 1.400 kW/m2

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		Fecha: 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		DNI: 26302206-G
Título: Mapa de Radiación Global Anual del 2022 en el Polígono de Antequera		Escala: 1:12000

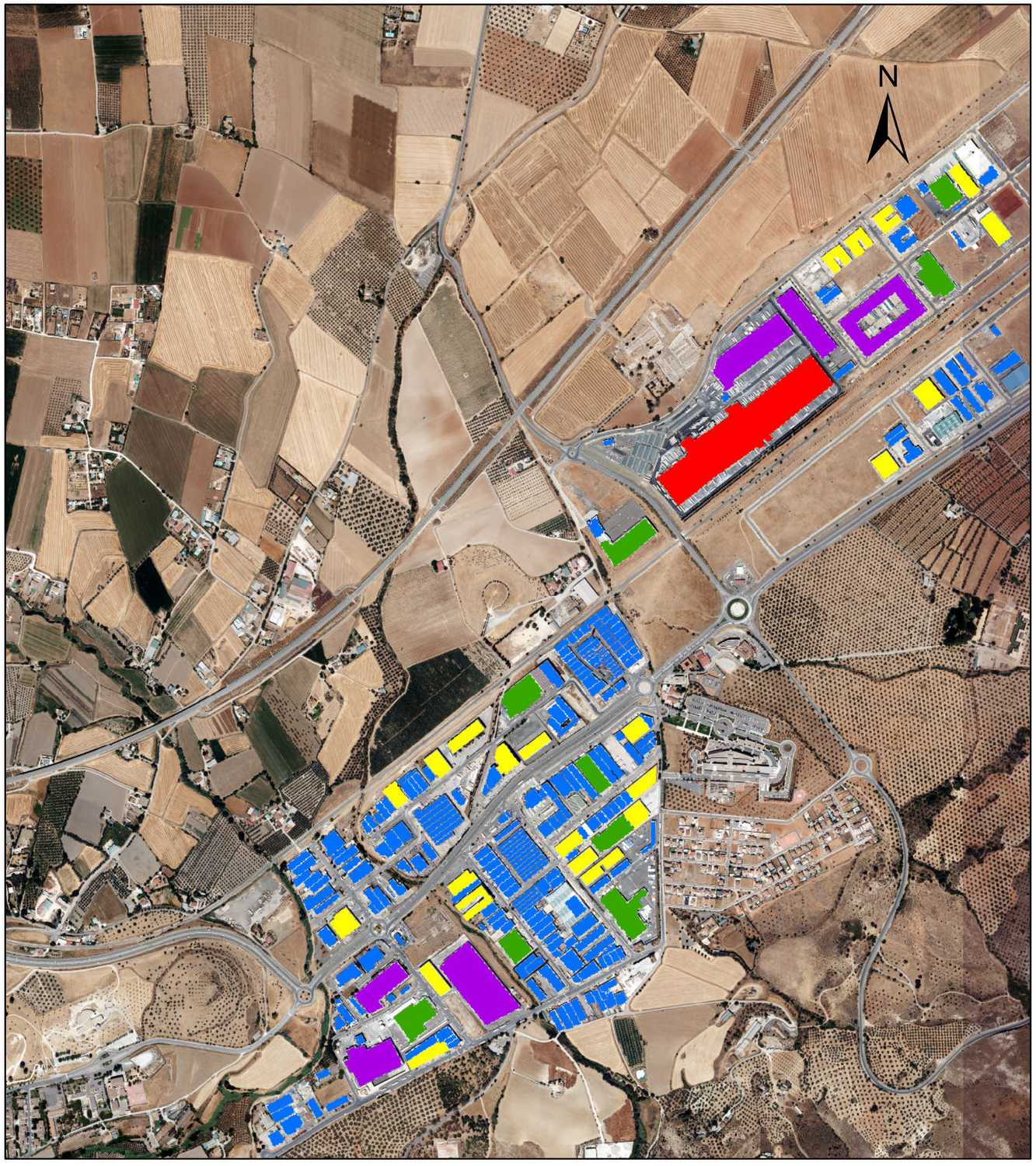


Situación





Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de Potencia instalada con módulos Si-Monocristalinos por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

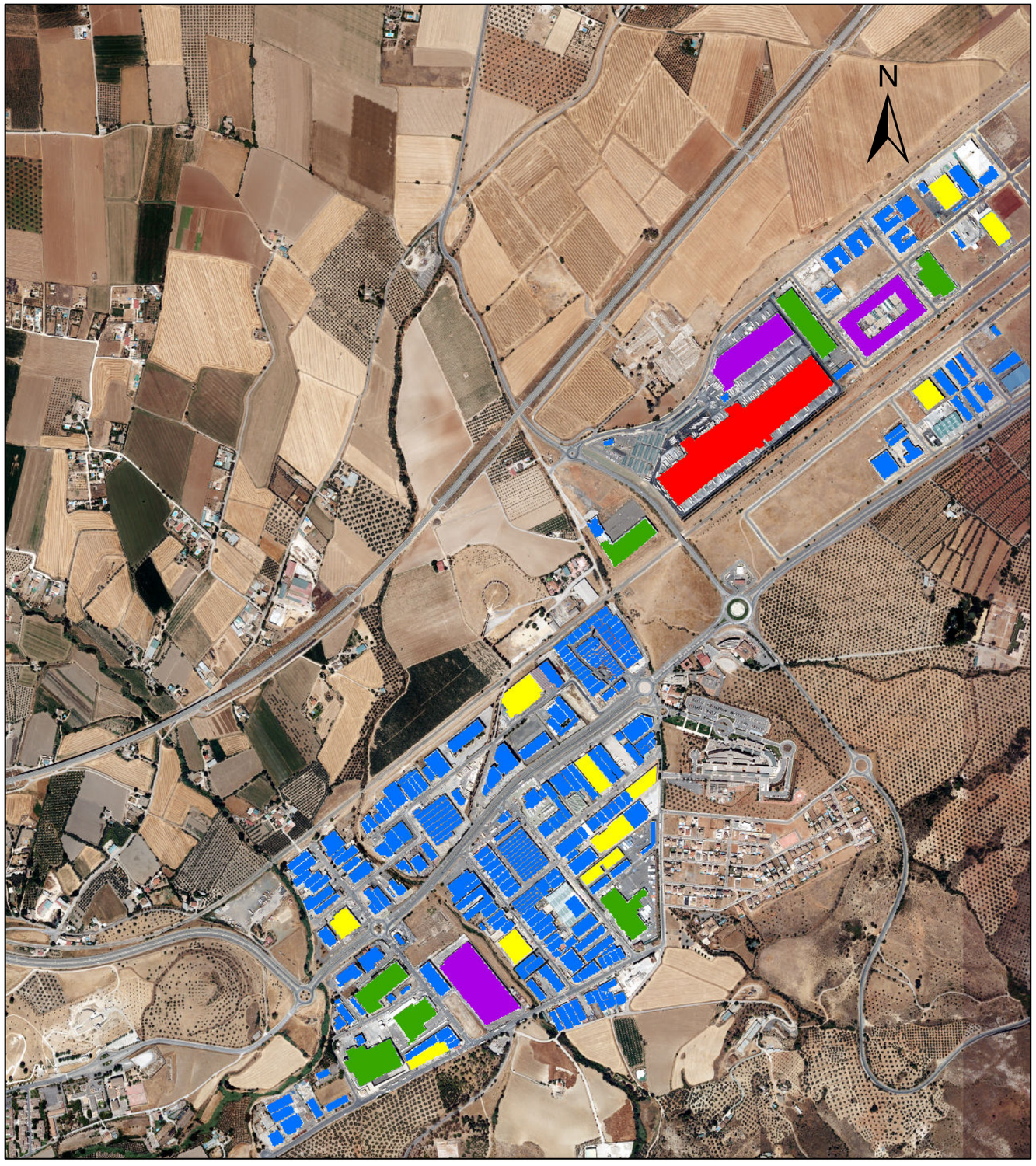


Situación



- 1 - 250 kWp
- 250 - 500 kWp
- 500 - 1.000 kWp
- 1.000 - 2.500 kWp
- 2.500- 5.560 kWp

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de Potencia instalada con módulos Si-Multicristalinos por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

