

PLANEAMIENTO URBANÍSTICO Y LIDAR

CIUDAD 3D

MÁSTER EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA

PROYECTO FIN DE MÁSTER. Curso 2010-2011



Eugenia Crespo Matellán

Junio 2011

**MÁSTER EN GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA. Curso 2010-2011**

PROYECTO FIN DE MÁSTER

Título: PLANEAMIENTO URBANÍSTICO Y LIDAR. CIUDAD 3D

Autor: *Eugenia Crespo Matellán*

Tutor: *Diego González Aguilera*

Fecha: Junio 2011

INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	7
SOFTWARE Y DATOS	9
METODOLOGÍA	11
Ámbito de estudio	13
Trabajar con datos LIDAR.....	17
<i>Gestión de trayectorias.....</i>	<i>17</i>
<i>Eliminar solape.....</i>	<i>19</i>
<i>Clasificación automática de la nube de puntos</i>	<i>20</i>
<i>Clasificación manual de la nube de puntos.....</i>	<i>23</i>
<i>Vectorización de edificios.....</i>	<i>27</i>
<i>MDT, MDS y edificios vectorizados</i>	<i>30</i>
<i>Modelo 3D.....</i>	<i>34</i>
Trabajar en ArcGIS	37
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	41
Comparación de modelos	41
<i>Coherencia entre los resultados del modelo vectorial y el programa ArcGIS.....</i>	<i>42</i>
<i>Comparación de huellas: datos LIDAR y ficha catastral</i>	<i>43</i>
Extracción de parámetros urbanísticos	45
<i>Áreas y volúmenes</i>	<i>47</i>
<i>Altura promedio de edificios.....</i>	<i>47</i>
<i>Número de plantas edificadas</i>	<i>48</i>
<i>Densidad de edificación</i>	<i>50</i>
<i>Edificabilidad.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla de parámetros urbanísticos</i>	<i>58</i>
Detección de irregularidades.....	59
CONCLUSIONES.....	62

ÍNDICES	64
Índice de ilustraciones	64
Índice de tablas	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS	69
ANEXO I. Planos.....	70
ANEXO II. Tablas de atributos	91
<i>UU. 10 Hervencias Residencial.....</i>	<i>92</i>
<i>UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos</i>	<i>102</i>
<i>UU. 15 Dehesa del Pinar</i>	<i>105</i>
<i>UU. 16 Zurra.....</i>	<i>110</i>

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años los avances en técnicas LASER / LIDAR han abierto un amplio abanico de posibilidades, desde la mejora en la realización de cartografía, hasta la construcción de entornos 3D realistas para videojuegos, pasando por aplicaciones para el urbanismo, estudios de riesgo o impacto ambiental, trazado de redes de transporte y comunicaciones, turismo virtual, o gestión del territorio.

En el campo del urbanismo, el uso de estas técnicas se presenta muy prometedor, ya que en una primera aproximación, posibilitan un levantamiento rápido y preciso de una zona amplia, con un error del orden de centímetros, reduciendo también de manera drástica el tiempo necesario para la toma de datos.

En este sentido, se aprecia un gran número de investigaciones encaminadas a la obtención de un modelo 3D de áreas urbanas para luego poder extraer a partir de él parámetros de interés urbanístico, tales como la densidad de edificios, determinación de número alturas de edificación o a la detección de edificaciones ilegales.

En la primera parte del proceso, la elaboración de un modelo 3D de un entorno urbano, son varias las técnicas que se están utilizando, encaminadas a detectar de manera automática los edificios, separándolos de otros elementos tanto naturales como artificiales. Hasta la fecha no se ha conseguido un proceso automatizado que sea totalmente satisfactorio (Suveg 2002, Awrangjeb, 2010), por diversas razones, entre las que están:

- Complejidad de la escena: la presencia de objetos naturales o artificiales con características geométricas o cromáticas similares a las de los edificios.
- Extracción incompleta de características: siempre existe una pérdida relevante de información debida a efectos como oclusiones, poco contraste, sombras, o mala perspectiva.
- Dependencia de los sensores: los datos primarios utilizados dependen del tipo de fuente y sensor empleado. Existen distintos tipos, cada uno con ventajas y desventajas.

Las técnicas de detección de edificios han sido categorizadas en tres grupos: (Lee et al 2008): algoritmos que utilizan información obtenida a partir de imágenes fotogramétricas, a partir de datos LIDAR, o técnicas que usan ambos tipos de datos de manera conjunta, en concreto utilizando la información de intensidad y altura procedente del LIDAR y la información de texturas y bordes de las imágenes aéreas para mejorar la exactitud.

Una vez obtenido el modelo 3D, se puede utilizar con fines urbanísticos: planificación urbana, gestión, estudios medioambientales, impacto de catástrofes, impacto visual, usos del suelo, catalogación... Las posibilidades que ofrece el modelo crecen exponencialmente.

Actualmente, se está investigando sobre la forma de obtener de manera automática variables del tipo Floor Area Ratio (FAR) o de densidad de ocupación, a partir de datos LIDAR. El proceso va más allá de obtener un modelo digital del terreno, pues es necesario también obtener un modelo digital de superficie, aislar los edificios como bloques, obtener los atributos y características de cada uno de ellos, y a partir de ellos calcular las variables urbanísticas deseadas.

Estos últimos años se han desarrollado o ampliado herramientas informáticas capaces de manejar este tipo de datos, como Microstation o ArcGIS, que ofrecen la posibilidad de implementar las operaciones necesarias, si bien el proceso no es totalmente automático, y requiere un cuidadoso control para obtener resultados satisfactorios.

El trabajo con Sistemas de Información Geográfica abre un amplio abanico de posibilidades; permitiendo generar mapas temáticos, gestión de la información en bases de datos, mapas evolutivos con estudios del desarrollo del urbanismo en el futuro. Como herramienta de gestión y análisis de la información su aplicación actual en los campos del planeamiento y del urbanismo presenta un importante impulso. Abarca actividades tan amplias como aplicaciones en la ingeniería, gestión del territorio, administraciones públicas, La utilidad de los GIS es incuestionable.

La definición más extendida de un SIG es la proporcionada en 1990 por el *National Centre of Geographic Information and Analysis*, NCGIA.

“Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión”

En este sentido y siguiendo las líneas actuales de investigación, en el presente trabajo se ha elaborado un modelo urbano de cuatro de las unidades urbanas de la ciudad de Ávila (tres residenciales y una industrial) y, a partir de él, se ha obtenido de manera automática una serie de parámetros de interés urbanístico, tales como la densidad de edificación, o el número de plantas de cada edificio, para luego compararlos con los contemplados en el plan general y en el catastro. De esta manera, se ha podido establecer una metodología de trabajo que permite evaluar la posible utilidad de los datos LIDAR en urbanismo.

A partir de datos LIDAR y ortofotos, y mediante el uso de los programas Terrasolid, con tres de sus módulos TerraScan, TerraModeler y TerraPhoto, y el programa ArcGIS con su módulo Spatial Analyst, se ha generado un Modelo Digital del Terreno, un Modelo Digital de Superficie, un vuelo 3D, y distintas tablas en las que se han calculado varios parámetros de cada uno de los edificios de las zonas de estudio. En la última parte del proyecto se hace una revisión crítica de los resultados obtenidos, comparándolos con los existentes en otros registros, como el catastro, para poder así evaluar la utilidad del procedimiento.

OBJETIVOS

Estudios recientes (*Bailang Yu et al, 2010*) analizan la posibilidad de utilizar datos LIDAR como base para la obtención de parámetros urbanísticos; por un lado, individualmente para cada edificio, y por otro, para un conjunto de edificios que constituyan un distrito urbano. En el artículo citado, Bailang destaca la obtención de parámetros urbanísticos tales como Floor Area Ratio (FAR) y Building Coverage Ratio (BCR), entre otros parámetros asociados a índices de densidad.

Existen gran variedad de métodos de obtención de edificios a partir de datos LIDAR, así como estudios en los que se incorpora esta metodología para la extracción de información con la finalidad de detectar construcciones ilegales o de obtener la altura de las edificaciones.

En el presente proyecto se va a buscar un método para obtener modelos de edificios a partir de los datos LIDAR disponibles de la ciudad de Ávila; para luego obtener información individual de áreas y volúmenes de estos modelos, así como evaluar la posibilidad de generar los equivalentes urbanísticos de los conceptos de FAR y BCE según la ley del suelo en España, que van a ser “edificabilidad” y “densidad de vivienda por hectárea”, respectivamente.

Respecto a la generación del modelo urbano, se debe destacar que, si bien interesa que el método sea lo más automático posible, la calidad de los datos posteriores dependerá en gran medida de que los modelos de edificios sean lo más ajustados posibles a la realidad. Como ya se ha mencionado, aún no se dispone de una metodología y unos algoritmos que permitan una extracción automatizada de edificios totalmente certera, por lo que será necesaria la intervención manual para mejorar el modelo. Respecto al segundo objetivo, destacar que, si bien a largo del trabajo se obtendrán una serie de datos, tanto a nivel de unidad urbana como de edificios individuales, la finalidad del trabajo no es sólo obtener tales datos, sino que lo que se busca es conocer hasta qué punto esos datos son realmente fiables desde el punto de vista de la normativa vigente.

Teniendo todo esto presente, los objetivos del presente trabajo los podemos agrupar en:

- Elaborar de un modelo 3D de cuatro unidades urbanas de la ciudad de Ávila, a partir de datos LIDAR
- Crear un vuelo 3D a partir del modelo urbano

- Generar un MDT y un MDS.
- Extraer un modelo vectorial de los edificios existentes en cada uno de las unidades urbanas.
- Eliminar errores detectados en los modelos creados a partir de los datos LIDAR: MDS, MDT y modelo vectorial de edificios
- Medir de forma automática características de interés urbanístico, tanto de cada uno de los edificios individuales, como de cada una de las unidades urbanas objeto de estudio
- Obtener planos de propiedades de las unidades urbanas
- Extraer tablas de atributos
- Analizar críticamente los pasos previos y los resultados de carácter urbanístico obtenidos, según la normativa vigente y a partir de datos obtenidos por otras fuentes, como el catastro.

SOFTWARE Y DATOS

Software

Microstation 8

Aplicaciones Terrasolid. Módulos: TerraModeler

TerraScan

TerraPhoto

ArcGIS 9.3

Módulo: Spatial Analyst

Datos

Vuelo de Ávila 10 cm. 2 puntos/m²

Ortofotos: PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0506_2-4

PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0506_3-4

PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0531_2-1

PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0531_3-1

Zona de estudio

4 Unidades Urbanas localizadas al NE de Ávila y definidas en el Plan General de Ordenación Urbana de Ávila, documento refundido de aprobación definitiva, abril 2005 (Adaptación y revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Ávila a la ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León)

UU. 10 Hervencias Residencial

UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos

UU. 15 Dehesa del Pinar

UU. 16 Zurra

METODOLOGÍA

El objetivo fundamental del proyecto es obtener a partir de datos LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging* o *Light Detection and Ranging*) información que pueda emplearse en estudios de carácter urbanístico, bien para conocer el desarrollo actual de un núcleo urbano, o bien, como una herramienta de cara a posibles futuros desarrollos de estos núcleos. En este sentido, cabe diferenciar dos vías de trabajo, una a partir de datos LIDAR y la segunda con Sistemas de Información Geográfica.

Un primer acercamiento a la información proporcionada por los datos LIDAR permite analizar los resultados obtenidos y estudiar la viabilidad de los mismos. La finalidad será proporcionar una información fiable de las construcciones existentes en las Unidades Urbanas objeto de estudio. En este punto se trabaja exclusivamente con el software de Microstation y de Terrasolid, con los módulos TerraScan y TerraModeler.

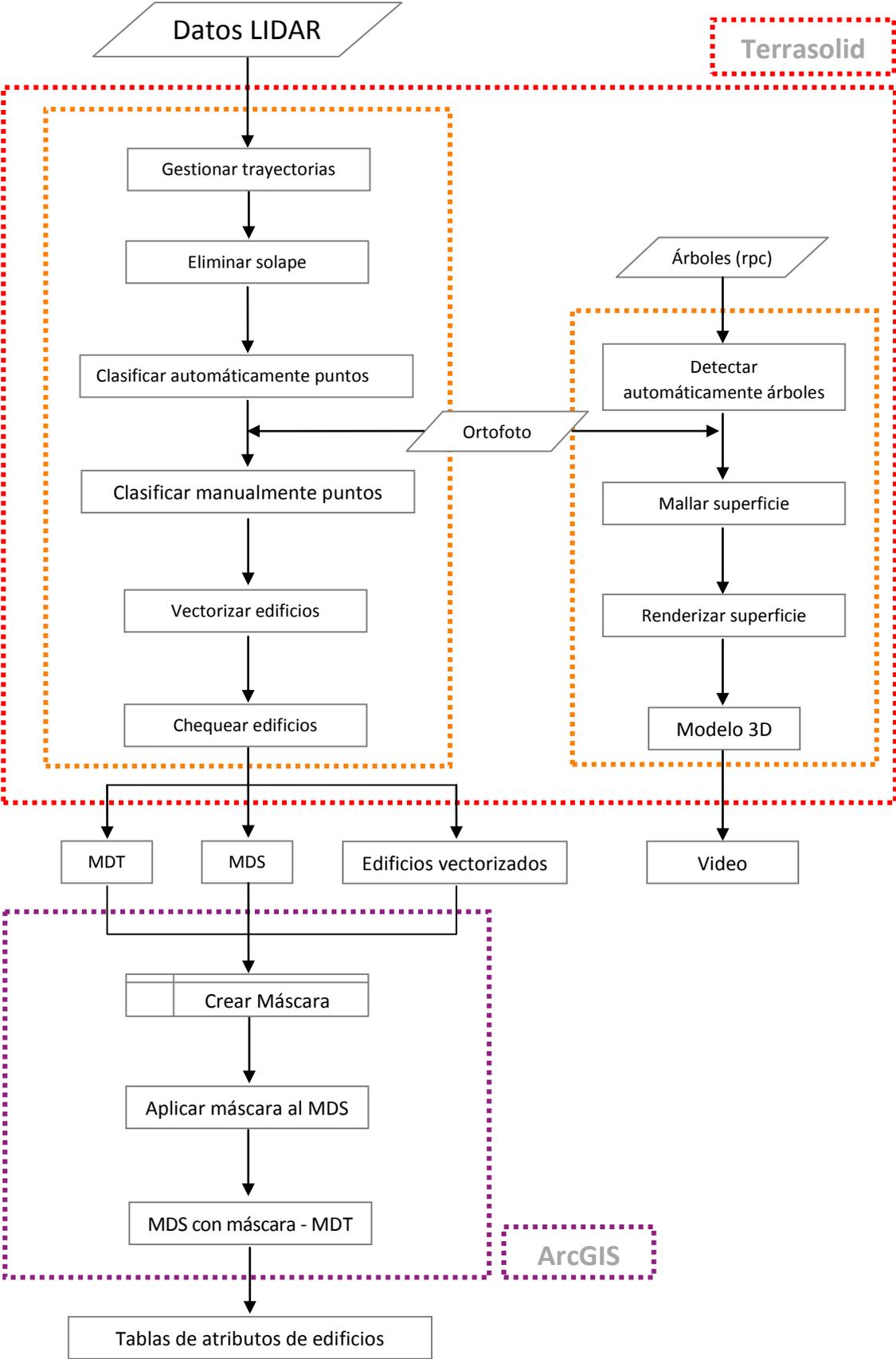
Después de un proceso semiautomático se obtienen los siguientes productos: modelos vectorizados de edificios, modelo digital de superficie (MDS) y modelo digital del terreno (MDT).

Una vez realizada esta evaluación y comprobadas las posibles fuentes de divergencia realidad-modelo se estudian las soluciones a adoptar y que permitan obtener valores más correctos de las edificaciones.

La segunda parte del trabajo se hará con sistemas de información geográfica (GIS), en este caso, con el software ArcGIS, y concretamente, con el módulo Spatial Analyst. Este módulo permite adoptar medidas para corregir los errores detectados en el paso previo y proporciona una base de datos con información de las construcciones en un proceso casi automático.

Como complemento gráfico de la información obtenida en el trabajo con datos LIDAR, y utilizando el módulo TerraPhoto, se obtendrá un modelo 3D de la zona de estudio y un video representativo de este modelo.

A continuación se muestra el resumen de los principales pasos seguidos en un diagrama de flujo.



Ámbito de estudio

En el Reglamento de Urbanismo de Castilla y León, de 17 de julio de 2009, en su artículo 85, apartado 1, se establece la Ordenación general en suelo urbano consolidado *“En los municipios con población igual o superior a 20.000 habitantes, el Plan General de Ordenación Urbana debe dividir el suelo urbano consolidado en ámbitos de superficie no superior a 100 hectáreas, denominados unidades urbanas, que se correspondan con barrios tradicionales, áreas de ordenación homogénea, sectores de suelo urbano no consolidado o suelo urbanizable ya ejecutados o ámbitos de influencia de dotaciones urbanísticas, y sobre las que pueda analizarse y controlarse la ejecución de sus determinaciones, la adecuación de las dotaciones urbanísticas y la influencia de las modificaciones que se propongan y de las demás circunstancias no previstas en el propio Plan General”*.

Siendo este el caso de la ciudad de Ávila en su PGOU se establece la siguiente división de unidades urbanas:

UNIDADES URBANAS		
UU	NOMBRE	Superficie (ha.)
1	Recinto Amurallado.	37,12
2	Centro.	67,05
3	Santiago.	49,28
4	Arrabal del Puente.	30,65
5	La Encarnación.	92,75
6	San Antonio.	65,20
7	Santo Tomás Universidad.	90,70
8	La Toledana.	97,82
9	Hervencias Industrial.	43,40
10	Hervencias Residencial.	83,17
11	Tiro Pichón.	50,23
12	Ciudad Deportiva.	35,40
13	Valle Amblés.	88,87
14	Hervencias Industrial Bomberos.	64,08
15	Dehesa del Pinar.	42,25
16	Zurra.	79,38
17	Academia.	94,31
18	E. LOCALES MENORES Resid.	91,53
TOTAL		1.203,19

La zona de estudio se localiza al noroeste de la ciudad de Ávila. En la Fig. 1 aparecen señaladas las cuatro Unidades Urbanas objeto de estudio. La delimitación roja corresponde a las UU residenciales y la azul a la UU industrial.