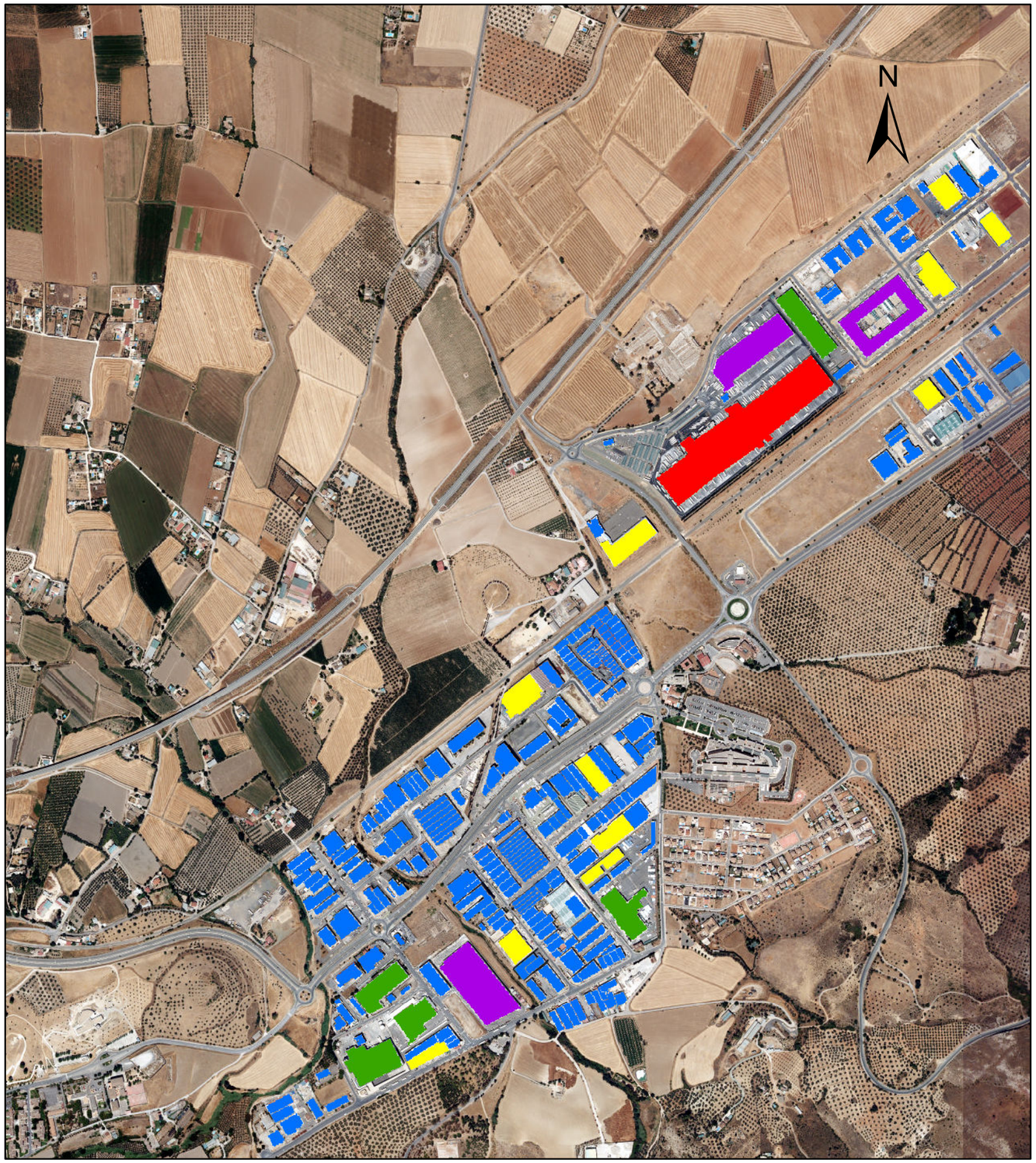


Situación



1 - 250 kWp
250 - 500 kWp
500 - 1.000 kWp
1.000 - 2.500 kWp
2.500 - 5.560 kWp

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de Potencia instalada con módulos CIS por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

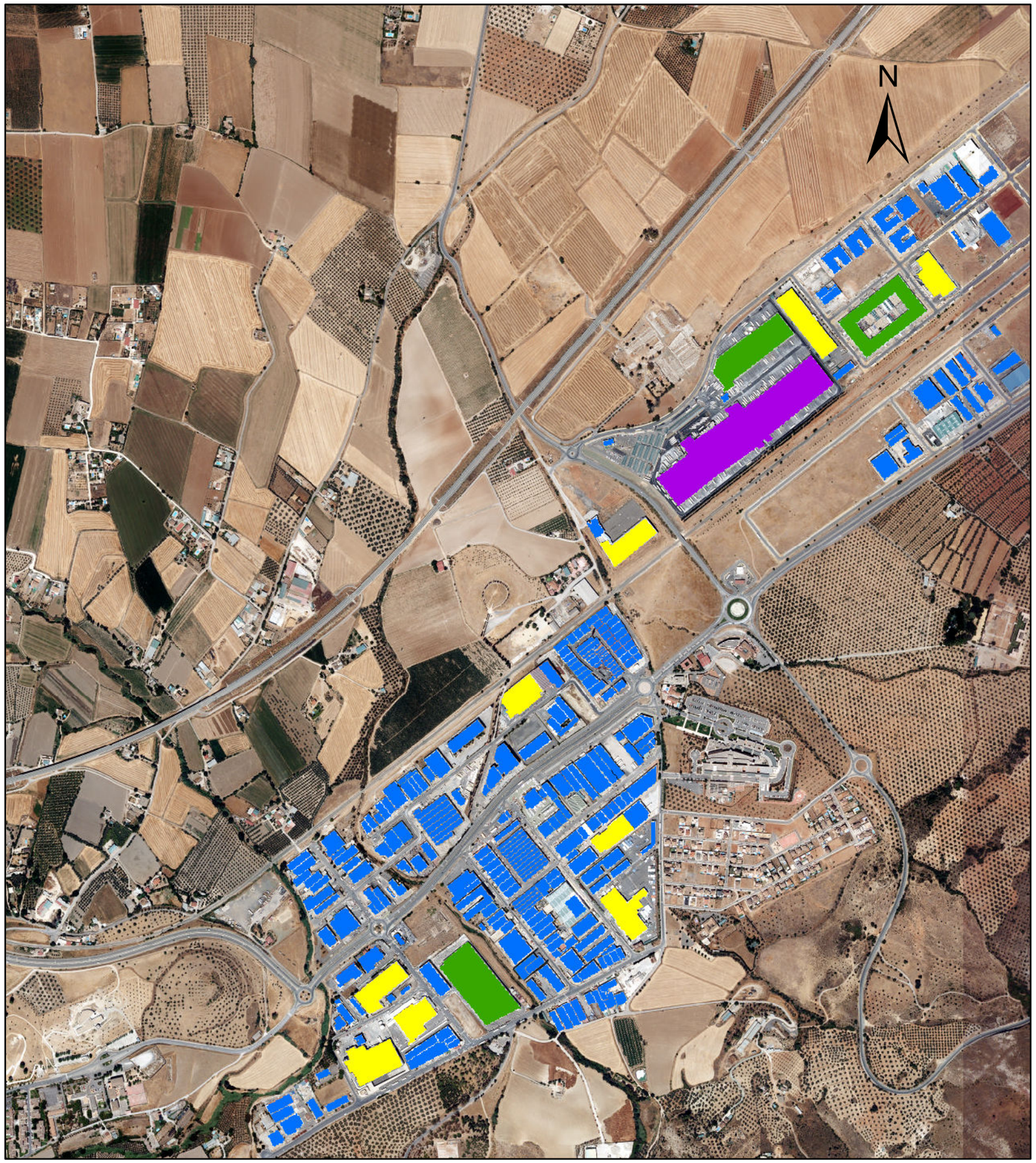


Situación



- 1 - 250 kWp
- 250 - 500 kWp
- 500 - 1.000 kWp
- 1.000- 2.500 kWp
- 2.500 - 5.000 kWp

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		Fecha: 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		DNI: 26302206-G
Título: Mapa de Potencia instalada con módulos Te-Cd por naves en el Polígono de Antequera		Escala: 1:12000