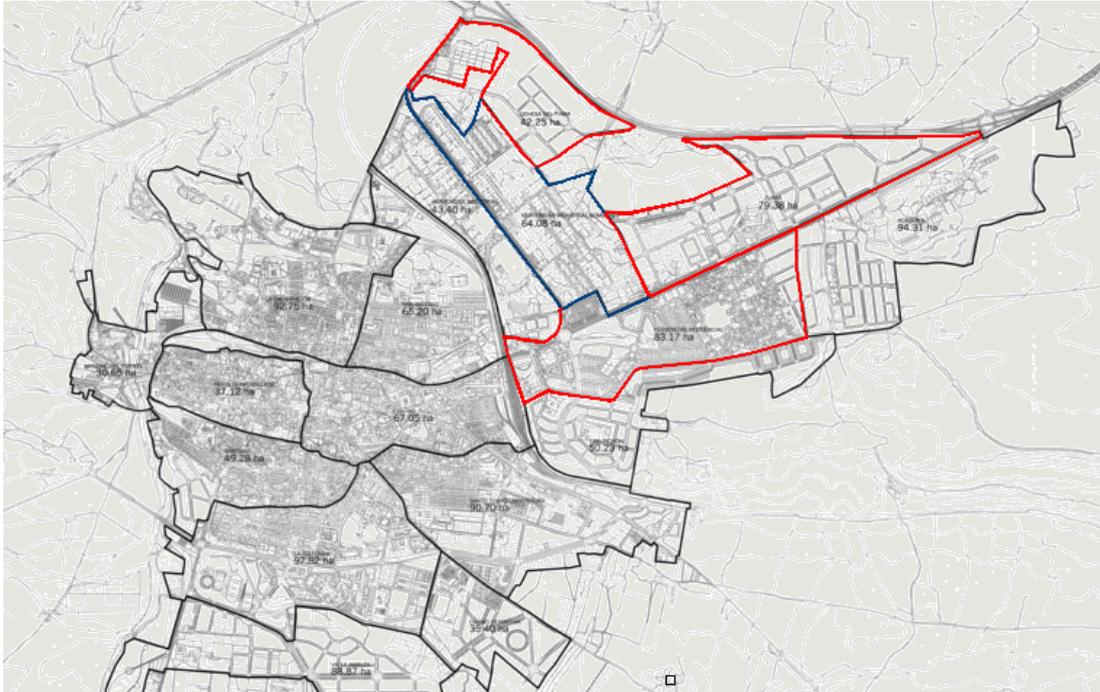


Fig. 1 Plano 6 de Unidades Urbanas de PGOU de Ávila

Según aparecen identificadas en el PGOU las unidades urbanas tienen la siguiente numeración:

- UU. 10 Hervencias Residencial
- UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos
- UU. 15 Dehesa del Pinar
- UU. 16 Zurra

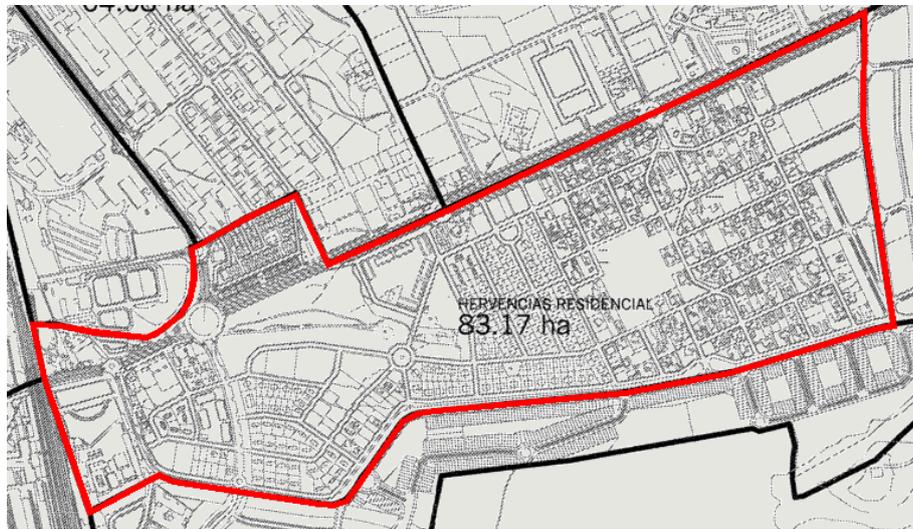


Fig. 2 UU. 10 Hervencias Residencial

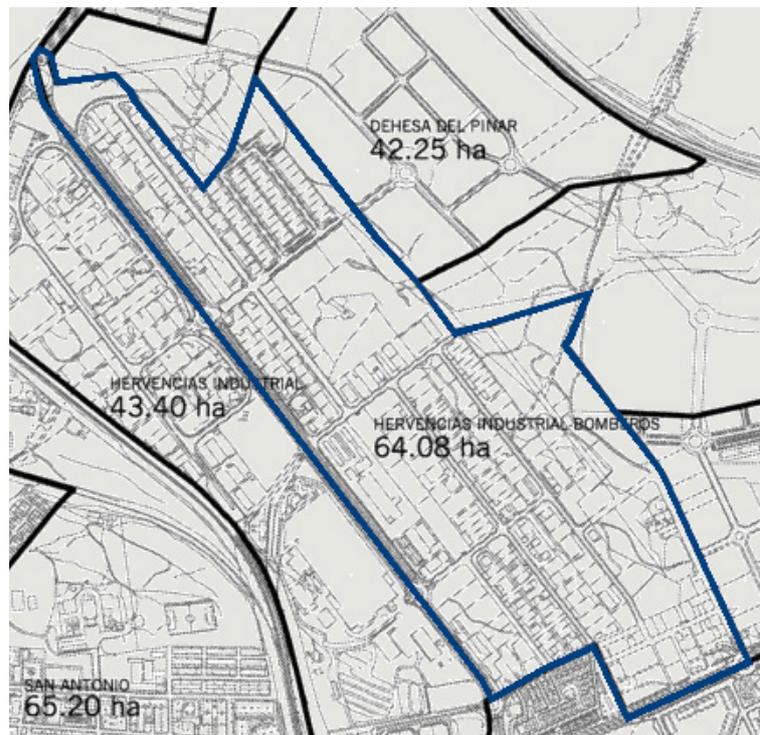


Fig. 3 UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos



Fig. 4 UU. 15 Dehesa del Pinar

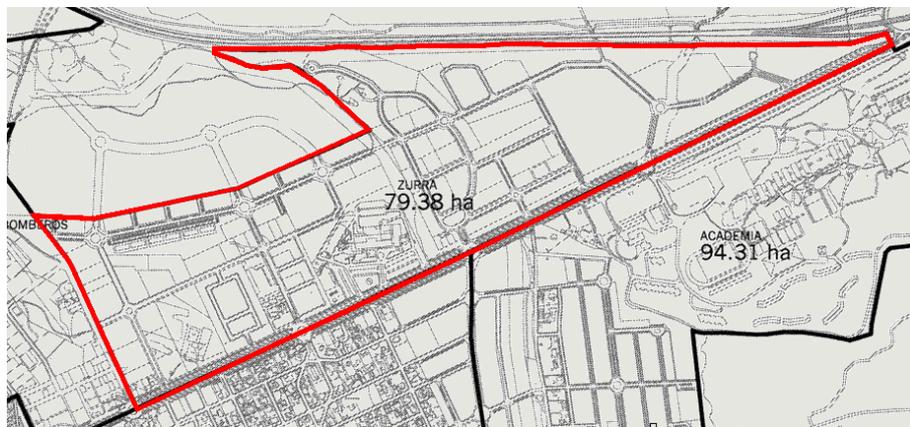
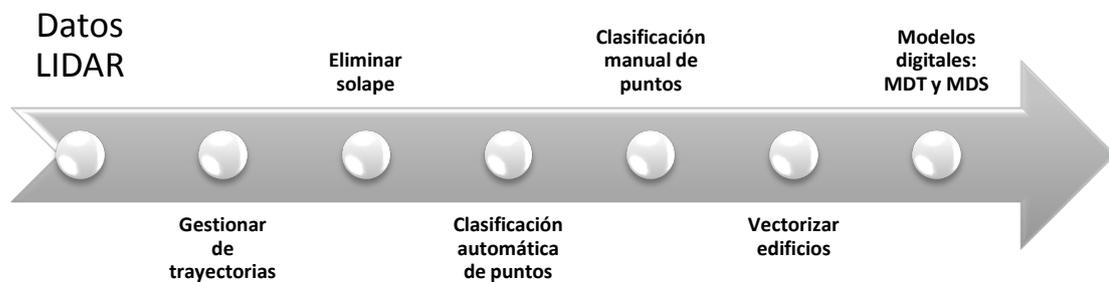


Fig. 5 UU. 16 Zurra

Trabajar con datos LIDAR

Las aplicaciones de Terrasolid corren bajo el software Microstation. En el presente trabajo se utilizarán los módulos TerraScan, TerraModeler y TerraPhoto. La herramienta TerraScan permite trabajar con datos de láser escáner, con TerraModeler se elaboraran modelos del terreno y con TerraPhoto se obtendrá un modelo 3D.

Los primeros pasos del trabajo se realizaran con TerraScan.



Gestión de trayectorias

La información aportada por las trayectorias va a permitir identificar los puntos comunes de las líneas de vuelo.

Las trayectorias deben ser ordenadas por día de vuelo y por tiempo gps y numeradas consecutivamente; colocándose en la misma carpeta. Carpeta que va a permitir cargar las trayectorias automáticamente al abrir el proyecto.

Fig. 6 Información del proyecto

El volumen de datos que contiene un proyecto LIDAR obliga a generar, a partir de las pasadas brutas, bloques de un tamaño adecuado para su manejo. Estos bloques pueden generarse automáticamente o de forma manual.

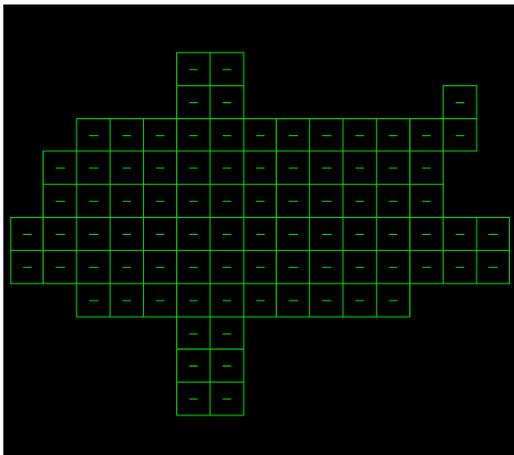


Fig. 7 Bloques generados automáticamente

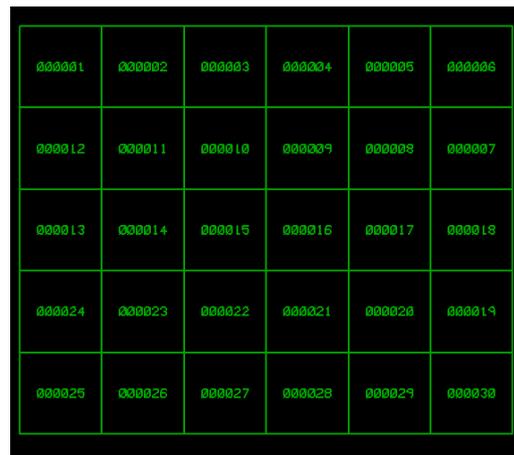


Fig. 8 Bloques generados manualmente

En el presente proyecto se ha trabajado con bloques generados manualmente. En principio se utilizarán cuatro bloques que tendrán, cada uno de ellos, una dimensión de 1000 x 1000 m². La necesidad de adaptar estos datos a las Unidades Urbanas definidas en el PGOU de Ávila obligó posteriormente a ampliar la zona de trabajo.

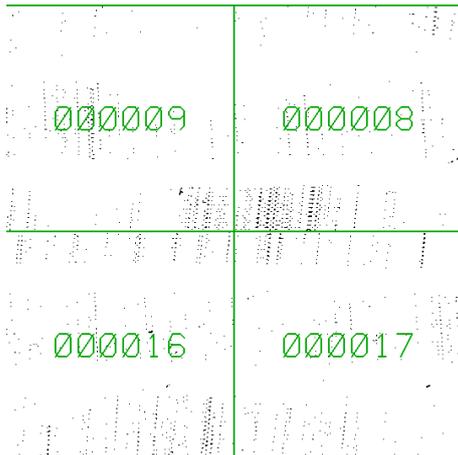


Fig. 9 Bloques del proyecto

Eliminar solape

La zona de puntos que contiene información de diferentes trayectorias o líneas de vuelo se denomina solape. Se suele localizar en los extremos de cada pasada, donde la precisión de los datos es menor. Será necesario cortar estos datos y clasificarlos como puntos de solape.

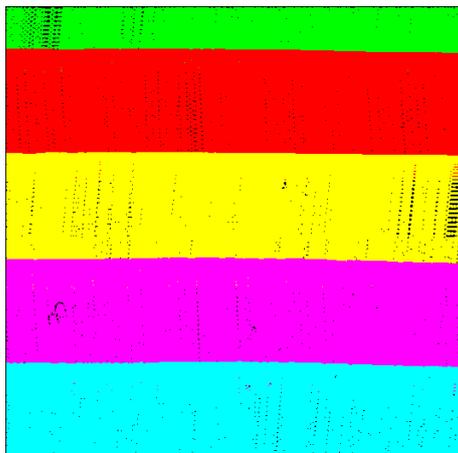


Fig. 10 Clasificación por líneas de vuelo

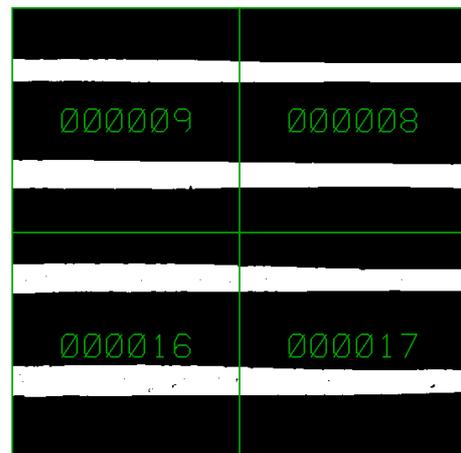


Fig. 11 Clasificación por clase. Puntos de solape

Clasificación automática de la nube de puntos

Después de cortar el solape se procede a la clasificación de los puntos pertenecientes a los bloques elegidos para el proyecto.

La clasificación se realiza automáticamente mediante rutinas implementadas en la herramienta TerraScan.

Las posibilidades de clasificación son amplias pero en este caso interesa sobre todo clasificar terreno, distintos niveles de vegetación (alta, media y baja) y edificios.

Se prueban distintas rutinas de clasificación bien individualmente, o bien, mediante el uso de macros; pues el programa permite gestionar el trabajo sobre los bloques colectivamente mediante la generación de macros.

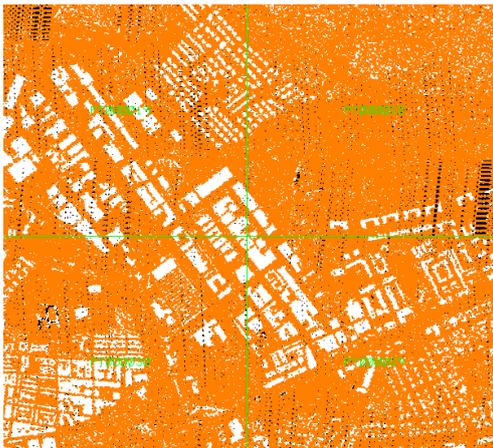


Fig. 12 Clasificación de terreno



Fig. 13 Clasificación de edificios

Las opciones de clasificación de vegetación son variadas, desde detección de árboles, clasificación non-ground, por intensidad o por altura desde el terreno.

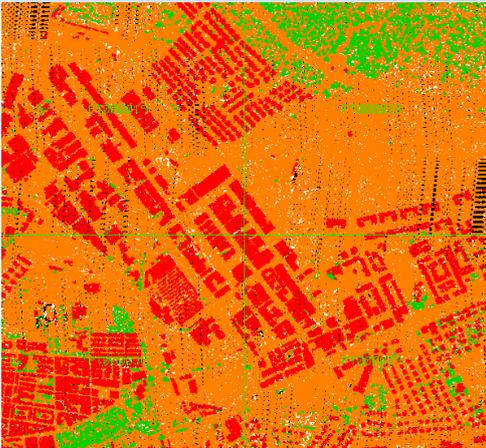


Fig. 14 Detección de árboles

Se clasifica la vegetación utilizando la rutina **Detect trees**, que permite la detección automática de determinado tipo de árboles empleando la información del número de ecos de cada punto. Se clasifican en la clase “media vegetación”. Esta clasificación funciona en zonas con arbolado denso.

Para detectar otro tipo de vegetación se emplea la rutina **Classify to non-ground**; Este tipo de clasificación permite fijar la distancia máxima entre cada par de puntos, el ángulo límite al ángulo máximo del terreno y la posibilidad de no tener en cuenta los puntos que formen planos horizontales.



Fig. 15 Clasificación de vegetación non-ground

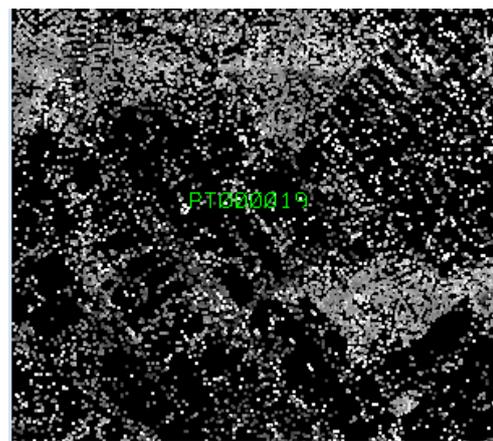


Fig. 16 Clasificación de vegetación por intensidad

La vegetación baja y alta se clasificará por altura desde el suelo.

Estos pasos se pueden concretar en la ejecución de una macro. En el proyecto se crea una macro, que en un único paso clasifique el suelo, la vegetación baja (< 0.1 m), la vegetación media (entre 0.11 m y 2.50 m) y la vegetación alta (entre 2.51 m y 40 m).

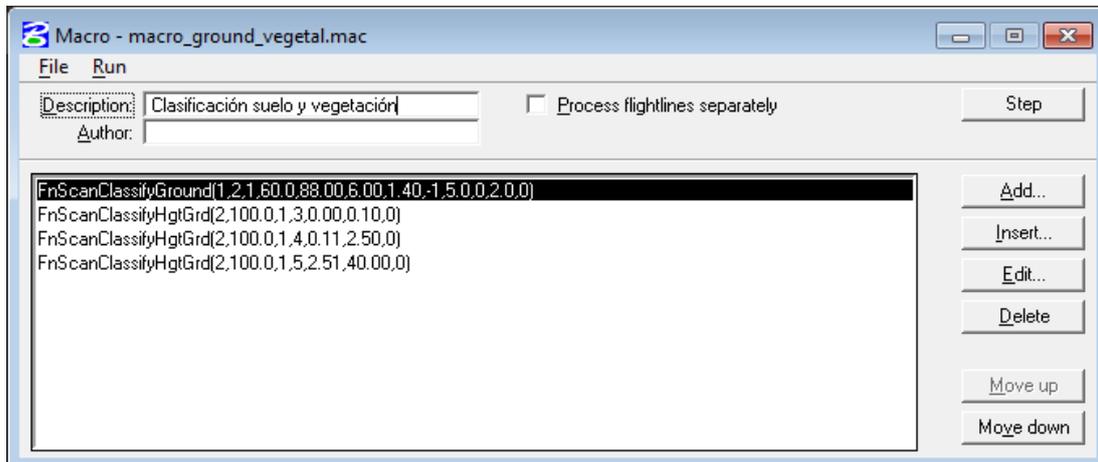


Fig. 17 Macro para clasificar suelo y vegetación

En un principio las carreteras se clasificaron por intensidad (entre 40 y 100) (fig. 18) pero dadas las necesidades del presente proyecto se optó posteriormente por considerarlas como terreno.

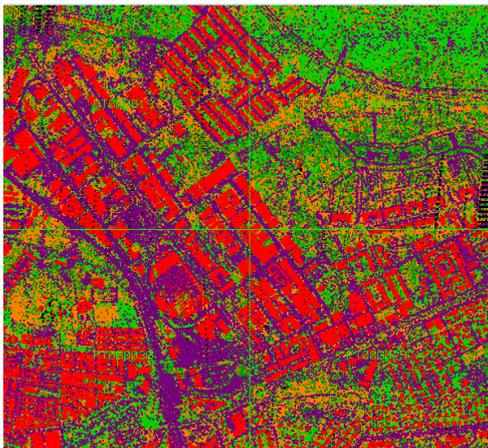


Fig. 18 Clasificación de carreteras por intensidad (puntos morados)

En último término clasificar los puntos bajos **Classify low points**, para eliminar aquellos puntos que estén por debajo del terreno. Se establece como parámetro de clasificación

aquellos puntos que tengan una cota inferior a 0.50 m respecto a todos los puntos próximos (a una distancia máxima de 5 m).