Situación



- 1 - 250 kWp
- 250 - 500 kWp
- 500 - 1.000 kWp
- 1.000 - 2.500 kWp
- 2.500 - 5.000 kWp

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI:* 26302206-G
Título: Mapa de Potencia instalada con módulos Si Amorfo por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000

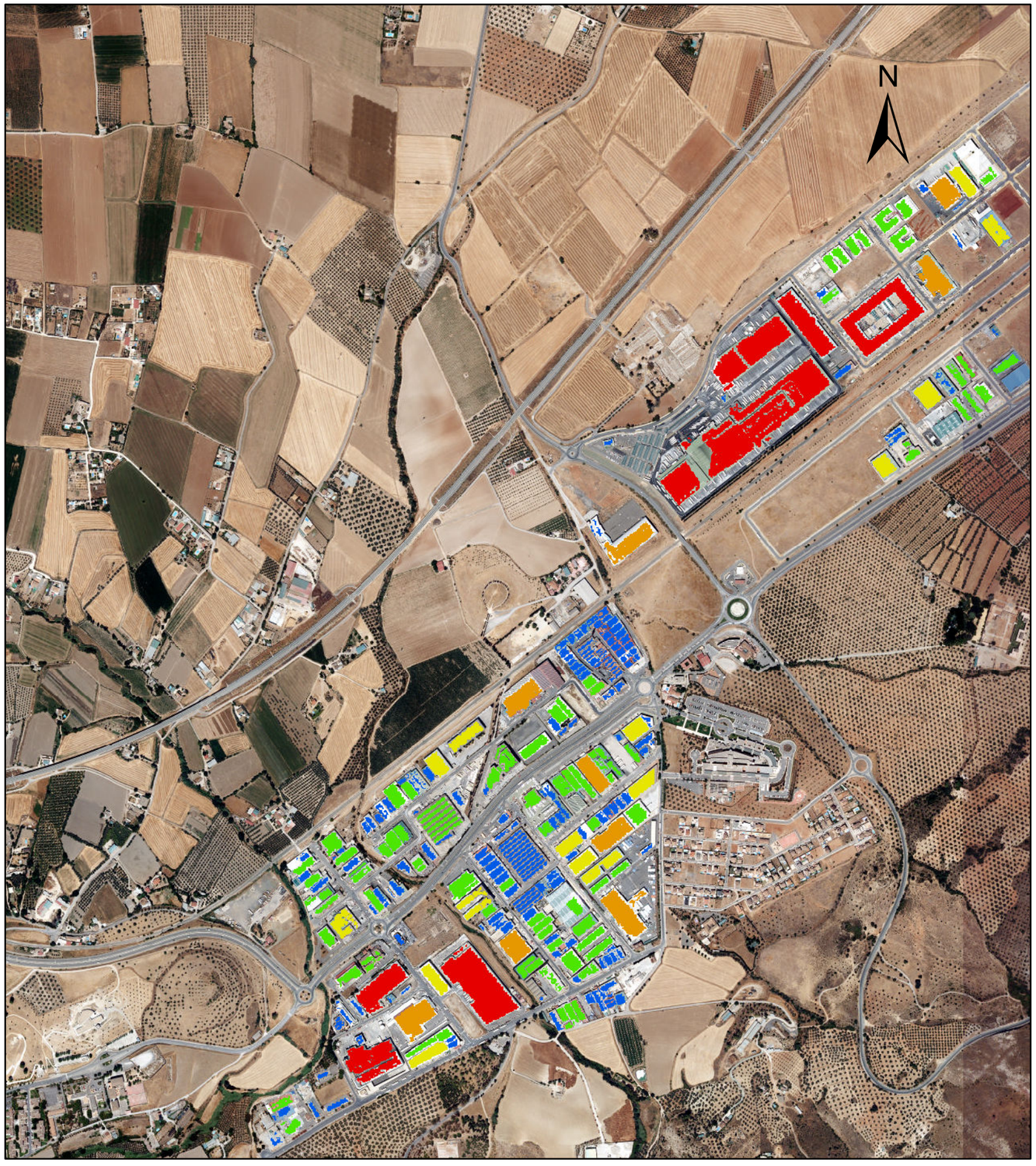


Situación



- 1.000 - 100.000 kWh
- 100.000 - 300.000 kWh
- 300.000 - 500.000 kWh
- 500.000 - 1.000.000 kWh
- 1.000.000 - 6.000.000 kWh

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		Fecha: 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		DNI: 26302206-G
Título: Mapa de Energia producida con módulos Si-monocristalinos por naves en el Polígono de Antequera		Escala: 1:12000



Situación



- 1.000 - 100.000 kWh
- 100.000 - 300.000 kWh
- 300.000 - 500.000 kWh
- 500.000 - 1.000.000 kWh
- 1.000.000 - 6.000.000 kWh

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de Energia producida con módulos Si-Multicristalinos por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



Situación



1.000 - 100.000 kWh
100.000 - 300.000 kWh
300.000 - 500.000 kWh
500.000 - 1.000.000 kWh
1.000.000 - 6.000.000 kWh

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		*Fecha:* 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		*DNI: 26302206-G*
Título: Mapa de Energia producida con módulos CIS por naves en el Polígono de Antequera		*Escala:* 1:12000



Situación



- 1.000 - 100.000 kWh
- 100.000 - 300.000 kWh
- 300.000 - 500.000 kWh
- 500.000 - 1.000.000 kWh
- 1.000.000 - 6.000.000 kWh

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		Fecha: 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		DNI: 26302206-G
Título: Mapa de Energia producida con módulos TeCd por naves en el Polígono de Antequera		Escala: 1:12000



Situación



- 1.000 - 100.000 kWh
- 100.000 - 300.000 kWh
- 300.000 - 500.000 kWh
- 500.000 - 1.000.000 kWh
- 1.000.000 - 6.000.000 kWh

Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos	**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**	**Universidad de Málaga**
		Curso: 2022 / 2023
Asignatura: Trabajo Fin de Grado		Fecha: 03 / 09 / 2023
Apellidos, Nombre: Maqueda García, Pablo		DNI: 26302206-G
Título: Mapa de Energia producida con módulos Si Amorfo por naves en el Polígono de Antequera		Escala: 1:12000

ANEXO II

Posición solar para el cálculo de mapas de sombras

Solar Geometry 2
Fast and accurate Solar Position Algorithm
MINES ParisTech / ARMINES
The research leading to these results of the ENDORSE project that has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under Grant Agreement no. 262892 (www.endorse-fp7.eu)
#
JDUT: universal julian date (day)
YYYY: year
MM: month of the year
DD: day of the month
H: hour of the day (decimal hour)
DOY: day of the year
DELTA: topocentric declination (radian)
OMEGA: topocentric hour angle (radian)
GAMMA_S0: topocentric Sun elevation angle without refraction correction (radian)
ALPHA_S: topocentric Sun azimuth angle Eastward from North (radian)
R: Sun-Earth Radius (ua)
#
latitude: 37.028280 longitude: -4.532390