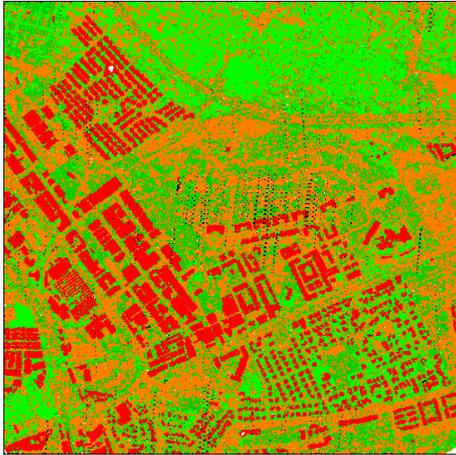


Fig. 19 Resultado de la clasificación automática de puntos LIDAR

Clasificación manual de la nube de puntos

El proceso automático de clasificación de puntos debe de ir acompañado de un posterior análisis de resultados, que permitirá mejorar el modelo obtenido. Entre los aspectos que más interesa comprobar se pueden destacar errores del tipo:

- Clasificación de vegetación alta como edificación, o viceversa, por la proximidad de ambas o por estar el edificio embebido en una vegetación espesa;
- Existencia de invernaderos, cubiertas de piscinas, marquesinas para aparcamiento de coches, entre otros, que son clasificados equivocadamente como edificaciones.

Para facilitar la tarea de detectar errores se van a emplear dos herramientas; por un lado, se generan modelos digitales del terreno (MDT) y de superficie (MDS) con la herramienta TerraModeler, y por otro, se incorporan ortofotos, con la herramienta TerraPhoto, que permiten contrastar la localización de edificios con los puntos clasificados como tales.

Con los modelos se van a poder detectar visualmente aquellos puntos que al haber sido mal clasificados han generado errores en los mismos; bien por no haber sido detectados como puntos bajos en la rutina automática o, bien, por ser ruido (fig.20).

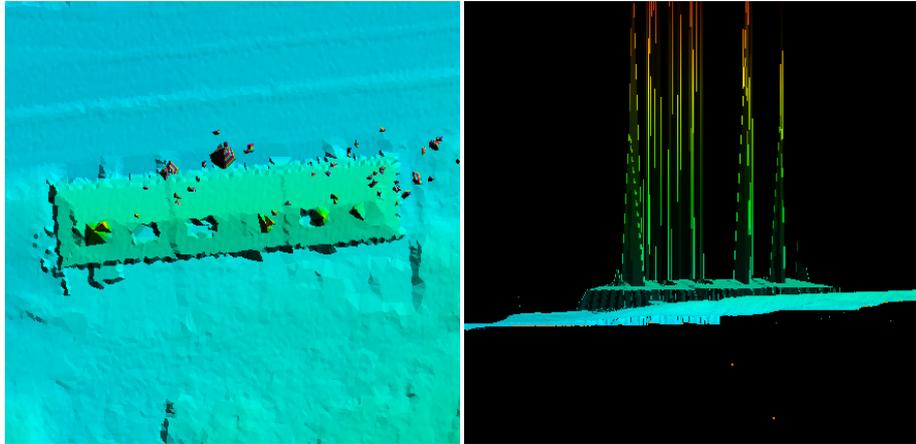


Fig. 20 MDT Suelo y edificios. Puntos mal clasificados. Ruido

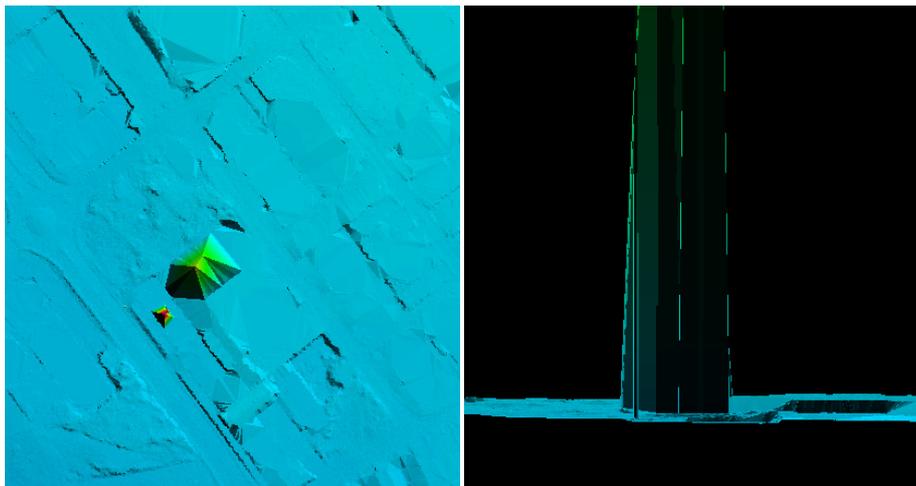


Fig. 21 Modelo digital de superficie

Un apoyo importante en el momento de detección de puntos mal clasificados va a ser el empleo de ortofotos; van a permitir detectar puntos clasificados como edificios y que pueden ser cubiertas temporales del tipo marquesinas, cubiertas de piscinas o toldos. A continuación se muestran ejemplos de los errores más habituales:

— Piscinas cubiertas (fig. 22)

Los puntos clasificados como tejado (puntos azules) en el caso automático (a) son trasladados en la clasificación manual (b) a la clase por defecto, pues el empleo de los mismos desvirtuaría el MDS.



Fig. 22 Piscinas cubiertas clasificadas como edificios

— Aparcamientos cubiertos y patios

En el siguiente ejemplo (fig. 23) debido a un brusco cambio de pendiente se produce un importante error en la clasificación automática; se cataloga como edificios tanto marquesinas como patios de vivienda(a). La información aportada por la ortofoto (b) va a permitir, en la clasificación manual (c), reclasificar los patios como suelo y puesto que las marquesinas no aportarán información al modelo directamente no se clasificaran.



Fig. 23 Aparcamientos cubiertos y patios, clasificados como edificios

— Marquesinas



Fig. 24 Marquesinas de zonas comerciales

— Tejados

Los resultados de la clasificación automática en la zona industrial son bastante limitados por la complejidad de sus tejados y la proximidad de las naves; en tejados en zigzag como el de la fig. 25 se clasifica como suelo lo que es tejado.

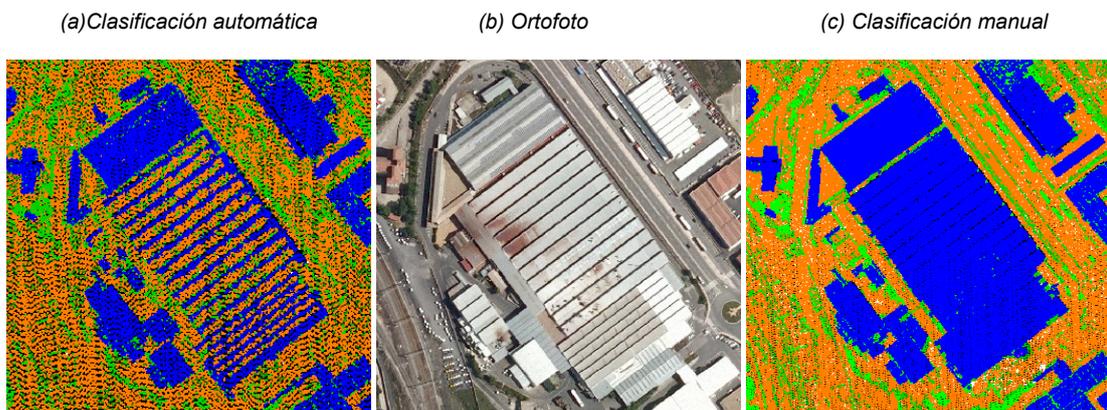


Fig. 25 Tejado en zigzag en zona industrial

Un apoyo importante para detectar errores va a ser el uso de perfiles transversales; estos permiten clarificar la verdadera posición de los puntos en relación con el terreno. Un claro ejemplo lo supone la nave industrial de la fig. 25; la fig. 26 corresponde al perfil transversal del caso automático (fig. 25 (a)), donde puede apreciarse como un porcentaje elevado de

puntos es clasificado incorrectamente como suelo (puntos naranjas) o como vegetación (puntos verdes). En la fig. 27 se representa un perfil transversal del tejado correspondiente a la corrección manual fig. 25 (c) donde los puntos son clasificados correctamente como tejado (puntos azules).

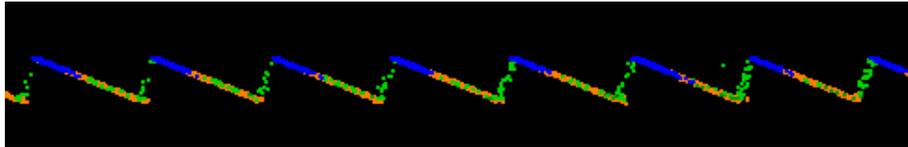


Fig. 26 Perfil transversal, tejado en zigzag. Clasificación automática

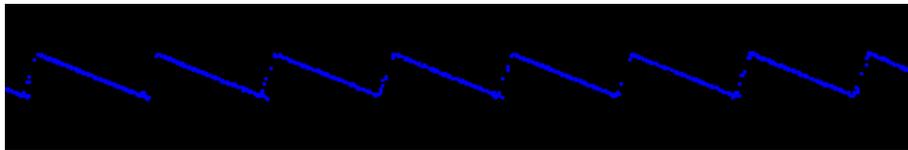


Fig. 27 Perfil transversal, tejado en zigzag. Clasificación manual

Vectorización de edificios

Mediante la herramienta **Vectorize Buildings**, disponible desde el módulo de TerraScan, se crean, de forma automática, modelos 3D vectoriales de las construcciones definidas previamente en la clasificación de datos LIDAR.

El proceso está basado en la detección de tejados de edificios, pero puede apoyarse en imágenes que mejoren el proceso de detección de bordes.

La herramienta crea formas para cada plano de la cubierta. En la configuración del programa se fijarán el espesor del tejado en 0.25 m y el comienzo de la pared a 0.50 m bajo el terreno. Este espesor va a generar un error en el modelo que será importante en zonas con fuertes pendientes o donde las construcciones sean de gran tamaño, ya que el programa construye el modelo del edificio a partir de un plano horizontal a 0.50 m por debajo del terreno y *desde el punto más desfavorable*, lo que conlleva que en algunas zonas se ha detectado que el modelo creado alcanza cotas de 2 m por debajo de la superficie. Esta es una fuente de error que falsea de manera importante los resultados obtenidos a partir de TerraScan. Afortunadamente, como se verá más adelante, uno de los pasos que se realizan en ArcGIS permitirá subsanar este error.

En el proceso de vectorización se definen una serie de factores que van a condicionar el resultado de los modelos; factores relacionados con las tolerancias, dimensiones y ángulos de los planos del tejado. Tras valorar distintas configuraciones, los mejores resultados se alcanzan con los siguientes valores:

- Distancia máxima entre elementos de un edificio que forman parte de un mismo modelo: 3 m
- Tolerancia relativa a la proximidad de un punto a una ecuación de plano: 0.15
- La huella mínima del edificio; se establece el tamaño de la mínima edificación en 40 m². Con esta limitación se evitará que, por ejemplo, construcciones temporales como toldos o sombrillas, que no han sido detectadas en la clasificación manual y que están separados de la construcción principal, no sean tenidas en cuenta en la vectorización.
- Incremento de tolerancia para planos próximos a la horizontal: 0.20
- Inclinação máxima del tejado: 75 deg
- Mínimo detalle: 3 m²
- Ajuste de bordes utilizando imágenes activas

Chequear edificios

El programa dispone de la herramienta **Check Building Models** que posibilita la corrección manual de los modelos vectoriales creados en el paso anterior. Puntualmente aumentando los factores de separación entre edificios o la tolerancia, se pueden subsanar planos de tejados no detectados con las condiciones previas.

En el ejemplo siguiente (fig. 28) no hay suficientes puntos clasificados como edificio que permitan definir todas las vertientes del tejado (a)(b). Aumentando la mínima distancia entre planos del mismo modelo a 5 m, se consigue que el programa defina el plano del tejado (c).

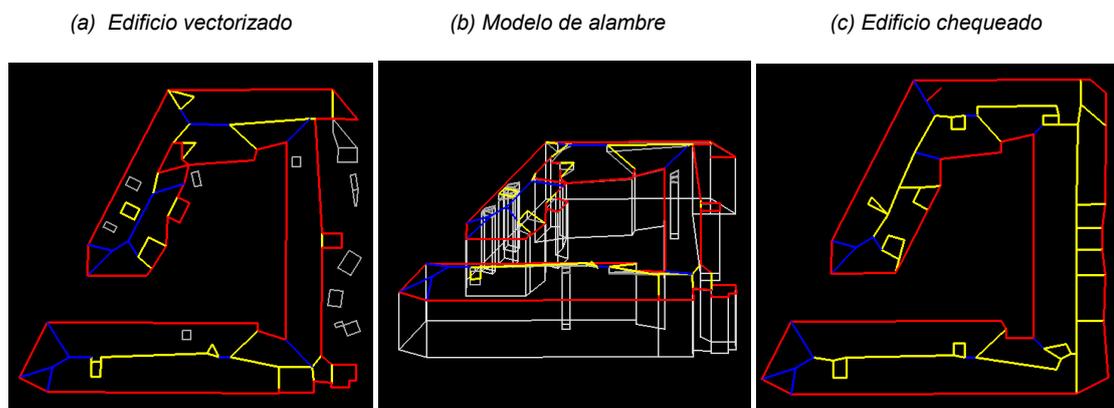
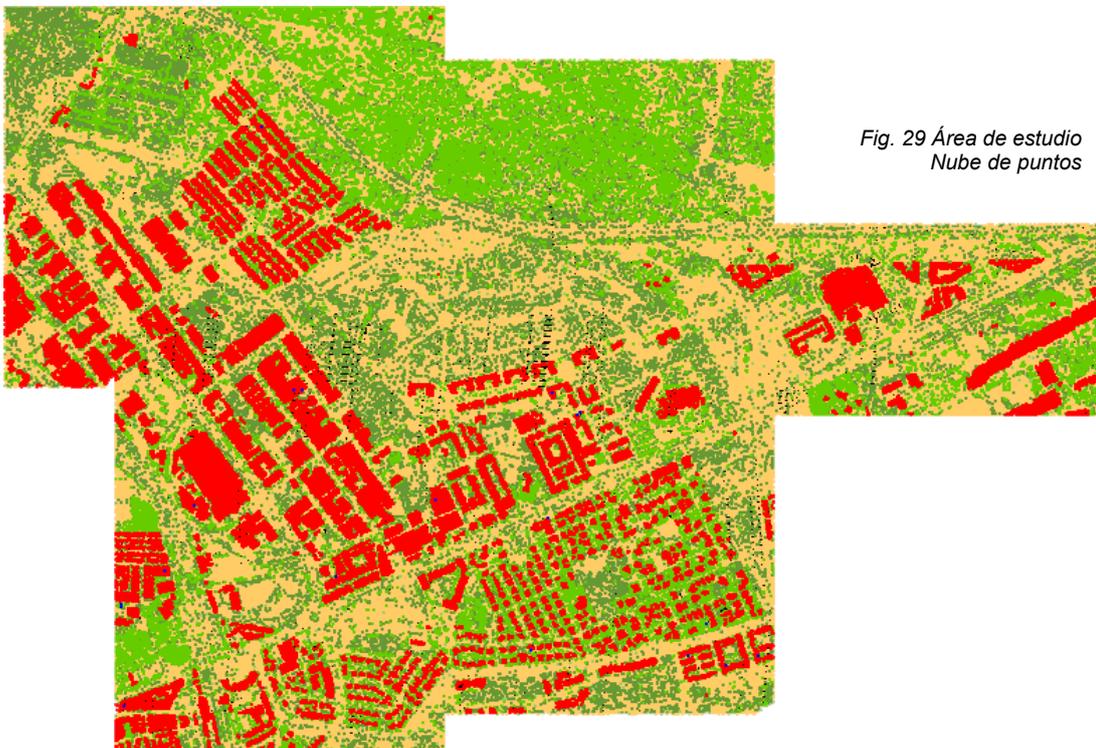


Fig. 28 Check Building Models

MDT, MDS y edificios vectorizados

Una vez realizados todos los pasos descritos, disponemos de un Modelo Digital del Terreno, un Modelo Digital de Superficie y una vectorización de edificios que nos permitirán continuar con la siguiente parte del proyecto.

Como ya se indicó con anterioridad, el ámbito del proyecto iba a concretarse en un marco de dimensiones 2000 x 2000 m², pero la necesidad posterior de adaptar el proyecto a las unidades urbanas definidas en el PGOU de Ávila motivo el incremento de la zona objeto de estudio. El resultado de este aumento de superficie puede verse en la fig. 29.



*Fig. 29 Área de estudio
Nube de puntos*

Para poder evaluar independientemente cada Unidad Urbana se procede a delimitarlas utilizando como base el *Plano 6 del PGOU de Unidades Urbanas de Ávila*. Este límite se incorpora a la nube de puntos para poder tratar cada zona de forma independiente. El proceso de vectorizar edificios se repite para cada unidad urbana



Fig. 30 Edificios vectorizados UU. 15 Dehesa del Pinar



Fig. 31 Edificios vectorizados UU. 16 La Zurra

La parte del trabajo con datos LIDAR termina con la exportación de los archivos que se van a necesitar en la segunda parte del proyecto, en el trabajo con ArcGIS. Estos datos van a ser:

- Modelo digital del terreno (MDT)
- Modelo digital de superficie (MDS)
- Archivo vectorial con edificios

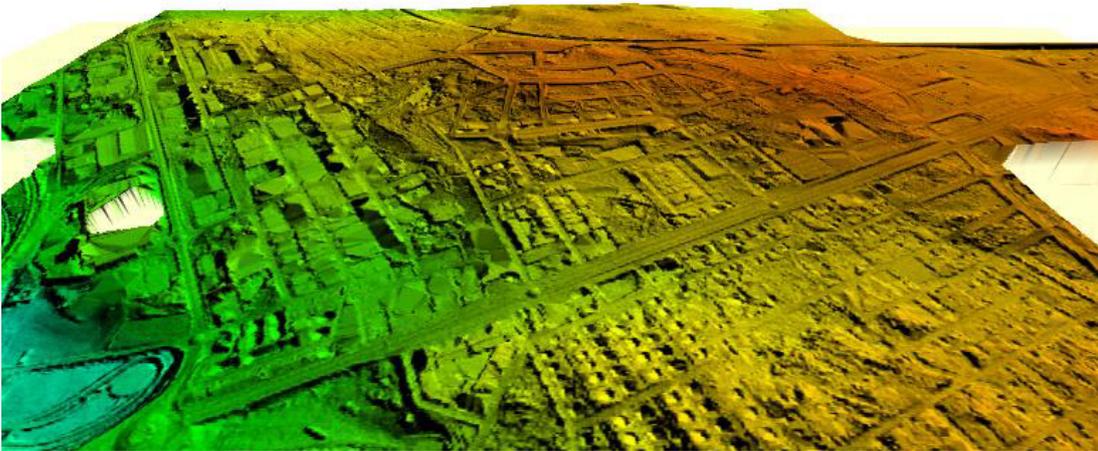


Fig. 32 Modelo digital del terreno (MDT)

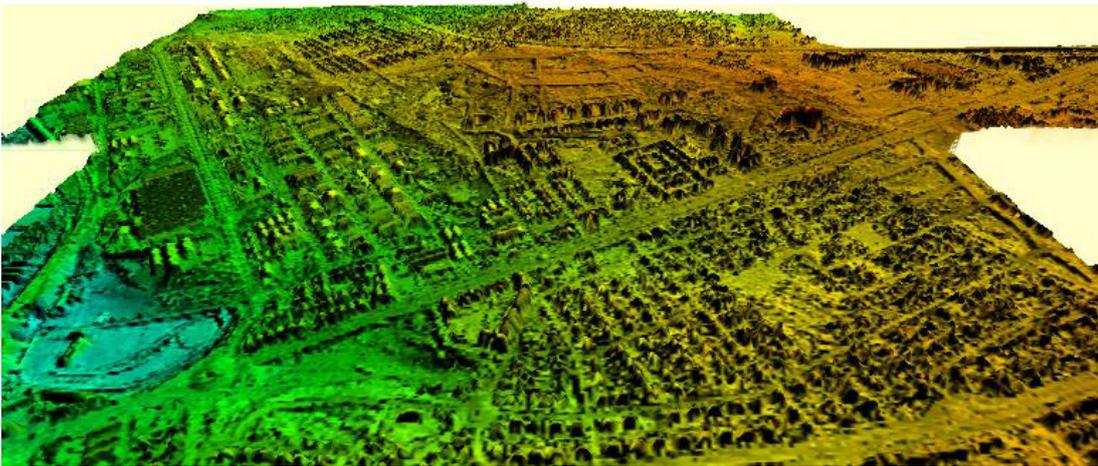


Fig. 33 Modelo digital de superficie (MDS)

Será preciso trabajar con los dos tipos de archivo, ráster y vectorial; en ambos casos se detectan errores volumétricos; ni los archivos ráster ni los vectoriales nos van a proporcionar individualmente información correcta sobre la edificación. Su uso conjunto permitirá corregir los resultados.