# JDUT	YYYY	MM	DD	H	DOY	Elevación (º)	Azimut (º)
245.960.091.666.667	2022	1	21	100.000	21	23,09641497	141,6649804
245.960.095.833.333	2022	1	21	110.000	21	29,33721315	155,7787844
245.960.100.000.000	2022	1	21	120.000	21	32,70508199	171,7766756
245.960.104.166.667	2022	1	21	130.000	21	32,68003012	188,5516571
245.960.108.333.333	2022	1	21	140.000	21	29,2663489	204,5303239
245.960.112.500.000	2022	1	21	150.000	21	22,98966716	218,6177667
245.960.116.666.667	2022	1	21	160.000	21	14,57995135	230,5955809
245.963.191.666.667	2022	2	21	100.000	52	30,62705249	135,381895
245.963.195.833.333	2022	2	21	110.000	52	37,83818794	150,9845534
245.963.200.000.000	2022	2	21	120.000	52	41,92408652	169,4996289
245.963.204.166.667	2022	2	21	130.000	52	42,05618708	189,3902694
245.963.208.333.333	2022	2	21	140.000	52	38,20399066	208,0602586
245.963.212.500.000	2022	2	21	150.000	52	31,16249885	223,8656143
245.963.216.666.667	2022	2	21	160.000	52	21,94781597	236,7757755
245.965.991.666.667	2022	3	21	100.000	80	40,26423322	129,0676254
245.965.995.833.333	2022	3	21	110.000	80	48,33155814	146,833651
245.966.000.000.000	2022	3	21	120.000	80	52,84388013	169,4912756
245.966.004.166.667	2022	3	21	130.000	80	52,45562046	194,3369931
245.966.008.333.333	2022	3	21	140.000	80	47,30412021	216,322423
245.966.012.500.000	2022	3	21	150.000	80	38,84380607	233,3702722
245.966.016.666.667	2022	3	21	160.000	80	28,48639837	246,4623488
245.969.091.666.667	2022	4	21	100.000	111	50,38131379	120,3647775
245.969.095.833.333	2022	4	21	110.000	111	59,55322596	140,5491181
245.969.100.000.000	2022	4	21	120.000	111	64,63626298	170,3439302
245.969.104.166.667	2022	4	21	130.000	111	63,1268771	203,9040265
245.969.108.333.333	2022	4	21	140.000	111	55,90565064	229,4066606
245.969.112.500.000	2022	4	21	150.000	111	45,74950427	246,3340822

245.969.116.666.667	2022	4	21	160.000	111	34,34597396	258,4679954
245.972.091.666.667	2022	5	21	100.000	141	56,25297801	110,4679865
245.972.095.833.333	2022	5	21	110.000	141	66,61257582	130,7700966
245.972.100.000.000	2022	5	21	120.000	141	72,90547053	168,1571772
245.972.104.166.667	2022	5	21	130.000	141	70,53737117	213,5315279
245.972.108.333.333	2022	5	21	140.000	141	61,62428802	241,0500965
245.972.112.500.000	2022	5	21	150.000	141	50,45272635	256,5738711
245.972.116.666.667	2022	5	21	160.000	141	38,61095202	267,3056756
245.975.191.666.667	2022	6	21	100.000	172	57,10230041	104,4082082
245.975.195.833.333	2022	6	21	110.000	172	68,10711339	122,749167
245.975.200.000.000	2022	6	21	120.000	172	75,74836467	161,0902263
245.975.204.166.667	2022	6	21	130.000	172	73,91436261	215,1395307
245.975.208.333.333	2022	6	21	140.000	172	64,59895299	244,7185518
245.975.212.500.000	2022	6	21	150.000	172	53,18549687	259,8413461
245.975.216.666.667	2022	6	21	160.000	172	41,2698592	270,0493552
245.978.191.666.667	2022	7	21	100.000	202	54,5200545	107,757777
245.978.195.833.333	2022	7	21	110.000	202	65,21762705	126,2369301
245.978.200.000.000	2022	7	21	120.000	202	72,544296	160,4529603
245.978.204.166.667	2022	7	21	130.000	202	71,676747	207,3092325
245.978.208.333.333	2022	7	21	140.000	202	63,41342612	237,8756238
245.978.212.500.000	2022	7	21	150.000	202	52,42664119	254,6465167
245.978.216.666.667	2022	7	21	160.000	202	40,62916803	265,8478933
245.981.291.666.667	2022	8	21	100.000	233	49,69967218	119,027508
245.981.295.833.333	2022	8	21	110.000	233	59,06230524	138,6356393
245.981.300.000.000	2022	8	21	120.000	233	64,53923171	167,812891
245.981.304.166.667	2022	8	21	130.000	233	63,51225263	201,6368644
245.981.308.333.333	2022	8	21	140.000	233	56,58425969	227,8779773
245.981.312.500.000	2022	8	21	150.000	233	46,5503646	245,2739754
245.981.316.666.667	2022	8	21	160.000	233	35,18902341	257,6331448
245.984.391.666.667	2022	9	21	100.000	264	42,65396905	132,5464412
245.984.395.833.333	2022	9	21	110.000	264	50,04186299	151,5665197
245.984.400.000.000	2022	9	21	120.000	264	53,4785911	175,2876771
245.984.404.166.667	2022	9	21	130.000	264	51,8491986	200,0064233
245.984.408.333.333	2022	9	21	140.000	264	45,72006988	220,9053507
245.984.412.500.000	2022	9	21	150.000	264	36,66077627	236,8755494
245.984.416.666.667	2022	9	21	160.000	264	25,96981818	249,2413908
245.987.391.666.667	2022	10	21	100.000	294	34,19489455	142,6795135
245.987.395.833.333	2022	10	21	110.000	294	39,97564761	159,7144207
245.987.400.000.000	2022	10	21	120.000	294	42,17829413	179,0868738
245.987.404.166.667	2022	10	21	130.000	294	40,31298791	198,570586
245.987.408.333.333	2022	10	21	140.000	294	34,79862028	215,849055
245.987.412.500.000	2022	10	21	150.000	294	26,60438408	230,1245452
245.987.416.666.667	2022	10	21	160.000	294	16,66251873	241,8455236
245.990.491.666.667	2022	11	21	100.000	325	25,96655501	147,4306044
245.990.495.833.333	2022	11	21	110.000	325	31,05005777	162,4072308
245.990.500.000.000	2022	11	21	120.000	325	32,99574331	178,8868958
245.990.504.166.667	2022	11	21	130.000	325	31,48359167	195,4679457
245.990.508.333.333	2022	11	21	140.000	325	26,76552526	210,6854435
245.990.512.500.000	2022	11	21	150.000	325	19,49557836	223,8275035
245.990.516.666.667	2022	11	21	160.000	325	10,39183909	234,9713846

245.993.491.666.667	2022	12	21	100.000	355	21,55922202	146,4886364
245.993.495.833.333	2022	12	21	110.000	355	26,92690108	160,3879441
245.993.500.000.000	2022	12	21	120.000	355	29,41212939	175,7429833
245.993.504.166.667	2022	12	21	130.000	355	28,65685593	191,4594225
245.993.508.333.333	2022	12	21	140.000	355	24,77541174	206,2419279
245.993.512.500.000	2022	12	21	150.000	355	18,28282669	219,2875938
245.993.516.666.667	2022	12	21	160.000	355	9,827061732	230,4799373