Por un lado, las alturas de las edificaciones obtenidas en el modelo vectorial son mayores que la de las edificaciones reales, ya que las paredes de estas penetran en el terreno un mínimo de 0.50 m; un ejemplo de esta situación se aprecia en la fig. 34. Como se comentó con anterioridad, el error aumenta considerablemente en las construcciones situadas en zonas con fuertes pendientes.

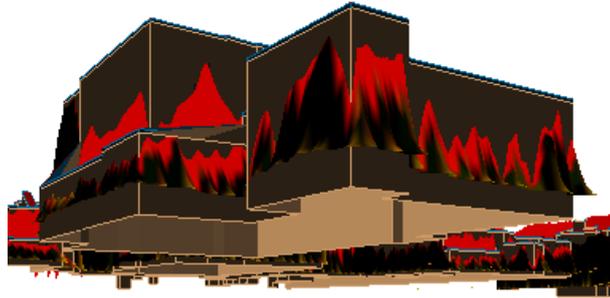


Fig. 34 Modelo vectorial y MDS superpuestos. El modelo vectorial penetra en el MDT

Por otra parte, el modelo ráster de la edificación también presenta incrementos motivados por la propia triangulación; los puntos límite del tejado van a unirse con los del suelo proporcionándole al volumen del edificio una dimensión mayor (fig. 35)

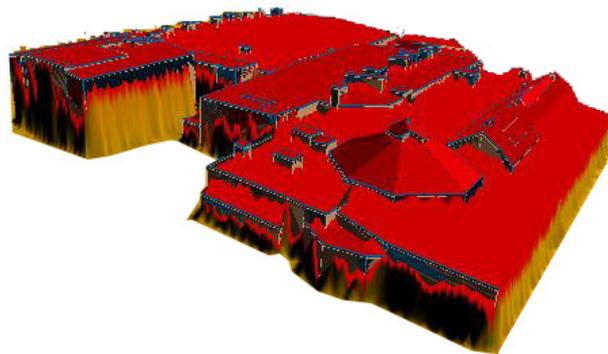


Fig. 35 Combinación de MDS y edificio vectorizado. La huella del edificio es mayor en la imagen ráster

Se generan, por tanto, un MDT y un MDS con los datos del terreno y de las edificaciones. Se edita una macro para exportar estos modelos. Como archivo vectorial de edificios se utilizará el archivo dgn de Microstation.

La combinación de los tres archivos — MDT, MDS y vectorial de edificios — va a permitir trabajando con le modulo Spatial Analyst del ArcGIS, corregir los incrementos de volumen detectados.

Modelo 3D

Como complemento gráfico al proyecto se presenta un video creado a partir del modelo 3D del área de estudio. Uno de los productos generados a partir de datos LIDAR más demandado en la actualidad es la generación de modelos 3D de ciudades. A partir de la clasificación manual de puntos el trabajo es relativamente sencillo pudiéndose resumir en los siguientes pasos:

- Detección automática de árboles
- Incorporación de ortofotos al modelo
- Generación de un modelo de malla del terreno (a partir del MDT)
- Renderizado del modelo

A partir de este modelo se puede generar un video; para ello se dibujara la trayectoria del vuelo.

La detección automática de árboles (fig. 36 (a)) es una herramienta del módulo TerraScan y precisa disponer de una librería de árboles (rpc).

Desde el módulo TerraPhoto se obtiene la representación render de estos árboles (fig. 36 (b)).

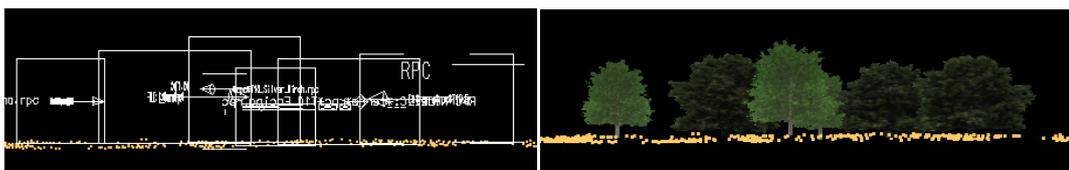


Fig. 36 (a) Detección de árboles

(b) Imagen render de árboles

Desde el modulo de TerraPhoto se incorporan la imágenes ortorectificadas obtenidas del vuelo PNOA de Castilla y León de 2008.

Ortofotos: PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0506_2-4
PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0506_3-4
PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0531_2-1
PNOA_CYL_SE_2008_50cm_OF_rgb_etr_hu30_h10_0531_3-1

Para conseguir un acabado óptimo del modelo se adaptan estas imágenes de dos maneras diferentes; por un lado, se ajustan las imágenes al MDT y, por otro, a los tejados de los modelos vectoriales de edificios.

La primera adaptación se obtiene realizando una triangulación del terreno (desde TerraModeler). Se consigue aplicando la textura de la imagen a la malla de triángulos. El efecto es el de la fig. 37.

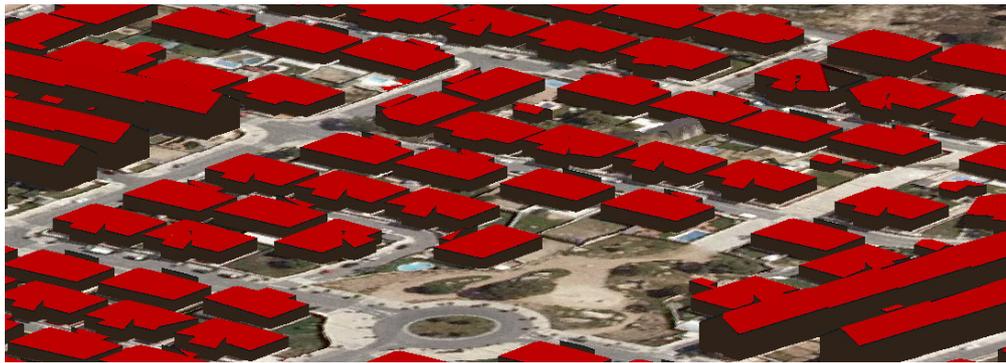


Fig. 37 Renderizado del terreno

Para resolver el acabado de las edificaciones se utiliza la segunda adaptación de texturas. Desde la propia configuración del renderizado (en TerraPhoto) se establece como capa de referencia para la imagen render la capa donde estén dibujados los tejados. Con esto se consigue que el programa al renderizar pegue la textura de la imagen al tejado del edificio (fig. 38).



Fig. 38 Imagen render terreno y edificios

En resumen, como elementos básicos para obtener el modelo 3D se ha incluido una librería de árboles y se han renderizado terreno y edificaciones; sin embargo, existen más elementos susceptibles de incluirse en el modelo 3D; para ello hay disponible en el mercado múltiples librerías de coches, personas, mobiliario urbano... Al ejecutar el renderizado el modelo 3D presenta el acabado de las fig. 39 y 40



Fig. 39 Modelo 3D. Zona boscosa



Fig. 40 Modelo 3D. Zona residencial

Para completar el proceso se crea un video a lo largo de una trayectoria previamente dibujada con las herramientas de dibujo de Microstation. Se fijan valores como número de imágenes por segundo y velocidad de desplazamiento para determinar la calidad de los resultados. Se establece también el punto de vista del observador.

Trabajar en ArcGIS

El interés por automatizar procesos en el campo de los estudios urbanísticos es un aspecto actualmente en auge. Trabajar con una cantidad ingente de datos, dónde el tiempo de producción es un factor importante, y conseguir que de esta información se obtengan de forma mecánica resultados que permitan evaluar el estado actual del desarrollo urbano o las posibilidades que presenta para futuros planeamientos, es un reto en sí mismo.

A continuación se muestra un procedimiento que automatiza la extracción de atributos a partir de los archivos generados en el trabajo con datos LIDAR.

En este apartado se desarrolla un método que soluciona los dos problemas del incremento de volumen de los modelos ráster y vectorial, ya citados en el punto anterior. A través del empleo de máscaras se resuelve el incremento de volumen del edificio en la imagen ráster del MDS, y permite solucionar el incremento del volumen del modelo vectorial del edificio bajo la superficie del MDT. Como resultado final, combinando las dos imágenes ráster y la vectorial, se obtiene una base de datos en la que aparece de manera aislada cada edificación, y se calculan automáticamente parámetros como el área y el volumen de cada una de ellas en un único paso. Existe la posibilidad de implementar funciones para que el programa realice cálculos de manera automática sobre cada edificio, tales como su altura promedio, el tamaño medio de la huella, el volumen promedio de construcción o el número de edificios por hectárea, entre otros.

Conceptos más complejos, desde el punto de vista urbanístico, como el cálculo de la edificabilidad o del aprovechamiento serán abordados más adelante.

Los pasos a seguir en este proceso se repiten para cada unidad urbana consiguiendo independizar resultados de cara a posteriores comparaciones con los datos proporcionados en el PGOU de Ávila.

El trabajo se va a desarrollar con un módulo implementado en ArcGIS, el Spatial Analyst. Al ser el proceso seguido el mismo para todas las unidades la explicación del mismo se va a remitir a una única unidad, la UU. 15 Dehesa del Pinar.

U.U. 15. Dehesa del Pinar

— Gestión de capas

En primer lugar, se incorporan al programa el MDT, el MDS y finalmente la capa vectorial de las edificaciones (fig. 42) de la UU. 15.

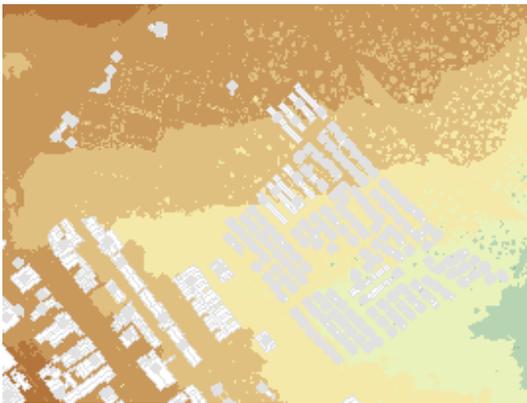


Fig. 41 MDS

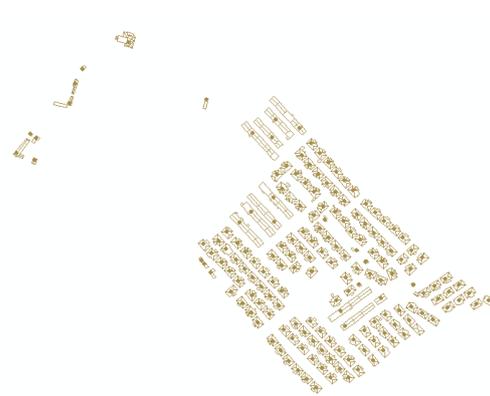


Fig. 42 Archivo vectorial

— Se crea una máscara con la capa vectorial de las edificaciones

El incremento de volumen de la imagen ráster se va a resolver creando una máscara de los modelos vectoriales de los edificios.

— Se aplica la máscara al MDS

Al aplicar la máscara al MDS se reduce este a la cobertura de la máscara, evitando los incrementos de volumen de la imagen ráster.

Como ya se comentó, los edificios que aparecen en el MDS presentan un error volumétrico motivado por la propia triangulación; estos se ensanchan a medida que se aproximan al terreno. Al enmascarar el MDS con los edificios vectorizados, estos “faldones” son excluidos de la superficie de trabajo, eliminándose, de este modo, una de las fuentes de error. (Ver fig.35)

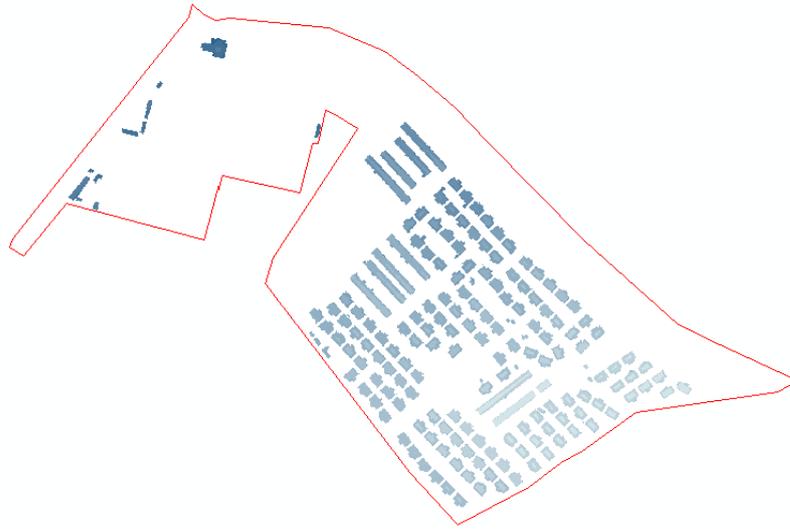


Fig. 43 MDS con máscara

- Se calcula la diferencia entre los dos modelos, MDS con máscara y MDT

Al restar al MDS con máscara el MDT se obtiene una capa ráster que reconoce cada edificación individualmente. El programa las reconoce como entidades independientes con unos determinados atributos.

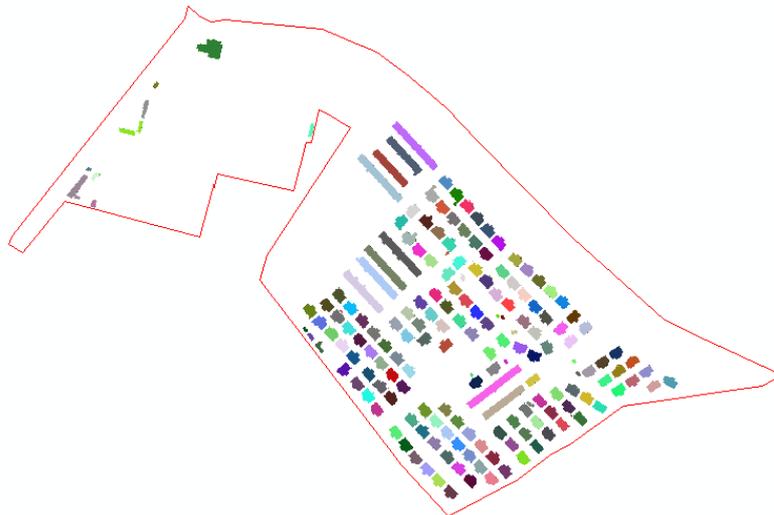


Fig. 44 Edificios generados como entidades independientes

Este paso permite minimizar el error volumétrico resultante de los incrementos en altura que se producen al generar el modelo vectorial de los edificios. (Ver fig. 34)

La capa generada, en la que cada edificio es considerado como una entidad única, tiene asociada una tabla de atributos; en la que se van a disponer como campos la identidad del elemento, su área y su volumen. Bajo estas condiciones es posible realizar múltiples cálculos.

Se puede observar que al realizar el corte entre el MDS con máscara y el MDT aparecen en la tabla de atributos, además de las edificaciones, una serie de elementos en los que el volumen es nulo o tiene valor negativo. Esto es debido a que el MDT se obtiene matemáticamente como un suavizado del MDS, por lo que, en las zonas cercanas a los borde de los edificios puede ocurrir que la superficie calculada para el MDT esté por encima de la superficie del MDS. Esto origina que, en ocasiones, en los límites de las edificaciones, al restar del MDS el MDT el resultado es negativo o nulo, (G. Priestnall et al, 2000).

Se establecen criterios de filtro para eliminar los valores negativos y nulos de volumen. Para ello se hace una selección por atributos considerando sólo valores de volumen mayores que 0. En el filtrado se pueden incluir otros condicionantes con el fin de descartar aquellos elementos que no siendo edificaciones hubieran pasado como tales tras los pasos previos. En este caso, se determina el valor mínimo de huella (40 m^2) y la altura mínima de edificación. La altura mínima empleada ha sido diferente para cada unidad urbana; para su elección se ha contrastado las edificaciones de menor altura de cada UU con los valores catastrales, pudiéndose determinar si es edificación o no lo es. Por ello, se han limitado la altura de la UU. 10 a 2,20 m, la UU. 14 a 2,40 m y las UU. 15 y 16 a 2,00 m.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En los pasos previos partiendo de datos LIDAR se ha generado un modelo vectorial de edificios, un MDS y un MDT. Con estos datos y utilizando sistemas de información geográfica se ha obtenido un modelo ráster de los edificios con atributos.

En los primeros apartados del proyecto se presentaba como objetivo fundamental del mismo la búsqueda de automatismos. Encontrar un proceso que, manejando la cantidad ingente de datos proporcionados por las nubes de puntos LIDAR, permita extraer información con un método automático o semiautomático de amplias zonas urbanas. Con los pasos seguidos con la herramienta ArcGIS se puede considerar alcanzado este propósito. Ahora resta comprobar la validez de los resultados.

A continuación se va, por un lado, a comprobar la validez de los resultados obtenidos y, por otro, a evaluar la utilidad de los mismos con vistas a obtener información relevante en planeamiento urbanístico. Para ello se va a comenzar por una comparación de modelos, LIDAR – ArcGIS y ArcGIS – catastro; seguido por el análisis de distintos atributos obtenidos de las edificaciones y finalmente, se presenta un apartado de otras posibles utilidades de esta metodología.

Comparación de modelos

A continuación se va a comprobar la coherencia existente entre los productos obtenidos de los datos LIDAR y de los resultantes del programa ArcGIS.

También resulta fundamental contrastar estos resultados con otros disponibles en el mercado, con la intención de comprobar su rango de validez. Para ello se ha optado por utilizar los datos de catastro, al considerarse que son los que mejor reflejan la realidad urbanística.

Coherencia entre los resultados del modelo vectorial y el programa ArcGIS

Es importante comprobar que no se ha perdido coherencia al pasar del modelo vector, obtenido a partir de los datos LIDAR, al modelo ráster generado en ArcGIS.

Nuestro primer paso, por tanto, será demostrar que los resultados obtenidos son validos, o lo que es lo mismo, que las áreas obtenidas son similares a las creadas en la vectorización de edificios de los datos LIDAR.

Se han elegido tres edificios de diferentes unidades urbanas y con distinta tipología. En el primer caso, se trata de vivienda unifamiliar perteneciente a la UU. 15 Dehesa del Pinar (id 74, anexo II), el segundo a vivienda adosada (id 45), también en la UU. 15 y, en el tercero, a manzana abierta con patio (id 31), en la UU.16 La Zurra. Los resultados obtenidos son bastante similares en todos los casos (tabla 1); en el primer caso los resultados son idénticos y en el segundo y el tercer supuesto la diferencia es relativamente pequeña.

Tabla 1 Correspondencia modelo vectorial - imagen ráster

<i>Tipología</i>	<i>Superficie Modelo vectorial (m²) (a)</i>	<i>Superficie ráster ArcGIS (m²) (b)</i>
Vivienda unifamiliar (fig. 45)	354,24	354
Vivienda adosada (fig. 46)	1250,08	1239
Manzana abierta con patio (fig. 47)	1754,17	1745

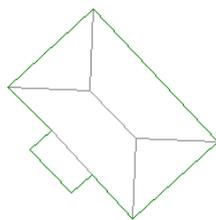
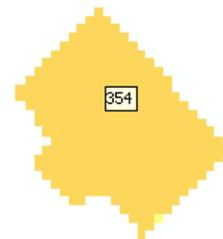


Fig. 45 (a) Modelo vectorial



(b) Modelo ráster

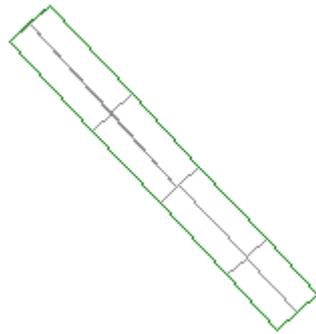
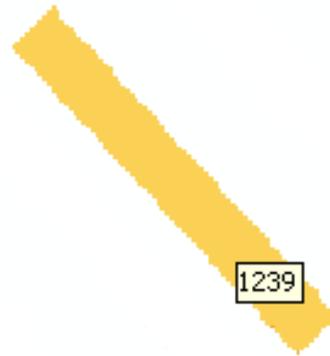


Fig. 46 (a) Modelo vectorial



(b) Modelo ráster

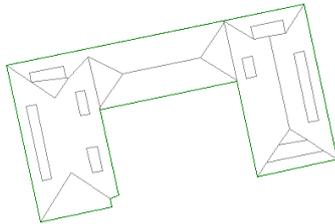
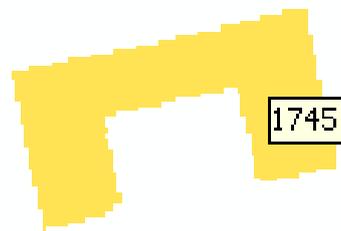


Fig. 47 (a) Modelo vectorial



(b) Modelo ráster

Estas diferencias son debidas a que puede suceder que en los bordes de la edificación el modelo vector sea mayor que el modelo ráster. Se produce, por tanto, al enmascarar el MDS, una selección menor del modelo ráster que la huella del modelo vectorial.

Comparación de huellas: datos LIDAR y ficha catastral

Se opta en esta comprobación por utilizar los mismos edificios empleados para el caso previo de *“coherencia entre los resultados del modelo vectorial y el programa ArcGIS”*.

En este apartado se busca comprobar la relación entre el edificio obtenido y la realidad. Los datos disponibles del catastro son un buen punto de partida para este cometido. En este caso se puede o bien comparar con la superficie medida directamente sobre los planos de catastro, o bien, utilizar las fichas catastrales. Se opta por medir directamente sobre plano. La segunda opción proporciona datos de superficie construida o de suelo; la primera sólo sería válida para viviendas de una planta y la segunda es superficie de parcela, no de edificio.

Para posibilitar su localización a continuación se incluye la referencia catastral de las edificaciones:

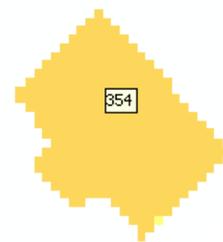
Vivienda unifamiliar	7938205UL5073N0001AL
Vivienda colectiva	7842829UL5074S0001**
Manzana abierta con patio	8632501UL5083S0048YB

Tabla 2 Correspondencia plano catastro - modelo ráster

Tipología	Superficie medida en plano catastro (m²) (a)	Superficie Modelo ráster (m²) (b)
Vivienda unifamiliar (fig. 48)	294	354
Vivienda colectiva (fig. 49)	1174	1239
Manzana abierta con patio (fig. 50)	1505	1745



Fig. 48 (a) Plano catastro



(b) Modelo ráster

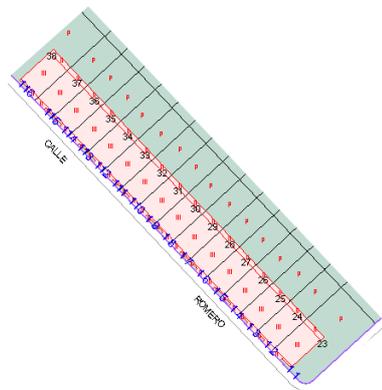


Fig. 49 (a) Plano catastro



(b) Modelo ráster

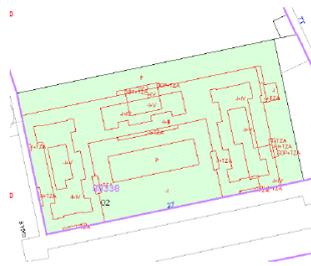
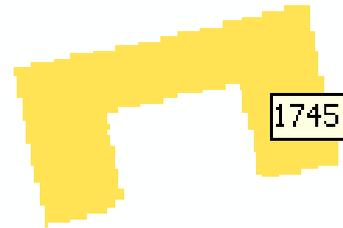


Fig. 50 (a) Plano catastro



(b) Modelo ráster

En este caso las diferencias si son importantes; especialmente en la tipología de vivienda unifamiliar o pareada. Este aumento del tamaño en el modelo ráster está relacionado con la forma de generar el modelo vectorial del edificio a partir de la nube de puntos del tejado; las huellas en el plano catastral son las de las edificaciones mientras que en el modelo ráster son las generadas por el propio tejado de la edificación, produciéndose un aumento que no se va a poder cuantificar arbitrariamente.

Extracción de parámetros urbanísticos

Uno de los objetivos del presente trabajo es poder extraer información individualizada de cada construcción y obtener información acerca de parámetros urbanísticos que puedan resultar relevantes en las unidades urbanas objeto de estudio.

Para ello se van a analizar a continuación los datos obtenidos en la tabla de atributos, como son el área y volumen; para pasar a considerar qué otra información podemos extrapolar de estos datos.

Se evalúa qué factores es preciso considerar para obtener el número de plantas promedio de cada edificio, la superficie construida y la edificabilidad.

Para reflejar más gráficamente los datos obtenidos se presentan cuatro series de planos, en el anexo I, sobre cada aspecto analizado y por cada UU.

El anexo II también es un complemento a este apartado; muestra las tablas de atributos obtenidas de los cálculos en ArcGIS. Para mejorar la identificación de los edificios se dispone de un mapa índice al final de cada listado.

Finalmente se genera una tabla comparativa de las cuatro unidades urbanas donde se reflejan los siguientes valores:

- Número de edificaciones
- Altura media del edificio (H_{med})
- Tamaño de la huella media (A_{med})
- Volumen medio de construcción (V_{med})
- Altura mínima de edificación (H_{min})
- Mínimo tamaño de la huella de construcción (A_{min})
- Volumen mínimo de construcción (V_{min})
- Altura máxima de edificación (H_{max})
- Máximo tamaño de la huella de construcción (A_{max})
- Volumen máximo de construcción (V_{max})
- Desviación estándar de la altura del edificio (σH)
- Desviación estándar del tamaño de la huella (σA)
- Desviación estándar del volumen del edificio (σV)
- Superficie de la Unidad Urbana (m^2)
- Número de edificios por hectárea
- Superficie construida (m^2)
- Edificabilidad promedio

Áreas y volúmenes

Tal como ya se mencionó, directamente del trabajo con el módulo Spatial Analyst, se obtiene una tabla de atributos en la que se identifica las entidades y se determina su área y volumen. (Planos 1 y 2 del anexo I)

La huella de la edificación ya ha sido analizada en el apartado de “Comparación de modelos”, por lo que no se incluye más información al respecto.

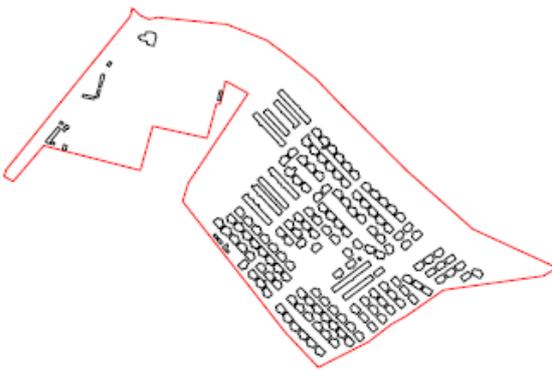


Fig. 51 Huella UU. 15

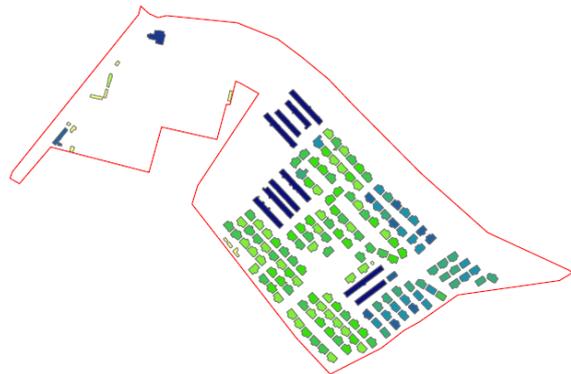


Fig. 52 Volumen UU. 15

Altura promedio de edificios

Se obtiene directamente como cociente entre el volumen y el área del edificio. (Plano 3 del anexo I)

Edificios complejos, como puede ser el hospital de Nuestra Señora de Sonsoles (UU. 16, id 44), con un bloque principal de 10 - 9 alturas y edificaciones anexas de sólo una o dos plantas, no permiten este tipo de cálculos. El hospital presenta una huella en la primera planta muy superior a la existente a partir de la tercera planta. Como resultado se obtiene una edificación de sólo 13,08 m de altura promedio para un edificio de diez plantas.

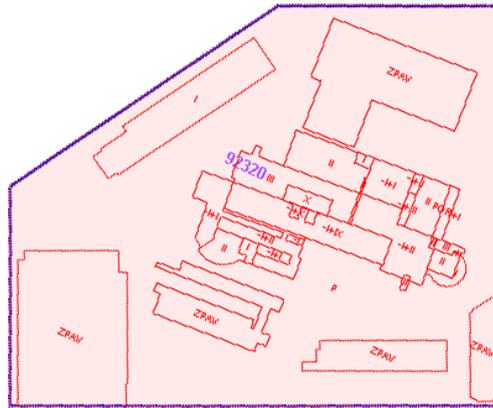


Fig. 53 UU. 16 (Id 44) Hospital. Catastro

Número de plantas edificadas

Se establece una altura media por planta edificada. En consonancia con la bibliografía consultada, esta va a ser diferente dependiendo del uso predominante en la unidad urbana. Así para uso industrial se establece en 4,5 m y para uso predominante residencial variara entre 3,1 m y 3,2 m.

Esta variación se desprende de una comprobación de los resultados obtenidos con los datos de catastro. En el caso de la UU. 15, por ejemplo, se calcula el número de plantas empleando distintas alturas de edificación; los resultados obtenidos se comparan con los datos catastrales, y el mejor resultado se obtiene para alturas de planta de 3,1 m.

Esta altura puede parecer elevada dado que la altura media de los techos es de 2,50 m, pero hay que aumentarla por los forjados y por la elevación que supone el propio tejado.

El número de plantas edificadas se obtiene dividiendo la altura media del edificio entre este valor medio por planta. (Plano 4 del Anexo I). Al igual que en el apartado anterior, de altura de edificación, para edificios con determinadas singularidades sería necesario hacer un estudio individualizado. Tal es el caso del hospital, antes citado; o de centros comerciales (UU. 16, id 19), donde las alturas por planta son muy superiores a la media establecida.

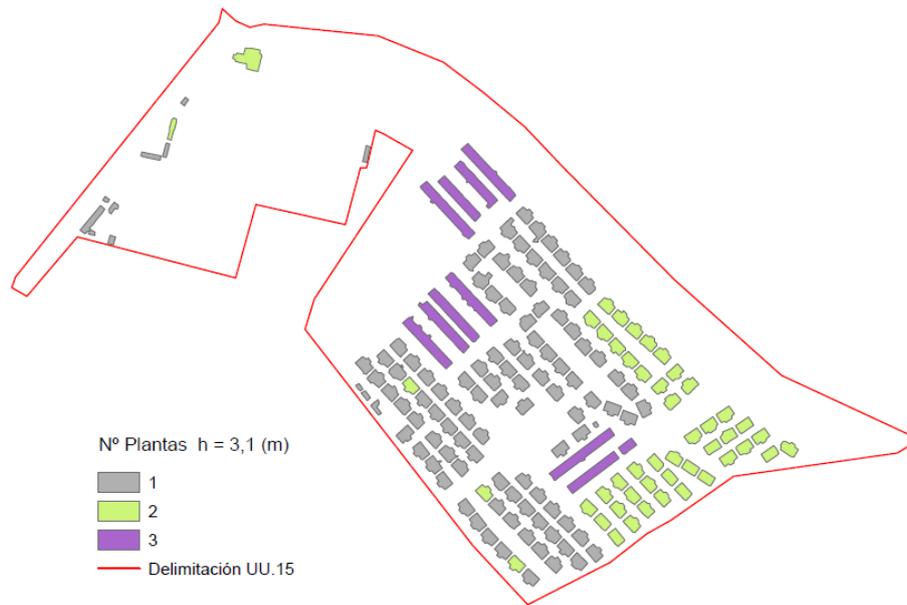


Fig. 54 UU 15 Número de plantas edificadas

En la fig. 54 se muestran los resultados obtenidos para la UU. 15 y con una altura por planta de 3,1 m. Comparando estos datos con los proporcionados por catastro los resultados son muy similares; a excepción de un conjunto de edificaciones (id 130, 137, 139, 144, 145, 146, 150, 151, 152, 156, 159, 164) que se analizarán en el siguiente capítulo sobre “*Detección de irregularidades*”. Los errores detectados son tres edificaciones (id 78, 141, 170) que se clasifican con dos plantas teniendo sólo una. En este caso la altura de las edificaciones está en el límite para detectar dos plantas. Se habría eliminado este error aumentando el valor límite de 3,1 m, pero en este caso concreto, el aumento produce un número mayor de errores en otras edificaciones.

ID	HUELLA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	ALTURA (m)	Nº Plantas	Superficie construida (m ²)
78	345	1.620	4,70	2	690
141	348	1.622	4,66	2	696
170	354	1.658	4,68	2	708

Densidad de edificación

Los conceptos más interesantes a determinar desde el punto de vista urbanístico corresponden a densidad de edificación y edificabilidad

En cuanto a la densidad de edificación, cabe distinguir dos posibilidades: el cálculo del número de viviendas por hectárea y el cálculo del número de m² construidos por hectárea.

En el primer caso (densidad de viv/ha), en planeamiento urbanístico, este cálculo se hace partiendo del número de viviendas y de la superficie neta del sector. A partir de los datos LIDAR se puede, como ya hemos visto, obtener el número de construcciones de la UU, pero no nos proporciona el cómputo del número de viviendas de esas construcciones. Con la información que disponemos no se va a poder conocer automáticamente este valor.

Sin embargo, si vamos a poder obtener un valor aproximado de la densidad de edificación en m²/ha. Partiendo de la superficie de cada edificio y del número de plantas del mismo el cálculo es sencillo; los valores no van a ser totalmente correctos pero si adecuadamente próximos.

Tanto para el cálculo de la densidad de edificación como para el de la edificabilidad se considera el suelo neto, entendiéndose como tal el que se obtiene de restar a la superficie de suelo bruto (superficie según la delimitación de la unidad urbana) la superficie de los sistemas generales. Es decir, para los cálculos debería conocerse la superficie de los sistemas generales, para poder restarla a la ya conocida superficie de delimitación de la unidad urbana. De nuevo, esta información no se puede obtener de los datos LIDAR; para su cómputo sería necesario incluirla a partir de otras fuentes.

En la tabla siguiente se expone las Unidades Urbanas incluidas en el PGOU de Ávila y las densidades previstas para cada una de ellas.

UNIDADES URBANAS			Densidades por Unidad Urbana			
UU	NOMBRE	Superficie (ha.)	Actual		Prevista	
			Densidad Viv/Ha	m ² /Ha	Densidad Viv/Ha	m ² /Ha
1	Recinto Amurallado.	37,12	45,25	8145	45,27	8200
2	Centro.	67,05	54,73	9398	63,83	11490
3	Santiago.	49,28	53,77	6450	55,39	6646
4	Arrabal del Puente.	30,65	13,37	2205	13,37	2205
5	La Encarnación.	92,75	10,83	1824	14,58	2240
6	San Antonio.	65,20	50,15	6510	50,15	6510
7	Santo Tomás Universidad.	90,70	36,71	4870	39,36	5100
8	La Toledana.	97,82	26,78	3213	28,62	3650
9	Hervencias Industrial.	43,40	0	6500	0	6500
10	Hervencias Residencial.	83,17	12,62	2500	12,62	2500
11	Tiro Pichón.	50,23	27,87	2580	27,87	2580
12	Ciudad Deportiva.	35,40	31,07	1150	31,07	1150
13	Valle Ambiés.	88,87	30,38	1620	30,4	1680
14	Hervencias Industrial Bomberos.	64,08	0,31	6300	0,62	7797
15	Dehesa del Pinar.	42,25	9,47	3788	9,47	3788
16	Zurra.	79,38	34,01	5610	34,01	5610
17	Academia.	94,31	7,95	560	9,12	710
18	E. LOCALES MENORES Resid.	91,53	6,77	2030	12,67	3485
TOTAL		1.203,19	Medias 24,41	4180	Medias 26,21	4525

Tabla 3 PGOU Densidades por Unidad Urbana

En el artículo 36 de la Ley 4/2008, de 15 de septiembre, de Medidas sobre Urbanismo y Suelo de Castilla y León se establece en la letra b) del apartado 1 que “En suelo urbano consolidado, cuando ya existan más de 100 viviendas o 15.000 metros cuadrados edificables por hectárea, el planeamiento no podrá contener determinaciones de las que resulte un aumento del aprovechamiento o de la densidad de población totales”.

Los parámetros de densidad de las Unidades Urbanas objeto de estudio son bastante inferiores a los limitados según la Ley 4/2008. Aún así, se observa que con la excepción del suelo industrial no se admiten cambios en la densidad prevista.

El plano 5 del anexo I muestra la superficie promedio construida por edificación.