ANEXO III

Resumen de resultados

FID	AREA DISPONIBLE (m^2)	AREA UTIL (m^2)	P_SI_MONO (kWp)	P_SI_MULT (kWp)	P_CIS (kWp)	P_TECD (kWp)	P_SI_AMOR (kWp)	E_SI_MONO (kWp)	E_SI_MULTI (kWp)	E_CIS (kWp)	E_TECD (kWp)	E_SI_AMORF (kWp)
0	781	506	81	75,94	55,69	53,16	30,38	83292,13	78086,37	57263,34	54660,46	31234,55
1	1073	775	124	116,25	85,25	81,38	46,50	125242,70	117415,10	86104,37	82190,53	46966,02
2	1096	844	135	126,56	92,81	88,59	50,63	134324,60	125929,30	92348,16	88150,52	50371,73
3	1039	769	123	115,31	84,56	80,72	46,13	124497,30	116716,20	85591,88	81701,34	46686,48
4	525	431	69	64,69	47,44	45,28	25,88	68350,30	64078,41	46990,83	44854,89	25631,36
5	801	625	100	93,75	68,75	65,63	37,50	100897,70	94591,56	69367,15	66214,09	37836,63
6	970	338	54	50,63	37,13	35,44	20,25	54252,38	50861,61	37298,51	35603,13	20344,64
7	1762	869	139	130,31	95,56	91,22	52,13	142251,50	133360,80	97797,95	93352,58	53344,33
8	1229	550	88	82,50	60,50	57,75	33,00	92119,03	86361,60	63331,84	60453,11	34544,64
9	1543	863	138	129,38	94,88	90,56	51,75	140821,00	132019,70	96814,41	92413,75	52807,86
10	934	375	60	56,25	41,25	39,38	22,50	63270,19	59315,80	43498,25	41521,06	23726,32
12	1011	594	95	89,06	65,31	62,34	35,63	98785,13	92611,07	67914,78	64827,75	37044,43
13	532	269	43	40,31	29,56	28,22	16,13	44895,83	42089,84	30865,88	29462,89	16835,94
14	9908	7850	1256	1177,50	863,50	824,25	471,00	1276781,0	1196982,0	877786,80	837887,30	478792,80
15	407	250	40	37,50	27,50	26,25	15,00	39928,25	37432,73	27450,67	26202,91	14973,09
16	670	444	71	66,56	48,81	46,59	26,63	72269,23	67752,41	49685,09	47426,68	27100,96
17	928	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	51345,01	48135,95	35299,70	33695,16	19254,38
18	153	50	8	7,50	5,50	5,25	3,00	8186,04	7674,42	5627,91	5372,09	3069,77
19	580	381	61	57,19	41,94	40,03	22,88	63998,83	59998,91	43999,20	41999,23	23999,56
20	7337	6681	1069	1002,19	734,94	701,53	400,88	1077403,0	1010066,0	740714,70	707045,80	404026,20
21	1823	1200	192	180,00	132,00	126,00	72,00	199108,30	186664,00	136886,90	130664,80	74665,60
22	235	106	17	15,94	11,69	11,16	6,38	18265,59	17123,99	12557,59	11986,79	6849,60
23	260	75	12	11,25	8,25	7,88	4,50	12453,55	11675,21	8561,82	8172,65	4670,08
24	2731	2125	340	318,75	233,75	223,13	127,50	340930,20	319622,10	234389,50	223735,40	127848,80
25	19369	16538	2646	2480,63	1819,1	1736,4	992,25	2694327,0	2525932,0	1852350,0	1768152,0	1010373,00
26	1008	50	8	7,50	5,50	5,25	3,00	8558,41	8023,51	5883,91	5616,46	3209,40
27	1778	769	123	115,31	84,56	80,72	46,13	113745,60	106636,50	78200,11	74645,55	42654,61
28	1198	925	148	138,75	101,75	97,13	55,50	150733,30	141312,50	103629,20	98918,75	56525,00
29	926	719	115	107,81	79,06	75,47	43,13	116945,40	109636,30	80399,95	76745,41	43854,52
30	3834	3500	560	525,00	385,00	367,50	210,00	568494,20	532963,40	390839,80	373074,30	213185,30
31	289	231	37	34,69	25,44	24,28	13,88	39035,64	36595,91	26837,00	25617,14	14638,37
32	1282	856	137	128,44	94,19	89,91	51,38	134691,90	126273,60	92600,66	88391,54	50509,45
33	3736	3544	567	531,56	389,81	372,09	212,63	573334,00	537500,60	394167,10	376250,40	215000,30
34	2052	1631	261	244,69	179,44	171,28	97,88	261773,10	245412,30	179969,00	171788,60	98164,92
35	844	631	101	94,69	69,44	66,28	37,88	103491,50	97023,27	71150,40	67916,29	38809,31
37	3314	2406	385	360,94	264,69	252,66	144,38	388619,00	364330,30	267175,60	255031,20	145732,10

38	1301	694	111	104,06	76,31	72,84	41,63	107264,90	100560,80	73744,61	70392,58	40224,33
39	9129	7594	1215	1139,06	835,31	797,34	455,63	1238472,00	1161068,00	851449,60	812747,30	464427,00
40	905	563	90	84,38	61,88	59,06	33,75	93949,69	88077,84	64590,41	61654,48	35231,13
41	1612	1213	194	181,88	133,38	127,31	72,75	197246,00	184918,10	135606,60	129442,70	73967,25
43	1624	919	147	137,81	101,06	96,47	55,13	150079,40	140699,50	103179,60	98489,60	56279,77
44	1120	763	122	114,38	83,88	80,06	45,75	119976,80	112478,20	82484,02	78734,74	44991,28
45	1423	1000	160	150,00	110,00	105,00	60,00	162492,00	152336,30	111713,30	106635,40	60934,52
46	1259	794	127	119,06	87,31	83,34	47,63	130341,60	122195,30	89609,87	85536,69	48878,11
47	1255	800	128	120,00	88,00	84,00	48,00	131823,00	123584,10	90628,31	86508,84	49433,63
49	3212	2788	446	418,13	306,63	292,69	167,25	454552,00	426142,50	312504,50	298299,80	170457,00
50	1642	506	81	75,94	55,69	53,16	30,38	76712,93	71918,38	52740,14	50342,86	28767,35
51	336	119	19	17,81	13,06	12,47	7,13	19976,49	18727,96	13733,84	13109,58	7491,19
52	2273	1663	266	249,38	182,88	174,56	99,75	270383,90	253484,90	185888,90	177439,40	101394,00
53	2428	1706	273	255,94	187,69	179,16	102,38	277768,70	260408,20	190966,00	182285,70	104163,30
54	2078	1081	173	162,19	118,94	113,53	64,88	175086,30	164143,40	120371,80	114900,40	65657,36
55	2711	1688	270	253,13	185,63	177,19	101,25	272531,20	255498,00	187365,20	178848,60	102199,20
56	2439	1738	278	260,63	191,13	182,44	104,25	280363,50	262840,80	192749,90	183988,50	105136,30
57	710	525	84	78,75	57,75	55,13	31,50	85937,38	80566,30	59081,95	56396,40	32226,52
58	485	294	47	44,06	32,31	30,84	17,63	48861,55	45807,70	33592,31	32065,39	18323,08
59	4005	3444	551	516,56	378,81	361,59	206,63	563933,90	528688,10	387704,60	370081,60	211475,20
60	2856	2194	351	329,06	241,31	230,34	131,63	360156,20	337646,50	247607,40	236352,50	135058,60
61	15328	13000	2080	1950,00	1430,00	1365,00	780,00	2113550,00	1981453,00	1453065,00	1387017,00	792581,10
62	5861	4744	759	711,56	521,81	498,09	284,63	767336,10	719377,60	527543,60	503564,30	287751,00
63	492	213	34	31,88	23,38	22,31	12,75	34860,26	32681,50	23966,43	22877,04	13072,60
64	320	106	17	15,94	11,69	11,16	6,38	17317,30	16234,97	11905,65	11364,48	6493,99
66	625	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	51268,91	48064,61	35247,38	33645,22	19225,84
67	964	675	108	101,25	74,25	70,88	40,50	109473,10	102631,10	75262,77	71841,73	41052,42
68	14893	12806	2049	1920,94	1408,69	1344,66	768,38	2078694,00	1948775,00	1429102,00	1364143,00	779510,10
69	297	113	18	16,88	12,38	11,81	6,75	18428,29	17276,52	12669,45	12093,57	6910,61
70	48872	34750	5560	5212,50	3822,50	3648,75	2085,00	5604216,00	5253953,00	3852899,00	3677767,00	2101581,00
71	290	181	29	27,19	19,94	19,03	10,88	30670,29	28753,40	21085,83	20127,38	11501,36
72	696	375	60	56,25	41,25	39,38	22,50	61372,67	57536,88	42193,71	40275,82	23014,75
73	746	425	68	63,75	46,75	44,63	25,50	67606,24	63380,86	46479,29	44366,59	25352,34
74	1444	881	141	132,19	96,94	92,53	52,88	141852,90	132987,10	97523,85	93090,95	53194,83
75	2642	2038	326	305,63	224,13	213,94	122,25	330278,70	309636,30	227066,60	216745,40	123854,50
76	6727	4688	750	703,13	515,63	492,19	281,25	763055,30	715364,40	524600,60	500755,10	286145,80
77	1137	331	53	49,69	36,44	34,78	19,88	53265,62	49936,52	36620,11	34955,56	19974,61
78	3221	2294	367	344,06	252,31	240,84	137,63	363092,50	340399,20	249626,10	238279,40	136159,70
79	1277	1050	168	157,50	115,50	110,25	63,00	171332,80	160624,50	117791,30	112437,20	64249,81