A partir de los datos disponibles de superficie media construida en la UU y superficie total de la misma, se puede hacer un cálculo aproximado de la densidad media de edificación en m²/ha. Siempre pensando que los resultados van a resultar limitados por las consideraciones ya citadas en el este apartado.

	<i>Densidad (m²/ha) PGOU de Ávila</i>	<i>Densidad (m²/ha) cálculos ArcGIS</i>
UU. 10 Hervencias Residencial	2.500	3.299,60
UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos	6.300	5.257,76
UU. 15 Dehesa del Pinar	3.788	2.581,42
UU. 16 Zurra	5.610	4.451,11

Tabla 4 Comparación de densidades de edificación

En el momento de analizar estos resultados se tiene que tener en cuenta, sobre todo, dos tipos de fuentes de error. Por un lado, la superficie media calculada es probable que sea mayor que la real y, por otro, la superficie de la unidad urbana será también mayor. Como se indicó previamente, para el cálculo de la densidad de edificación se divide la superficie construida entre la superficie neta de la UU y, dado que el valor que se emplea en el presente proyecto es la superficie bruta, los resultados obtenidos deberían variar.

A raíz de los valores alcanzados (tabla 4) se puede suponer que de las dos fuentes de error, va a tener más peso en el cálculo el provocado por el empleo de la superficie bruta de la UU en lugar de la neta. En tres de las unidades la densidad calculada es inferior a la prevista en el PGOU. En la UU. 10, en cambio, se produce un incremento de la densidad calculada respecto a la prevista.

Analizando la tipología de las edificaciones de la UU. 10 se aprecia el predominio de viviendas individuales o pareadas, dónde los errores generados por el cálculo de la huella son mayores que en otro tipo de tipologías. Es posible que este incremento de superficie construida pese más en la estimación de la densidad de edificación que en el resto de unidades urbanas.

Edificabilidad

En el artículo de Bailang Yu et al (2010), se describe un método para determinar la Floor Area Ratio (FAR) a partir de datos LIDAR. La interpretación que hace el artículo del término FAR no es aplicable a la normativa urbanística española. Se define en sentido amplio como el total de suelo edificado dividido por la superficie de parcela.

El concepto de Floor Area Ratio empleado en los textos anglosajones se corresponde, en la normativa urbanística española, con el concepto de edificabilidad; cociente entre la suma de las superficies máxima construida y la superficie del suelo donde se construye, expresada como m² de techo/m² de suelo bruto.

La dificultad de determinar la edificabilidad radica en las diferencias de computo entre las distintas superficies; ya que no todas las superficies tienen la misma edificabilidad y no todos los Planes Generales las computan por igual; así habrá casos en que los sótanos computen al 100 %, al 50 % o no computen, lo mismo ocurre con cuerpos volados, portales, cuartos de instalaciones.... La Ley del Suelo, y en este caso el Reglamento de Urbanismo de Castilla y León no fija qué partes computan íntegras y cuáles no, de ahí la dificultad de una estimación concreta.

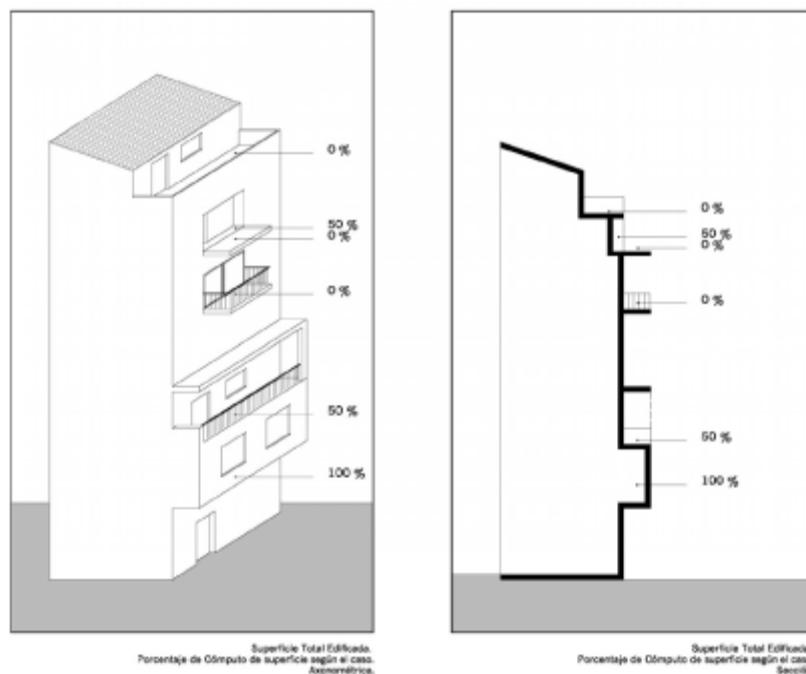


Fig. 55 Ejemplo de cómputo de edificabilidad. Art. 75 PGOU Ávila

En el caso que nos ocupa, el PGOU de Ávila no computa sótanos (si estos están totalmente enterrados) (ver fig. 55), pero sí que se producen variaciones importantes sobre otro tipo de elementos. A continuación se muestra el art. 75, apartado 4 del PGOU de Ávila sobre cómputo de edificabilidad.

Art. 75 PGOU de Ávila sobre cómputo de edificabilidad

4. Superficie total edificada, o techo edificado

A efectos de aplicación del coeficiente de edificabilidad, es la resultante de la suma de las superficies edificadas en todas las plantas, con las precisiones siguientes.

a) Computarán como superficie total edificada todas las plantas, incluidas las superficies de ático y bajo cubierta, buhardillas y trasteros con las siguientes excepciones que no computarán:

- *Planta(s) sótano en todos los usos y ordenanzas.*
- *Espacio de espera de entrada a garaje y rampa de entrada a garaje, excepto en vivienda unifamiliar cuando el garaje se realice en planta baja.*
- *Las calles peatonales de ancho superior a 6,00 metros interiores a centros comerciales pero exteriores a los locales comerciales.*

Aquella porción de planta bajo cubierta susceptible o no de uso que tenga una altura libre interior, inferior a 1,50 metros o sea inaccesible.

- *Los patios interiores abiertos o cerrados, los soportales y las plantas diáfnas, según la definición anterior del art. 74.*
- *Los cuartos de instalaciones e infraestructuras necesarias para el funcionamiento del edificio, con un máximo de 1 m² por vivienda.*
- *Los portales en un 50% de la superficie.*
- *Los soportales de la edificación abiertos a vía pública.*

b) La superficie en planta de los cuerpos salientes computará a efectos del cálculo de la superficie total edificada en las siguientes proporciones:

- *cuerpos salientes cerrados: 100%*
- *cuerpos salientes semicerrados: 50%*
- *cuerpos salientes abiertos: 0%*

c) Las terrazas y porches entrantes computarán a efectos del cálculo de la superficie total edificada en un 50% de su superficie, en un fondo no superior a su altura libre, el resto computará al 100%. Las terrazas descubiertas en planta de cubierta o de ático no computarán.

d) No computarán los volúmenes de las terrazas cerradas cuando sean intervenciones de rehabilitación sobre edificaciones de antigüedad superior a 15 años.

Otro aspecto a tener en cuenta en el cálculo de la edificabilidad es la existencia de elementos que pueden o no computar. Es el caso de los sistemas generales que no computan o de dotaciones urbanísticas no lucrativas que pueden estar exentas del cómputo de edificabilidad. En el art. 86 bis, apartado 3, del Reglamento de Urbanismo de Castilla y León (RUCyL), sobre “*Densidad y edificabilidad en suelo urbano no consolidado y suelo urbanizable*” establece qué superficies se pueden excluir del cómputo de edificabilidad:

3. Para la aplicación de las reglas previstas en este artículo:

- a) Se excluirán de las superficies de referencia los terrenos reservados para sistemas generales.*
- b) No se tendrá en cuenta la edificabilidad destinada a dotaciones urbanísticas públicas.*
- c) Con las limitaciones que se señalen, en su caso, mediante Norma Técnica Urbanística, el Plan General podrá:*
 - 1. Eximir del cómputo de edificabilidad todas o algunas de las dotaciones urbanísticas privadas de carácter no lucrativo.*
 - 2. Eximir del cómputo de edificabilidad otros usos no lucrativos, entendiendo incluidos usos complementarios del principal que sean obligatorios conforme a la normativa.*
 - 3. Establecer coeficientes reductores que se apliquen a la edificabilidad de usos cuya implantación convenga incentivar.*

Como en el apartado anterior, el cálculo se hace a partir del suelo neto por lo que para obtener un resultado adecuado es preciso conocer la superficie de los sistemas generales y restársela al suelo bruto.

En último término, al construir el modelo vectorial, la huella de la edificación va ser la generada a partir del tejado del edificio, mientras que la superficie considerada para el cálculo de edificabilidad es la huella real de ese edificio. Las diferencias en este caso si resultan importantes.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones será importante evaluar si es factible el cálculo de la edificabilidad. Podemos acercarnos al resultado conociendo la existencia de posibles fuentes de error, pero pensando que la edificabilidad obtenida es una primera aproximación al resultado correcto. El calcular la edificabilidad concediéndoles a todas las superficies un valor del 100 % del cómputo puede ser suficientemente válida para unas primeras aproximaciones, como orientación, pero siempre considerando el valor obtenido con cierta reserva.

Con los datos disponibles de superficie de la unidad urbana se podrá calcular, en todo caso, la edificabilidad promedio de la misma, pero siempre resulta interesante, desde el punto de vista urbanístico, el cálculo de la edificabilidad por parcela o por manzana.

Con la herramienta ArcGIS este proceso se puede automatizar, incorporando la información de la parcela o de la manzana como una nueva cobertura en el archivo del ArcGIS. Se añadiría como capa vectorial y se crearía una máscara con ella, permitiendo extraer como dato la superficie de la manzana o de la parcela.

Se muestra como ejemplo una tabla extraída del PP de Dehesa del Pinar (UU. 15) (tabla 5) donde quedan reflejados parámetros urbanísticos por manzana. A destacar el cálculo de la edificabilidad y de la densidad de edificación por manzanas.

Esta tabla, también, es un claro ejemplo de la existencia de superficies que no computan para el cálculo de edificabilidad (Escolar y Deportivo) o computan parcialmente (Servicios Sociales).

TABLA 4. PARAMETROS URBANISTICOS POR MANZANA

MANZANA Nº / ORDENANZA / ALTURA MAXIMA	SUPERFICIE m ²	SUPERFICIE EDIFICABLE LUCRATIVA m ²		Nº MAXIMO DE VIVIEND AS	COEFICIENTE DE EDIFICACION M ² /m ² *
		U.Comercial	U. Residencial		
1 / BA.c / II	33.354	12.000		--	0,36
2 / BA / III	43.717	14.365		112	0,33
3 / BA / III	18.295	3.659		28	0,20
4 / RUI / II	7.036	4.221		20	0,60
5 / RUI / II	8.912	5.347		22	0,60
6 / RUI / II	5.082	2.541		12	0,50
7 / ML / III	11.165	11.165		62	1,00
8 / ML / III	10.952	10.404		73	0,95
		U.Comercial 563	U. Residencial 9.841		
9 / ML / III	9.357	9.357		66	1,00
		U.Comercial 563	U. Residencial 8.794		
10 / RUI / II	15.418	7.709		42	0,50
11 / RUI / II	23.159	10.421		65	0,45
12 / RUI / II	22.758	10.241		61	0,45
EDU: Escolar	12.000	**			
DEP:Deportivo	3.378	**			
IPS Servicios Sociales	2.252	2.252			

V1- LUP	4.770				
V2- LUP	17.770				
V3- LUP	6.440				
TOTAL LUP	28.980				
SISTEMA VIARIO	33.985				
TOTAL SECTOR	289.800	101.430		563	

* Se aplicará únicamente en caso de segregación de parcelas de la manzana correspondiente.

** Superficie edificable según determina la Ordenanza correspondiente.

*** No computa a efectos de la superficie edificable lucrativa del Sector, excepto la reserva de uso comercial que aparece contemplada en las manzanas 8 y 9.

No es posible comparar la edificabilidad obtenida en el presente estudio con los datos proporcionados por la tabla 6, puesto que el Plan Parcial no corresponde a la totalidad de la unidad urbana (10,1 ha).

Tabla de parámetros urbanísticos

	UU. 10	UU. 14	UU. 15	UU. 16
<i>Número de edificaciones</i>	439	83	172	95
<i>Altura media del edificio (m)</i>	6,74	7,23	4,75	9,76
<i>Tamaño de la huella media (m²)</i>	254,56	2.170,59	390,61	1.233,46
<i>Volumen medio (m³)</i>	1.882,08	17.254,83	2.049,94	12.406,49
<i>Altura mínima de edificación (m)</i>	2,21	2,45	2,04	2,19
<i>Huella mínima (m²)</i>	42	40	42	60
<i>Volumen mínimo (m³)</i>	93	148	98	146
<i>Altura máxima de edificación (m)</i>	14,86	12,94	8,42	18,44
<i>Huella máxima (m²)</i>	3.672	16.126	1.401	19.310
<i>Volumen máximo (m³)</i>	28.531	128.359	11.538	150.269
<i>Desviación estándar de la altura (m)</i>	1,79	2,07	1,09	4,45
<i>Desviación estándar de la huella (m²)</i>	318,96	2.431,43	221,77	2.107,78
<i>Desviación estándar del volumen (m³)</i>	3.963,11	19.901,30	2.024,02	18.928,26
<i>Superficie de la Unidad Urbana (ha)</i>	83,17	64,08	42,25	79,38
<i>Número de edificios/hectárea</i>	5,28	1,30	4,07	1,20
<i>Superficie construida (m²)</i>	274.428	336.917	109.065	353.329
<i>Densidad de edificación (m²/ha)</i>	3.299,60	5.257,76	2.581,42	4.451,11
<i>Edificabilidad promedio (m²/m²)</i>	0,33	0,53	0,26	0,45

Tabla 6 Resumen de atributos

Los resultados muestran que los dieciocho edificios señalados corresponden a viviendas de dos plantas, mientras que en el catastro las seis primeras tienen dos plantas (en gris en la tabla 7) y el resto sólo una.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en el proyecto para estas edificaciones. Las alturas son similares para todos los edificios, en torno a 5 m. Si se comparan estos valores con los obtenidos en la misma zona y con la misma tipología para una planta se observa un incremento de la altura de 4 m a 5 m.

Tabla 7 Atributos de los edificios identificados

ID	HUELLA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	ALTURA (m)	Nº Plantas	Superficie construida (m ²)
124	346	1.746	5,05	2	692
126	324	1.708	5,27	2	648
128	327	1.818	5,56	2	654
130	353	1.750	4,96	2	706
132	326	1.876	5,75	2	652
133	323	1.655	5,12	2	646
137	346	1.753	5,07	2	692
139	341	1.850	5,43	2	682
140	327	1.830	5,60	2	654
144	344	1.700	4,94	2	688
145	346	1.843	5,33	2	692
146	345	1.986	5,76	2	690
150	356	1.966	5,52	2	712
151	345	1.837	5,32	2	690
152	339	1.905	5,62	2	678
156	324	1.846	5,70	2	648
159	352	1.952	5,55	2	704
164	324	1.691	5,22	2	648

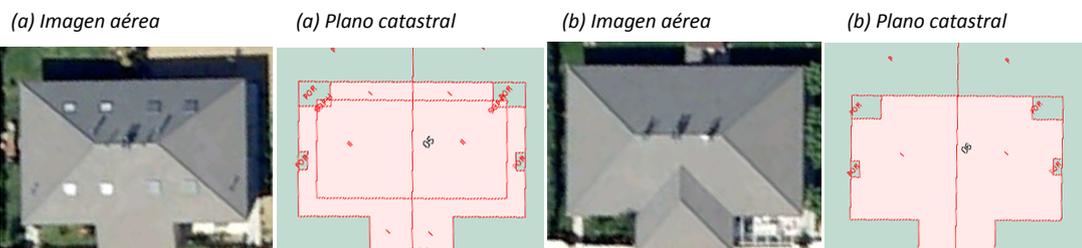


Fig. 60 Edificios de 2 plantas (a) y de 1 planta (b)

En la fig. 60 se muestran los planos catastrales y las imágenes aéreas de los dos tipos de viviendas; la fig. 60 (a) muestra vivienda de dos plantas, la segunda de ellas abuhardillada, y la fig. 60 (b) la vivienda con una planta. Si se compara la imagen del caso (a) (dos plantas) con la imagen de la fig. 57 se ve que los tejados en ambos casos son similares. Probablemente en el caso que nos ocupa se trate de viviendas de dos plantas, en la que el segundo nivel está abuhardillado; en cuyo caso, o las indicaciones del catastro son incorrectas o se trata de un segundo nivel ilegal.

De la misma manera este método va a permitir detectar edificaciones no contempladas en los planes urbanísticos.

CONCLUSIONES

Si bien el uso de datos LIDAR en urbanismo parece muy prometedor, pues presenta una serie de ventajas y potencialidades evidentes frente a otros métodos más clásicos como son los levantamientos topográficos..., a la hora de trabajar con ellos se debe ser consciente de sus limitaciones. Algunas de ellas derivadas de los propios procesos seguidos, que en algunos casos se podrían disminuir, pero otras derivadas de las características propias de los datos originales, que siempre generarán una incertidumbre o un error asociado a cualquier cálculo que se derive de ellos.

En cuanto a las ventajas, se deben mencionar:

- La rapidez con la que se puede extraer información de una zona determinada: con unos buenos datos LIDAR y el software adecuado, se puede obtener una representación cartográfica en un periodo bastante inferior al empleado si se tuviera que realizar un levantamiento tradicional, y con una precisión del orden de centímetros. Es de destacar la importancia que esto tiene en zonas de difícil acceso, o que no disponen de una cartografía previa.
- La rapidez del proceso permite incluso poder realizar modelos en distintos periodos de tiempo, para poder así documentar la evolución de núcleos urbanos, cambios de uso del terreno, etc.
- La facilidad con la que se pueden elaborar representaciones 3D, que van a facilitar la comprensión espacial del entorno. Utilidades como el video del vuelo realizado en el presente proyecto sirven para que personas no familiarizadas con los productos cartográficos puedan entender mejor el entorno.
- Como se ha puesto de manifiesto con varios ejemplos a lo largo del proyecto, la metodología propuesta resulta de utilidad para la detección de elementos que no se ajusten a la normativa, como construcciones ilegales o con alturas distintas a las permitidas.

En cuanto a las fuentes de error inherentes al proceso y que se podrían mejorar, cabe destacar:

- Por un lado, las referentes a los datos de partida (sensor utilizado, planteamiento del vuelo, toma de datos...). Los propios datos siempre van a tener asociado un error debido a la presencia de zonas ocultas, sombras, zonas de poco contraste, etc.

- Aún no existen algoritmos o metodologías que permitan procesos tales como la elaboración de un MDT o la vectorización de edificios y que den unos resultados totalmente satisfactorios. A lo largo del trabajo se han utilizado técnicas que posibilitan disminuir algunos de los errores obtenidos; si bien dicho error nunca se consigue eliminar por completo. Existen diversas metodologías encaminadas a la detección de bordes, identificación de unidades, etc. Actualmente se está trabajando ampliamente en éste campo, y sin duda aún se puede mejorar en tal aspecto. El software empleado tiene una gran potencialidad, ya que al permitir el uso de programación, se puede aspirar a mejorar los algoritmos que utiliza en los diversos procesos.

En cuanto a las fuentes de error difícilmente subsanables, cabe destacar el hecho de que cualquier información que se obtenga a partir de unos datos incompletos llevará un error asociado. Como ya se ha visto, la huella del edificio se calcula a partir del tamaño de su tejado, lo que lleva un error inherente debido a elementos como marquesinas, balcones, cornisas.... Por otra parte, y como es lógico, los datos LIDAR no dan información sobre la división interna del edificio, lo que originará que sea necesario, para deducir variables como el número de plantas, asignar una altura a cada una. Tampoco se tendrá información de factores como el uso del edificio o el número de viviendas, zonas comunes, sótanos... Por supuesto, esta información se podría obtener a partir de otras fuentes, y asignársela como atributo a cada edificio, pero entonces se reducirían los automatismos, y el trabajo emplearía mucho más tiempo .

Es este último aspecto el que se debe destacar, pues uno de los objetivos del presente proyecto era evaluar la utilidad de los datos LIDAR en urbanismo; lo que nos hace concluir que, si bien las estimaciones realizadas pueden ser útiles en una primera aproximación, siempre van a llevar asociadas una incertidumbre imposible de eliminar por completo, por lo que no se podrán alcanzar datos tan precisos como los que ya están disponibles en otras fuentes, como el catastro.

En cuanto a las líneas futuras que se podrían establecer, cabe destacar que se podrían obtener otro conjunto de resultados si se introdujera más información en el modelo. Así, se podrían utilizar, por ejemplo, la delimitación de las parcelas para obtener datos como la edificabilidad por parcela, o mejorar valores como la identificación de plantas si se analizaran las edificaciones de una manera más manual.

*Eugenia Crespo Matellán
Salamanca, junio de 2011*

ÍNDICES

Índice de ilustraciones

Fig. 1 Plano 6 de Unidades Urbanas de PGOU de Ávila	14
Fig. 2 UU. 10 Hervencias Residencial	15
Fig. 3 UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos.....	15
Fig. 4 UU. 15 Dehesa del Pinar	16
Fig. 5 UU. 16 Zurra.....	16
Fig. 6 Información del proyecto	18
Fig. 7 Bloques generados automáticamente.....	18
Fig. 8 Bloques generados manualmente	18
Fig. 9 Bloques del proyecto	19
Fig. 10 Clasificación por líneas de vuelo.....	19
Fig. 11 Clasificación por clase. Puntos de solape	19
Fig. 12 Clasificación de terreno	20
Fig. 13 Clasificación de edificios.....	20
Fig. 14 Detección de árboles.....	21
Fig. 15 Clasificación de vegetación non-ground.....	21
Fig. 16 Clasificación de vegetación por intensidad	21
Fig. 17 Macro para clasificar suelo y vegetación.....	22
Fig. 18 Clasificación de carreteras por intensidad (puntos morados).....	22
Fig. 19 Resultado de la clasificación automática de puntos LIDAR.....	23
Fig. 20 MDT Suelo y edificios. Puntos mal clasificados. Ruido.....	24
Fig. 21 Modelo digital de superficie.....	24
Fig. 22 Piscinas cubiertas clasificadas como edificios	25
Fig. 23 Aparcamientos cubiertos y patios, clasificados como edificios	25
Fig. 24 Marquesinas de zonas comerciales.....	26
Fig. 25 Tejado en zigzag en zona industrial.....	26
Fig. 26 Perfil transversal, tejado en zigzag. Clasificación automática.....	27
Fig. 27 Perfil transversal, tejado en zigzag. Clasificación manual	27
Fig. 28 Check Building Models	29
Fig. 29 Área de estudio Nube de puntos.....	30
Fig. 30 Edificios vectorizados UU. 15 Dehesa del Pinar	31

Fig. 31 Edificios vectorizados UU. 16 La Zurra	31
Fig. 32 Modelo digital del terreno (MDT).....	32
Fig. 33 Modelo digital de superficie (MDS).....	32
Fig. 34 Modelo vectorial y MDS superpuestos. El modelo vectorial penetra en el MDT	33
Fig. 35 Combinación de MDS y edificio vectorizado. La huella del edificio es mayor en la imagen ráster	33
Fig. 36 (a) Detección de árboles (b) Imagen render de árboles.....	34
Fig. 37 Renderizado del terreno.....	35
Fig. 38 Imagen render terreno y edificios	35
Fig. 39 Modelo 3D. Zona boscosa	36
Fig. 40 Modelo 3D. Zona residencial.....	36
Fig. 41 MDS	38
Fig. 42 Archivo vectorial.....	38
Fig. 43 MDS con máscara	39
Fig. 44 Edificios generados como entidades independientes	39
Fig. 45 (a) Modelo vectorial (b) Modelo ráster.....	42
Fig. 46 (a) Modelo vectorial (b) Modelo ráster.....	43
Fig. 47 (a) Modelo vectorial (b) Modelo ráster.....	43
Fig. 48 (a) Plano catastro (b) Modelo ráster	44
Fig. 49 (a) Plano catastro (b) Modelo ráster	44
Fig. 50 (a) Plano catastro (b) Modelo ráster	45
Fig. 51 Huella UU. 15.....	47
Fig. 52 Volumen UU. 15	47
Fig. 53 UU. 16 (Id 44) Hospital. Catastro.....	48
Fig. 54 UU 15 Número de plantas edificadas.....	49
Fig. 55 Ejemplo de cómputo de edificabilidad. Art. 75 PGOU Ávila.....	53
Fig. 56 Plano catastral	59
Fig. 57 Imagen aérea	59
Fig. 58 Identificación de edificios.....	59
Fig. 59 Plano III.4 Número promedio de plantas	59
Fig. 60 Edificios de 2 plantas (a) y de 1 planta (b).....	60

Índice de tablas

Tabla 1 Correspondencia modelo vectorial - imagen ráster	42
Tabla 2 Correspondencia plano catastro - modelo ráster	44
Tabla 3 PGOU Densidades por Unidad Urbana.....	51
Tabla 4 Comparación de densidades de edificación.....	52
Tabla 5 PP "Dehesa del Pinar". Parámetros urbanísticos por manzana	57
Tabla 6 Resumen de atributos	58
Tabla 7 Atributos de los edificios identificados	60

BIBLIOGRAFÍA

- Franz Rottensteiner, Caroline Baillard, Gunho Sohn, Markus Gerke (2011). ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction. ISPRS – Commission III – Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis. <http://www.commission3.isprs.org/wg4/>
- Bailang Yua, Hongxing Liub, Jianping Wua, Yingjie Hua, Li Zhang (2010). Automated derivation of urban building density information using airborne LIDAR data and object-based method. *Landscape and Urban Planning* 98, 210–219
- Mohammad Awrangjeb, Mehdi Ravanbakhsh, Clive S. Fraser (2010). Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65, 457–467
- Yunhao Chen, Wei Su, Jing Li, Zhongping Sun (2009). Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas. *Advances in Space Research* 43, 1101–1110
- B. Babu Madhavan, C. Wang, H. Tanahashi, H. Hirayu, Y. Niwa, K. Yamamoto, K. Tachibana, T. Sasagawa (2006). A computer vision based approach for 3D building modelling of airborne laser scanner DSM data. *Computers, Environment and Urban Systems* 30, 54–77
- Andrew Hudson Smith, Stephen Evans (2005). Virtual cities: from CAD to 3D GIS *Advanced Spatial Analysis*. Paul A. Longley, Michael Batty, editors, 41–60
- Sarah L. Smith (2005). Urban remote sensing: the use of LIDAR in the creation of physical urban models. *Advanced Spatial Analysis*. Paul A. Longley, Michael Batty, editors, 171–190
- Guoqing Zhou, C. Song, J. Simmers, P. Cheng (2004). Urban 3D GIS From LiDAR and digital aerial images. *Computers & Geosciences* 30, 345–353
- Denise Rodbard Falat. Perfilamento a laser para detecção de construções clandestinas e determinação de altura de edificações. ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. <http://www.cartografia.cl/download/106CT03.pdf>
- Ildiko Suveg, George Vosselman (Delft University of Technology, The Netherlands. Section of Photogrammetry and Remote Sensing) (2002). Automatic 3D Building Reconstruction. Three-Dimensional Image Capture and Applications V, Brian D. Corner, Roy P. Pargas, Joseph H. Nurre, Editors, *Proceedings of SPIE Vol. 4661*
- Trent C. Palmer, Jeffrey Shan (2002). A comparative study on urban visualization using LIDAR data in GIS. *URISA Journal*, Vol. 14 Nº 2, 19–25
- Nima Ekhtari, M.R. Sahebi, M.J. Valadan Zoej, A. Mohammadzadeh. Automatic building detection from LIDAR point cloud data. Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, P O Box 15875-4416, Tehran, Iran.

- G. Priestnall, J. Jaafar, A. Duncan. Extracting urban features from LiDAR digital surface models Computers, Environment and Urban Systems 24 (2000) 65-78

- Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por la que se aprueba el texto refundido de la Ley del suelo

- Reglamento de Urbanismo de Castilla y León. Texto aprobado por Decreto 22/2004, de 29 de enero, y modificado por los Decretos 99/2005, de 22 de diciembre, 68/2006, de 5 de octubre, y 6/2008, de 24 de enero. (Histórica)

- Ley 4/2008, de 15 de septiembre, de Medidas sobre Urbanismo y Suelo de Castilla y León

- Reglamento de Urbanismo de Castilla y León. Texto modificado por el Decreto aprobado por el Consejo de Gobierno de la Junta de Castilla y León el 9 de julio de 2009 y publicado en el BOCyL de 17 de julio de 2009 (En vigor)

- Plan General de Ordenación Urbana de Ávila, documento refundido de aprobación definitiva, abril 2005 (Adaptación y revisión del Plan General de Ordenación Urbana de Ávila a la ley 5/1999, de 8 de abril, de Urbanismo de Castilla y León)

- Guía de usuario TerraScan

- Guía de usuario TerraModeler

- Guía de usuario TerraPhoto

- Video tutoriales módulos Terrasolid

- Guía de usuario del ArcGIS

- Guía de usuario del Spatial Analyst

ANEXOS

ANEXO I. Planos

UU. 10 Hervencias Residencial

- Plano I.1 Huella del edificio
- Plano I.2 Volumen del edificio
- Plano I.3 Altura promedio del edificio
- Plano I.4 Número promedio de plantas
- Plano I.5 Superficie promedio edificada

UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos

- Plano II.1 Huella del edificio
- Plano II.2 Volumen del edificio
- Plano II.3 Altura promedio del edificio
- Plano II.4 Número promedio de plantas
- Plano II.5 Superficie promedio edificada

UU. 15 Dehesa del Pinar

- Plano III.1 Huella del edificio
- Plano III.2 Volumen del edificio
- Plano III.3 Altura promedio del edificio
- Plano III.4 Número promedio de plantas
- Plano III.5 Superficie promedio edificada

UU. 16 Zurra

- Plano IV.1 Huella del edificio
- Plano IV.2 Volumen del edificio
- Plano IV.3 Altura promedio del edificio
- Plano IV.4 Número promedio de plantas
- Plano IV.5 Superficie promedio edificada

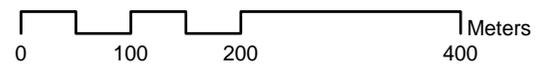
UU.10 Hervencias Residencial

Plano I.1 Huella del edificio



Huella (m²)

- 42 - 85
- 86 - 124
- 125 - 167
- 168 - 224
- 225 - 319
- 320 - 468
- 469 - 717
- 718 - 1218
- 1219 - 1852
- 1853 - 3672



— Delimitación UU.10

UU.10 Hervencias Residencial

Plano I.2 Volumen del edificio



Volumen (m3)

93 - 310

311 - 772

773 - 1043

1044 - 1379

1380 - 1945

1946 - 3120

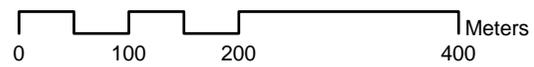
3121 - 6134

6135 - 9975

9976 - 18096

18097 - 28531

— Delimitación UU.10



UU.10 Hervencias Residencial

Plano I.3 Altura promedio del edificio



Altura (m)

2,21 - 3,10

3,11 - 4,00

4,01 - 5,00

5,01 - 6,20

6,21 - 7,00

7,01 - 8,00

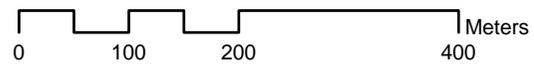
8,01 - 9,30

9,31 - 10,00

10,01 - 12,00

12,01 - 14,86

— Delimitación UU.10



UU.10 Hervencias Residencial

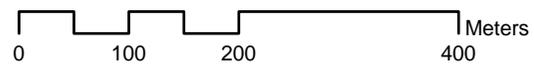
Plano I.4 Número promedio de plantas



Nº Plantas (h = 3,1 m)

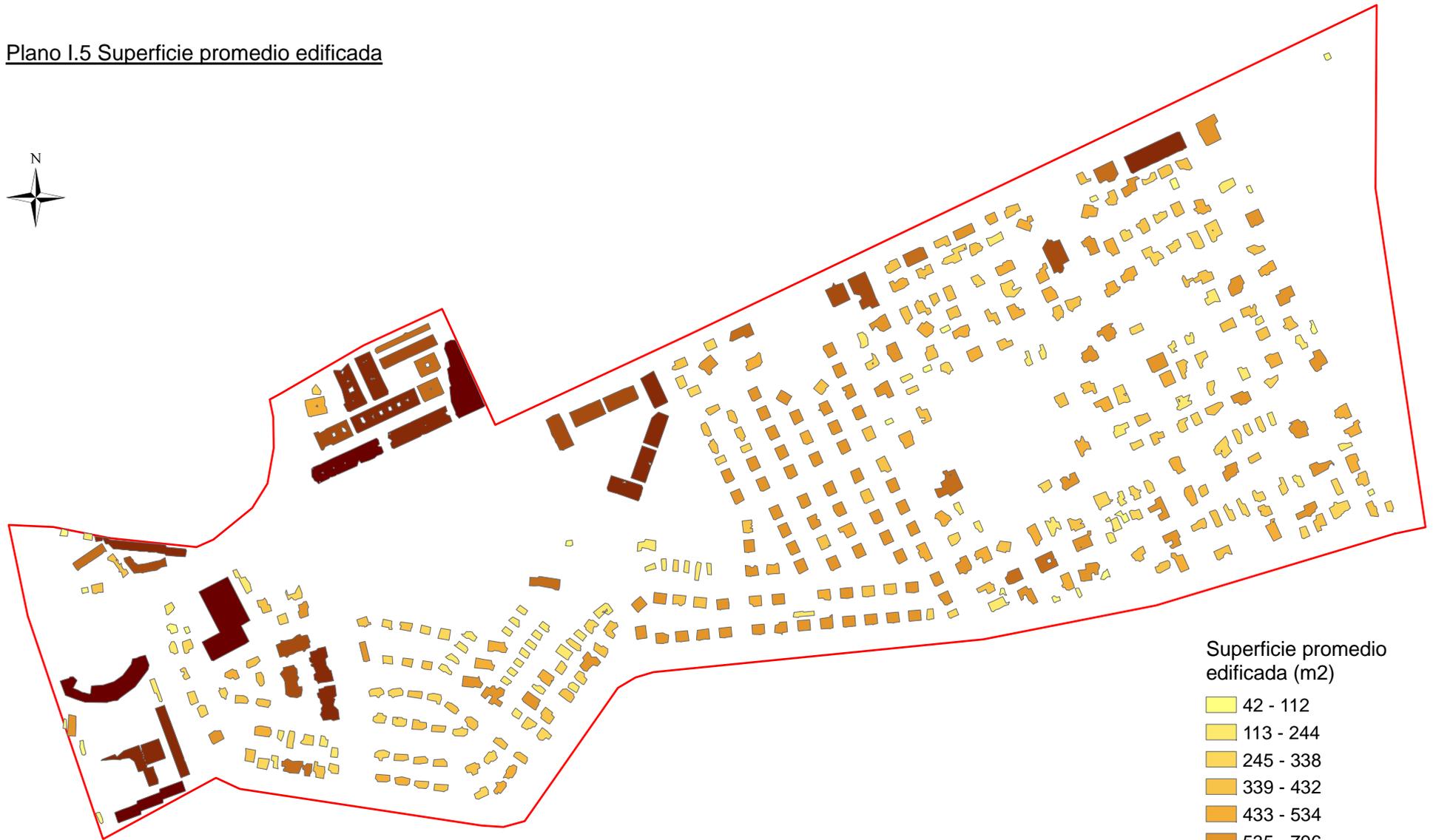
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Delimitación UU.10



UU.10 Hervencias Residencial

Plano I.5 Superficie promedio edificada



Superficie promedio edificada (m²)

42 - 112

113 - 244

245 - 338

339 - 432

433 - 534

535 - 796

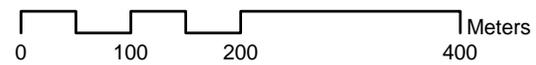
797 - 1306

1307 - 2868

2869 - 5091

5092 - 9372

— Delimitación UU.10



UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Plano II.1 Huella del edificio



UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Plano II.2 Volumen del edificio



UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Plano II.3 Altura promedio del edificio



UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Plano II.4 Número promedio de plantas



Nº Plantas (h = 4.5 m)

1

2

3

Delimitación UU.14



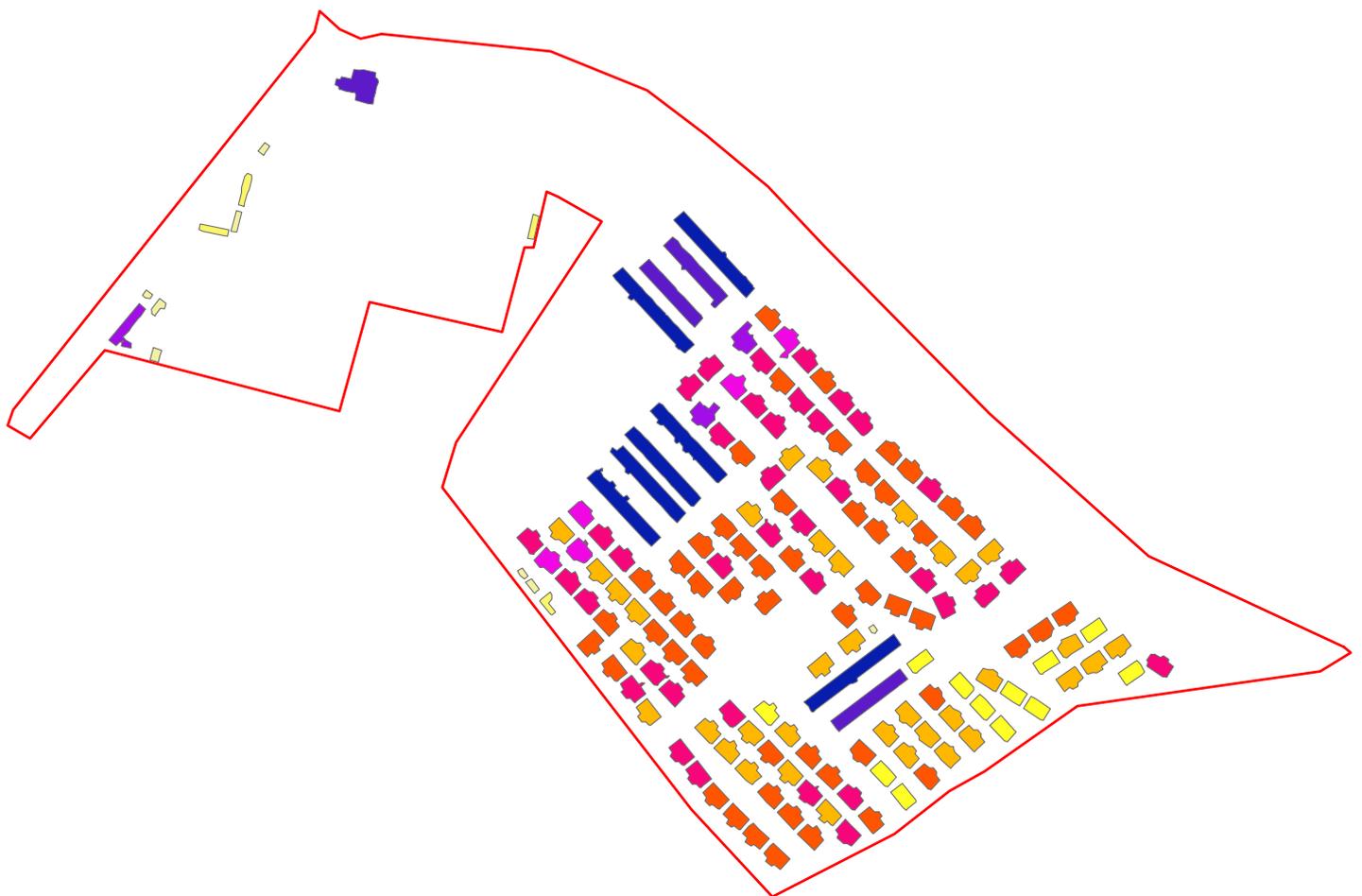
UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Plano II.5 Superficie promedio edificada