80	996	719	115	107,81	79,06	75,47	43,13	119870,70	112378,80	82411,13	78665,17	44951,53
81	1880	863	138	129,38	94,88	90,56	51,75	141524,40	132679,10	97298,01	92875,37	53071,64
82	871	631	101	94,69	69,44	66,28	37,88	104486,70	97956,33	71834,63	68569,42	39182,53
83	937	769	123	115,31	84,56	80,72	46,13	125247,50	117419,60	86107,67	82193,68	46967,82
84	850	475	76	71,25	52,25	49,88	28,50	77934,40	73063,50	53579,90	51144,45	29225,40
85	1197	913	146	136,88	100,38	95,81	54,75	148536,40	139252,90	102118,80	97477,03	55701,16
86	1107	325	52	48,75	35,75	34,13	19,50	53277,84	49947,98	36628,51	34963,58	19979,19
87	1257	1094	175	164,06	120,31	114,84	65,63	177269,30	166190,00	121872,60	116333,00	66475,98
88	405	188	30	28,13	20,63	19,69	11,25	30233,25	28343,68	20785,36	19840,57	11337,47
89	1696	1000	160	150,00	110,00	105,00	60,00	158763,20	148840,50	109149,70	104188,40	59536,20
90	339	213	34	31,88	23,38	22,31	12,75	35083,87	32891,13	24120,16	23023,79	13156,45
91	1152	1044	167	156,56	114,81	109,59	62,63	169305,80	158724,20	116397,80	111107,00	63489,69
92	870	581	93	87,19	63,94	61,03	34,88	96514,99	90482,81	66354,05	63337,96	36193,12
93	104	63	10	9,38	6,88	6,56	3,75	9991,53	9367,06	6869,18	6556,94	3746,83
94	875	606	97	90,94	66,69	63,66	36,38	100213,50	93950,12	68896,75	65765,08	37580,04
95	691	494	79	74,06	54,31	51,84	29,63	80473,83	75444,22	55325,76	52810,95	30177,69
96	1058	650	104	97,50	71,50	68,25	39,00	107666,10	100936,90	74020,41	70655,85	40374,77
97	900	613	98	91,88	67,38	64,31	36,75	100748,40	94451,59	69264,49	66116,10	37780,63
98	1357	938	150	140,63	103,13	98,44	56,25	154116,10	144483,90	105954,80	101138,70	57793,54
99	1469	1338	214	200,63	147,13	140,44	80,25	217860,20	204243,90	149778,90	142970,70	81697,56
100	973	750	120	112,50	82,50	78,75	45,00	121911,50	114292,10	83814,19	80004,45	45716,83
101	578	350	56	52,50	38,50	36,75	21,00	58005,71	54380,35	39878,93	38066,25	21752,14
102	463	363	58	54,38	39,88	38,06	21,75	57723,69	54115,96	39685,04	37881,17	21646,38
103	401	325	52	48,75	35,75	34,13	19,50	52995,38	49683,17	36434,32	34778,21	19873,27
104	807	413	66	61,88	45,38	43,31	24,75	64281,48	60263,89	44193,52	42184,72	24105,55
105	704	550	88	82,50	60,50	57,75	33,00	88428,80	82902,01	60794,80	58031,40	33160,80
106	2184	1756	281	263,44	193,19	184,41	105,38	287694,60	269713,70	197790,00	188799,60	107885,50
107	1032	950	152	142,50	104,50	99,75	57,00	154622,10	144958,20	106302,70	101470,70	57983,28
108	251	188	30	28,13	20,63	19,69	11,25	30654,56	28738,65	21075,01	20117,06	11495,46
109	531	231	37	34,69	25,44	24,28	13,88	36018,04	33766,92	24762,40	23636,84	13506,77
110	831	263	42	39,38	28,88	27,56	15,75	39102,33	36658,44	26882,85	25660,90	14663,37
111	271	63	10	9,38	6,88	6,56	3,75	9381,22	8794,90	6449,59	6156,43	3517,96
112	622	544	87	81,56	59,81	57,09	32,63	86788,55	81364,27	59667,13	56954,98	32545,71
113	2414	2063	330	309,38	226,88	216,56	123,75	335770,90	314785,30	230842,50	220349,70	125914,10
114	457	306	49	45,94	33,69	32,16	18,38	47909,50	44915,15	32937,78	31440,61	17966,06
115	462	300	48	45,00	33,00	31,50	18,00	49538,30	46442,16	34057,58	32509,51	18576,86
116	279	169	27	25,31	18,56	17,72	10,13	27729,93	25996,81	19064,32	18197,76	10398,72
117	306	225	36	33,75	24,75	23,63	13,50	36747,57	34450,85	25263,95	24115,59	13780,34
118	401	344	55	51,56	37,81	36,09	20,63	54818,02	51391,90	37687,39	35974,33	20556,76

119	428	325	52	48,75	35,75	34,13	19,50	52844,40	49541,63	36330,52	34679,14	19816,65
120	481	344	55	51,56	37,81	36,09	20,63	55119,08	51674,14	37894,37	36171,90	20669,66
121	399	344	55	51,56	37,81	36,09	20,63	56161,54	52651,45	38611,06	36856,01	21060,58
122	355	319	51	47,81	35,06	33,47	19,13	51837,50	48597,66	35638,28	34018,36	19439,06
123	436	156	25	23,44	17,19	16,41	9,38	25279,27	23699,31	17379,50	16589,52	9479,73
124	336	288	46	43,13	31,63	30,19	17,25	46250,34	43359,70	31797,11	30351,79	17343,88
125	354	306	49	45,94	33,69	32,16	18,38	49773,26	46662,44	34219,12	32663,70	18664,97
126	563	456	73	68,44	50,19	47,91	27,38	73832,92	69218,37	50760,13	48452,85	27687,34
127	594	500	80	75,00	55,00	52,50	30,00	81712,91	76605,86	56177,63	53624,10	30642,34
128	528	444	71	66,56	48,81	46,59	26,63	73339,74	68756,01	50421,07	48129,20	27502,40
129	362	263	42	39,38	28,88	27,56	15,75	40977,44	38416,36	28171,99	26891,45	15366,54
130	554	375	60	56,25	41,25	39,38	22,50	59187,54	55488,32	40691,44	38841,82	22195,33
131	514	356	57	53,44	39,19	37,41	21,38	55603,65	52128,42	38227,51	36489,89	20851,37
132	445	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	50732,31	47561,54	34878,46	33293,08	19024,62
133	437	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	49276,55	46196,77	33877,63	32337,74	18478,71
134	438	331	53	49,69	36,44	34,78	19,88	51966,18	48718,29	35726,75	34102,80	19487,32
135	589	425	68	63,75	46,75	44,63	25,50	67518,87	63298,95	46419,22	44309,26	25319,58
136	529	413	66	61,88	45,38	43,31	24,75	67927,09	63681,65	46699,88	44577,15	25472,66
137	281	181	29	27,19	19,94	19,03	10,88	30084,69	28204,39	20683,22	19743,08	11281,76
138	471	375	60	56,25	41,25	39,38	22,50	62609,68	58696,58	43044,16	41087,60	23478,63
139	361	256	41	38,44	28,19	26,91	15,38	41828,34	39214,07	28756,99	27449,85	15685,63
140	402	338	54	50,63	37,13	35,44	20,25	56066,86	52562,69	38545,97	36793,88	21025,07
141	463	388	62	58,13	42,63	40,69	23,25	61771,98	57911,23	42468,24	40537,86	23164,49
142	874	700	112	105,00	77,00	73,50	42,00	115555,80	108333,60	79444,62	75833,49	43333,43
143	835	681	109	102,19	74,94	71,53	40,88	110416,90	103515,80	75911,59	72461,07	41406,32
144	479	300	48	45,00	33,00	31,50	18,00	47888,54	44895,51	32923,37	31426,85	17958,20
145	618	344	55	51,56	37,81	36,09	20,63	54913,39	51481,30	37752,95	36036,91	20592,52
146	587	306	49	45,94	33,69	32,16	18,38	51440,50	48225,47	35365,34	33757,83	19290,19
147	697	244	39	36,56	26,81	25,59	14,63	40402,52	37877,36	27776,73	26514,15	15150,94
148	139	106	17	15,94	11,69	11,16	6,38	15927,31	14931,86	10950,03	10452,30	5972,74
149	231	163	26	24,38	17,88	17,06	9,75	26488,86	24833,31	18211,09	17383,32	9933,32
150	207	100	16	15,00	11,00	10,50	6,00	16901,12	15844,80	11619,52	11091,36	6337,92
151	211	113	18	16,88	12,38	11,81	6,75	18907,07	17725,38	12998,61	12407,76	7090,15
152	198	113	18	16,88	12,38	11,81	6,75	18933,02	17749,71	13016,45	12424,79	7099,88
153	233	144	23	21,56	15,81	15,09	8,63	23708,86	22227,05	16299,84	15558,94	8890,82
154	204	113	18	16,88	12,38	11,81	6,75	19109,41	17915,07	13137,72	12540,55	7166,03
155	191	150	24	22,50	16,50	15,75	9,00	25042,98	23477,80	17217,05	16434,46	9391,12
156	90	44	7	6,56	4,81	4,59	2,63	6766,26	6343,37	4651,81	4440,36	2537,35
157	119	81	13	12,19	8,94	8,53	4,88	13457,83	12616,72	9252,26	8831,70	5046,69

158	80	50	8	7,50	5,50	5,25	3,00	7712,29	7230,27	5302,20	5061,19	2892,11
159	121	75	12	11,25	8,25	7,88	4,50	12450,72	11672,55	8559,87	8170,79	4669,02
160	106	13	2	1,88	1,38	1,31	0,75	1901,76	1782,90	1307,46	1248,03	713,16
161	444	356	57	53,44	39,19	37,41	21,38	58656,37	54990,35	40326,25	38493,24	21996,14
162	237	194	31	29,06	21,31	20,34	11,63	30500,46	28594,19	20969,07	20015,93	11437,67
163	186	131	21	19,69	14,44	13,78	7,88	21707,91	20351,17	14924,19	14245,82	8140,47
165	2965	2475	396	371,25	272,25	259,88	148,50	405483,90	380141,20	278770,20	266098,80	152056,50
166	878	681	109	102,19	74,94	71,53	40,88	111063,80	104122,30	76356,35	72885,61	41648,92
167	877	688	110	103,13	75,63	72,19	41,25	112380,20	105356,50	77261,40	73749,52	42142,58
168	839	244	39	36,56	26,81	25,59	14,63	41196,66	38621,87	28322,70	27035,31	15448,75
169	7916	6094	975	914,06	670,31	639,84	365,63	991229,60	929277,90	681470,40	650494,40	371711,10
170	2297	1969	315	295,31	216,56	206,72	118,13	322791,40	302617,00	221919,10	211831,90	121046,80
171	443	350	56	52,50	38,50	36,75	21,00	57012,05	53448,80	39195,78	37414,15	21379,52
172	2268	2069	331	310,31	227,56	217,22	124,13	338504,00	317347,50	232721,50	222143,20	126939,00
173	497	344	55	51,56	37,81	36,09	20,63	55825,71	52336,60	38380,17	36635,62	20934,64
175	592	481	77	72,19	52,94	50,53	28,88	77776,23	72915,23	53471,16	51040,66	29166,09
176	579	394	63	59,06	43,31	41,34	23,63	62424,12	58522,61	42916,58	40965,82	23409,04
177	795	694	111	104,06	76,31	72,84	41,63	112778,60	105730,00	77535,32	74010,99	42291,99
178	2686	2300	368	345,00	253,00	241,50	138,00	378447,30	354794,30	260182,50	248356,00	141917,70
179	579	488	78	73,13	53,63	51,19	29,25	79317,25	74359,93	54530,61	52051,95	29743,97
180	563	425	68	63,75	46,75	44,63	25,50	70144,95	65760,89	48224,65	46032,62	26304,35
181	560	469	75	70,31	51,56	49,22	28,13	75122,33	70427,19	51646,60	49299,03	28170,87
182	4586	4169	667	625,31	458,56	437,72	250,13	681252,20	638673,90	468360,90	447071,80	255469,60
183	2480	1744	279	261,56	191,81	183,09	104,63	282419,30	264768,10	194163,30	185337,70	105907,20
184	2892	2256	361	338,44	248,19	236,91	135,38	369050,60	345984,90	253722,30	242189,40	138394,00
185	169	69	11	10,31	7,56	7,22	4,13	10054,48	9426,08	6912,46	6598,25	3770,43
186	1162	681	109	102,19	74,94	71,53	40,88	115234,40	108032,30	79223,66	75622,58	43212,90
187	1156	725	116	108,75	79,75	76,13	43,50	121687,50	114082,10	83660,19	79857,45	45632,83
188	1146	713	114	106,88	78,38	74,81	42,75	119446,00	111980,60	82119,14	78386,45	44792,26
189	1109	706	113	105,94	77,69	74,16	42,38	118255,40	110864,40	81300,56	77605,08	44345,76
190	1126	706	113	105,94	77,69	74,16	42,38	118070,00	110690,60	81173,09	77483,41	44276,23
191	1098	650	104	97,50	71,50	68,25	39,00	111118,90	104174,00	76394,23	72921,77	41669,58
192	421	294	47	44,06	32,31	30,84	17,63	45380,98	42544,67	31199,42	29781,27	17017,87
193	789	469	75	70,31	51,56	49,22	28,13	77363,91	72528,67	53187,69	50770,07	29011,47
194	306	206	33	30,94	22,69	21,66	12,38	33309,71	31227,85	22900,42	21859,49	12491,14
195	1354	1038	166	155,63	114,13	108,94	62,25	170598,30	159936,00	117286,40	111955,20	63974,38
196	1669	1313	210	196,88	144,38	137,81	78,75	212549,80	199265,40	146128,00	139485,80	79706,16
197	1688	1363	218	204,38	149,88	143,06	81,75	223283,40	209328,20	153507,30	146529,70	83731,27
198	373	231	37	34,69	25,44	24,28	13,88	37442,50	35102,34	25741,72	24571,64	14040,94

199	429	375	60	56,25	41,25	39,38	22,50	60701,95	56908,08	41732,59	39835,66	22763,23
200	451	288	46	43,13	31,63	30,19	17,25	46823,15	43896,71	32190,92	30727,69	17558,68
201	363	206	33	30,94	22,69	21,66	12,38	33440,77	31350,72	22990,53	21945,51	12540,29
202	352	175	28	26,25	19,25	18,38	10,50	25077,25	23509,93	17240,61	16456,95	9403,97
203	2208	1775	284	266,25	195,25	186,38	106,50	286739,00	268817,90	197133,10	188172,50	107527,10
204	2865	1681	269	252,19	184,94	176,53	100,88	266166,30	249530,90	182989,30	174671,60	99812,34
205	670	381	61	57,19	41,94	40,03	22,88	60277,53	56510,18	41440,80	39557,13	22604,07
206	693	556	89	83,44	61,19	58,41	33,38	86084,17	80703,91	59182,87	56492,73	32281,56
207	1050	719	115	107,81	79,06	75,47	43,13	116994,20	109682,10	80433,50	76777,43	43872,82
208	1358	1206	193	180,94	132,69	126,66	72,38	195378,60	183167,50	134322,80	128217,20	73266,98
211	6195	4206	673	630,94	462,69	441,66	252,38	684384,40	641610,40	470514,30	449127,30	256644,20
212	642	469	75	70,31	51,56	49,22	28,13	78694,66	73776,24	54102,57	51643,37	29510,50
213	625	475	76	71,25	52,25	49,88	28,50	76746,23	71949,60	52763,04	50364,71	28779,84
214	614	488	78	73,13	53,63	51,19	29,25	76847,73	72044,75	52832,81	50431,32	28817,90
215	702	563	90	84,38	61,88	59,06	33,75	89051,04	83485,36	61222,59	58439,75	33394,14
216	679	538	86	80,63	59,13	56,44	32,25	86219,78	80831,05	59276,10	56581,73	32332,42
217	668	506	81	75,94	55,69	53,16	30,38	81622,04	76520,67	56115,15	53564,46	30608,27
218	677	538	86	80,63	59,13	56,44	32,25	86887,80	81457,33	59735,37	57020,12	32582,93
219	652	500	80	75,00	55,00	52,50	30,00	80394,84	75370,16	55271,45	52759,11	30148,06
220	655	506	81	75,94	55,69	53,16	30,38	81329,10	76246,04	55913,76	53372,22	30498,41
221	662	513	82	76,88	56,38	53,81	30,75	82623,60	77459,63	56803,73	54221,74	30983,85
222	585	450	72	67,50	49,50	47,25	27,00	71934,73	67438,80	49455,12	47207,16	26975,52
223	869	463	74	69,38	50,88	48,56	27,75	73959,96	69337,47	50847,48	48536,22	27734,99
224	135	31	5	4,69	3,44	3,28	1,88	4601,76	4314,15	3163,71	3019,90	1725,66
225	438	369	59	55,31	40,56	38,72	22,13	59808,80	56070,75	41118,55	39249,52	22428,30
226	489	231	37	34,69	25,44	24,28	13,88	37087,70	34769,72	25497,80	24338,80	13907,89
227	2387	2231	357	334,69	245,44	234,28	133,88	364943,00	342134,10	250898,30	239493,90	136853,60
228	355	169	27	25,31	18,56	17,72	10,13	27985,28	26236,20	19239,88	18365,34	10494,48
229	1131	663	106	99,38	72,88	69,56	39,75	108442,10	101664,50	74553,96	71165,15	40665,80
230	877	625	100	93,75	68,75	65,63	37,50	96427,48	90400,77	66293,89	63280,53	36160,30
231	116	31	5	4,69	3,44	3,28	1,88	5087,43	4769,46	3497,61	3338,62	1907,78
232	131	31	5	4,69	3,44	3,28	1,88	5098,92	4780,23	3505,50	3346,16	1912,09
233	424	294	47	44,06	32,31	30,84	17,63	46577,09	43666,02	32021,75	30566,21	17466,41
234	1758	850	136	127,50	93,50	89,25	51,00	137419,50	128830,80	94475,94	90181,57	51532,33
235	1802	888	142	133,13	97,63	93,19	53,25	138454,60	129801,20	95187,51	90860,80	51920,46
236	1773	1469	235	220,31	161,56	154,22	88,13	237985,00	223111,00	163614,70	156177,70	89244,38
237	1158	1013	162	151,88	111,38	106,31	60,75	161661,90	151558,00	111142,50	106090,60	60623,21
239	1804	1438	230	215,63	158,13	150,94	86,25	230669,10	216252,30	158585,00	151376,60	86500,91
241	947	769	123	115,31	84,56	80,72	46,13	124000,10	116250,10	85250,06	81375,05	46500,03

242	595	400	64	60,00	44,00	42,00	24,00	66910,64	62728,73	46001,07	43910,11	25091,49
243	597	419	67	62,81	46,06	43,97	25,13	66824,30	62647,78	45941,70	43853,45	25059,11
244	769	444	71	66,56	48,81	46,59	26,63	71070,13	66628,25	48860,71	46639,77	26651,30
245	813	425	68	63,75	46,75	44,63	25,50	68972,74	64661,95	47418,76	45263,36	25864,78
246	298	119	19	17,81	13,06	12,47	7,13	17421,18	16332,36	11977,06	11432,65	6532,94
247	1439	1144	183	171,56	125,81	120,09	68,63	182006,70	170631,30	125129,60	119441,90	68252,50
248	2194	1919	307	287,81	211,06	201,47	115,13	309131,50	289810,80	212527,90	202867,50	115924,30
249	1195	719	115	107,81	79,06	75,47	43,13	107208,90	100508,40	73706,13	70355,85	40203,34
250	3051	2213	354	331,88	243,38	232,31	132,75	354156,30	332021,60	243482,50	232415,10	132808,60
251	819	656	105	98,44	72,19	68,91	39,38	107387,20	100675,50	73828,73	70472,88	40270,21
252	685	506	81	75,94	55,69	53,16	30,38	83227,52	78025,80	57218,92	54618,06	31210,32
253	780	556	89	83,44	61,19	58,41	33,38	88266,52	82749,86	60683,23	57924,90	33099,94
254	772	638	102	95,63	70,13	66,94	38,25	102431,60	96029,63	70421,72	67220,73	38411,85
255	766	650	104	97,50	71,50	68,25	39,00	106062,10	99433,22	72917,69	69603,24	39773,29
256	786	656	105	98,44	72,19	68,91	39,38	106604,90	99942,09	73290,87	69959,46	39976,84
257	763	625	100	93,75	68,75	65,63	37,50	102323,90	95928,69	70347,70	67150,08	38371,47
258	786	663	106	99,38	72,88	69,56	39,75	108255,50	101489,50	74425,63	71042,65	40595,80
259	760	594	95	89,06	65,31	62,34	35,63	97055,53	90989,56	66725,68	63692,69	36395,82
260	596	481	77	72,19	52,94	50,53	28,88	79168,62	74220,59	54428,43	51954,41	29688,23
261	701	438	70	65,63	48,13	45,94	26,25	69404,09	65066,34	47715,32	45546,44	26026,54
262	157	75	12	11,25	8,25	7,88	4,50	12009,85	11259,24	8256,77	7881,47	4503,70
263	2833	2406	385	360,94	264,69	252,66	144,38	400459,50	375430,80	275315,90	262801,50	150172,30
264	1555	994	159	149,06	109,31	104,34	59,63	161690,40	151584,70	111162,10	106109,30	60633,89
265	978	763	122	114,38	83,88	80,06	45,75	124156,10	116396,40	85357,34	81477,47	46558,55
266	324	219	35	32,81	24,06	22,97	13,13	35491,07	33272,88	24400,11	23291,01	13309,15
267	425	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	52114,61	48857,45	35828,79	34200,21	19542,98
268	6131	5388	862	808,13	592,63	565,69	323,25	884584,90	829298,40	608152,10	580508,80	331719,30
269	700	444	71	66,56	48,81	46,59	26,63	67794,17	63557,04	46608,50	44489,93	25422,81
270	692	594	95	89,06	65,31	62,34	35,63	98884,58	92704,30	67983,15	64893,00	37081,71
271	951	475	76	71,25	52,25	49,88	28,50	76795,03	71995,35	52796,59	50396,74	28798,14
272	648	488	78	73,13	53,63	51,19	29,25	79097,35	74153,77	54379,43	51907,64	29661,51
273	534	431	69	64,69	47,44	45,28	25,88	70429,85	66027,99	48420,52	46219,59	26411,20
274	627	538	86	80,63	59,13	56,44	32,25	86964,48	81529,20	59788,08	57070,44	32611,68
275	470	325	52	48,75	35,75	34,13	19,50	55418,78	51955,11	38100,41	36368,57	20782,04
276	739	613	98	91,88	67,38	64,31	36,75	98611,36	92448,16	67795,31	64713,70	36979,26
277	899	769	123	115,31	84,56	80,72	46,13	123976,40	116227,90	85233,79	81359,52	46491,16
278	1041	888	142	133,13	97,63	93,19	53,25	144224,60	135210,60	99154,41	94647,38	54084,22
279	884	713	114	106,88	78,38	74,81	42,75	116771,30	109473,10	80280,29	76631,19	43789,25
280	511	425	68	63,75	46,75	44,63	25,50	70438,27	66035,88	48426,30	46225,11	26414,35

281	814	656	105	98,44	72,19	68,91	39,38	107849,00	101108,40	74146,19	70775,91	40443,38
282	329	269	43	40,31	29,56	28,22	16,13	43907,40	41163,19	30186,34	28814,23	16465,28
283	602	394	63	59,06	43,31	41,34	23,63	63287,73	59332,25	43510,31	41532,57	23732,90
284	1894	1613	258	241,88	177,38	169,31	96,75	262383,40	245984,40	180388,60	172189,10	98393,77
285	1812	1469	235	220,31	161,56	154,22	88,13	238528,10	223620,10	163988,10	156534,10	89448,05
286	1544	1031	165	154,69	113,44	108,28	61,88	168535,20	158001,80	115868,00	110601,20	63200,71
287	702	475	76	71,25	52,25	49,88	28,50	80041,34	75038,76	55028,42	52527,13	30015,50
288	787	538	86	80,63	59,13	56,44	32,25	84248,89	78983,34	57921,11	55288,33	31593,33
289	362	231	37	34,69	25,44	24,28	13,88	36018,84	33767,66	24762,95	23637,36	13507,06
290	369	313	50	46,88	34,38	32,81	18,75	49680,31	46575,30	34155,21	32602,71	18630,12
291	2219	831	133	124,69	91,44	87,28	49,88	129915,50	121795,80	89316,89	85257,02	48718,30