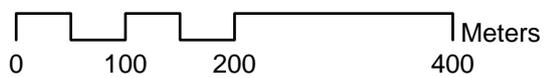
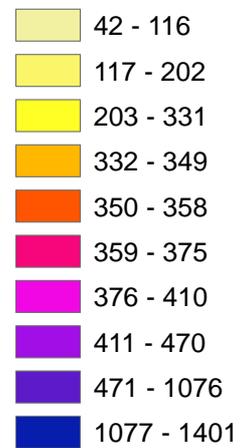


UU.15 Dehesa del Pinar

Plano III.1 Huella del edificio



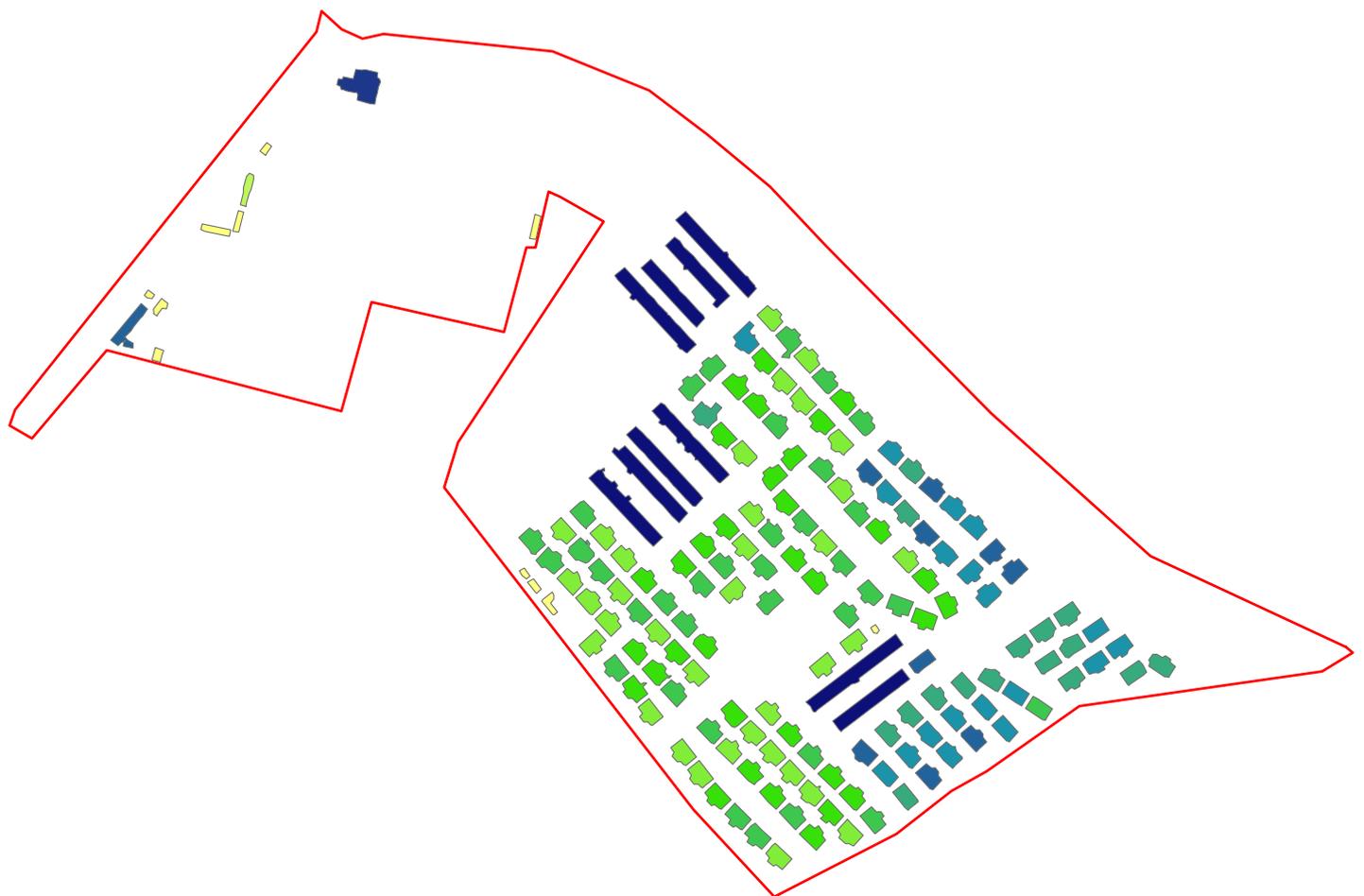
Huella (m²)



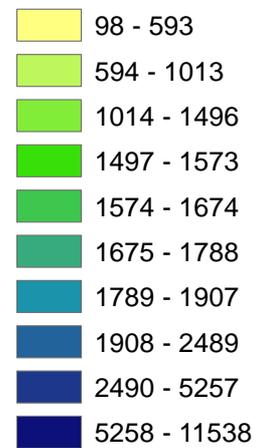
— Delimitación UU.15

UU.15 Dehesa del Pinar

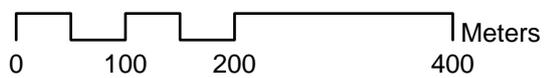
Plano III.2 Volumen del edificio



Volumen (m3)

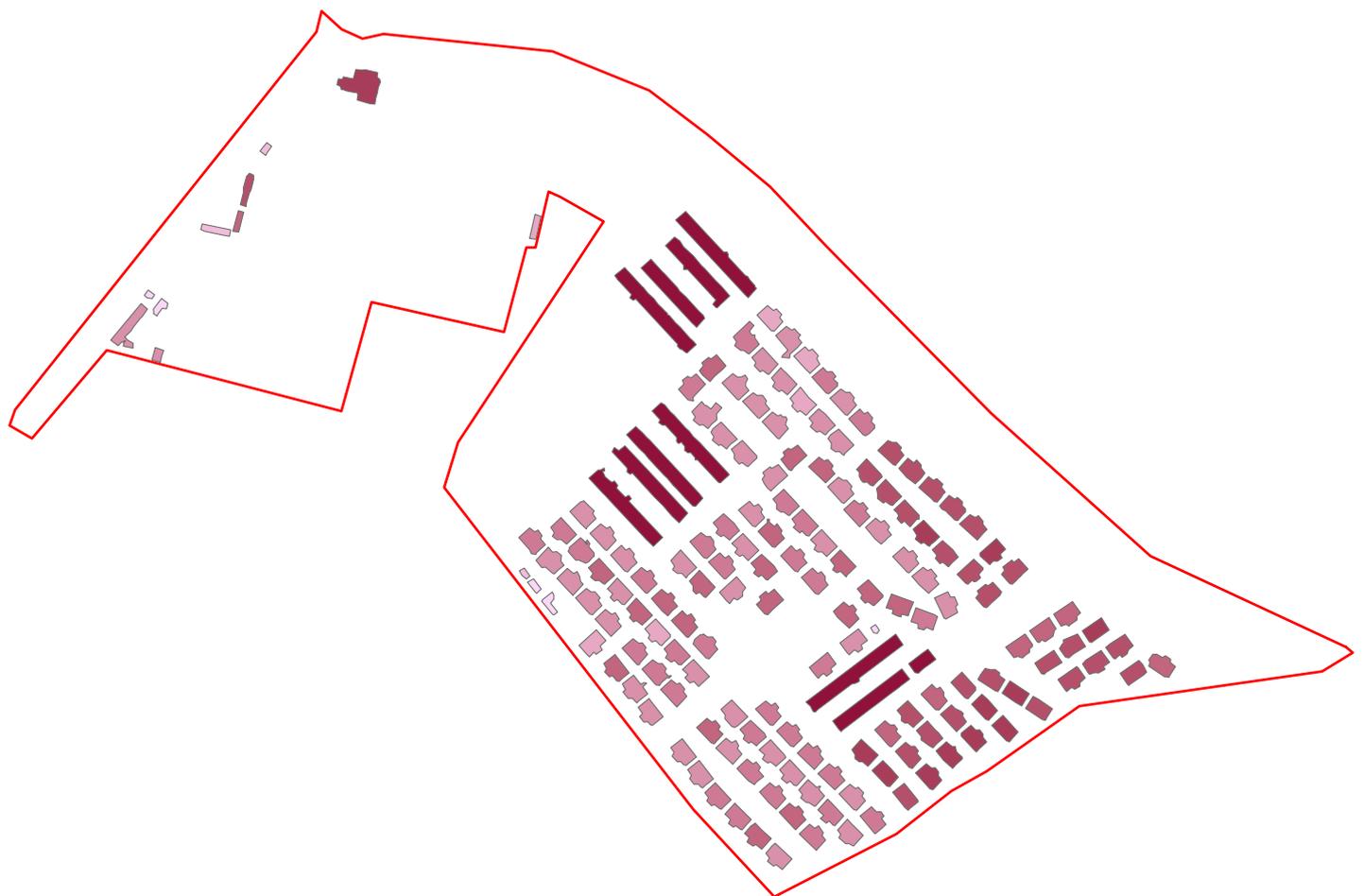


— Delimitación UU.15

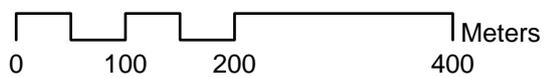
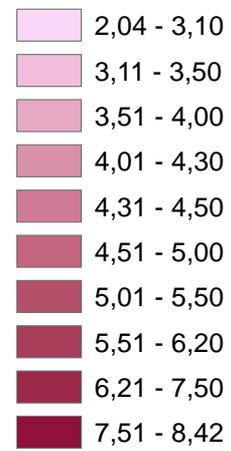


UU.15 Dehesa del Pinar

Plano III.3 Altura promedio del edificio



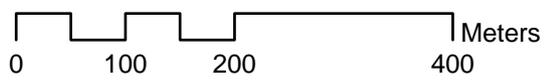
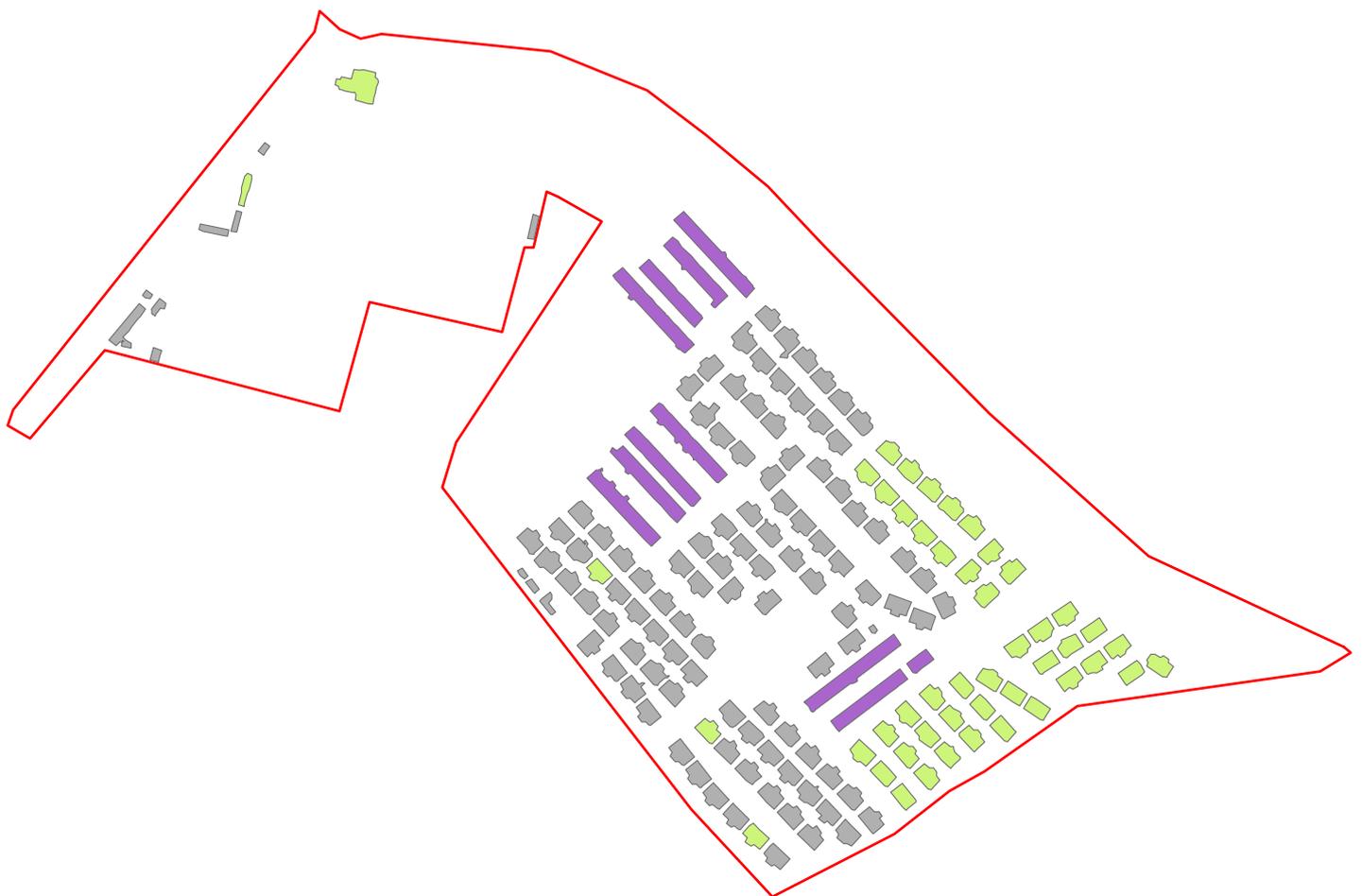
Altura (m)



— Delimitación UU.15

UU.15 Dehesa del Pinar

Plano III.4 Número promedio de plantas



Nº Plantas h = 3,1 (m)

1

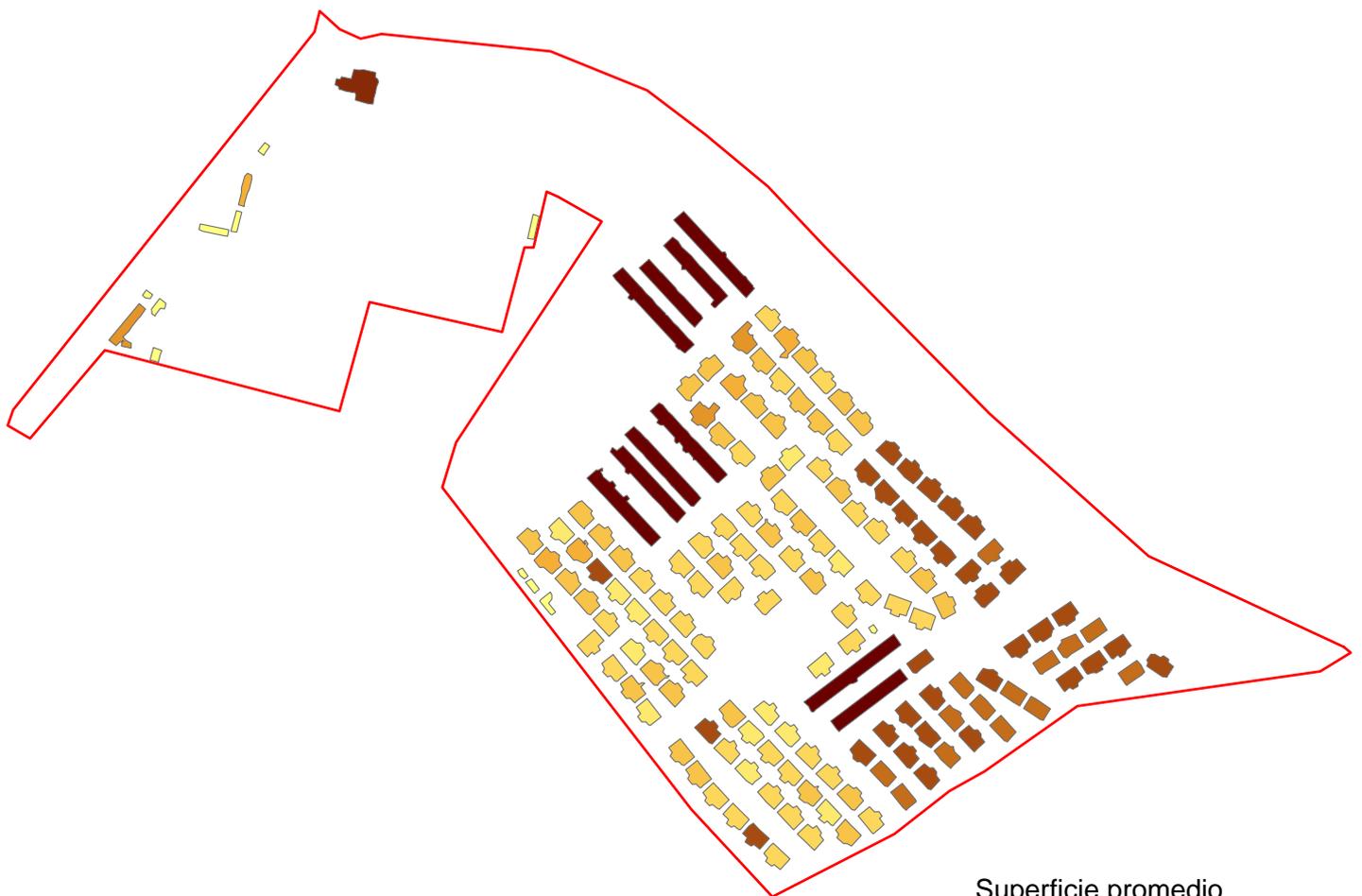
2

3

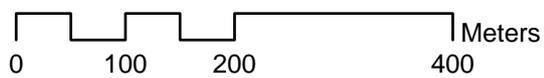
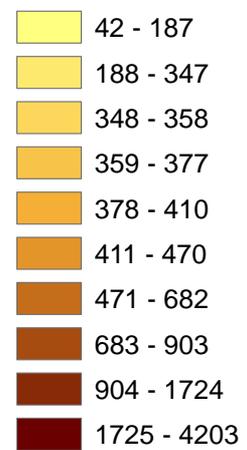
— Delimitación UU.15

UU.15 Dehesa del Pinar

Plano III.5 Superficie promedio edificada



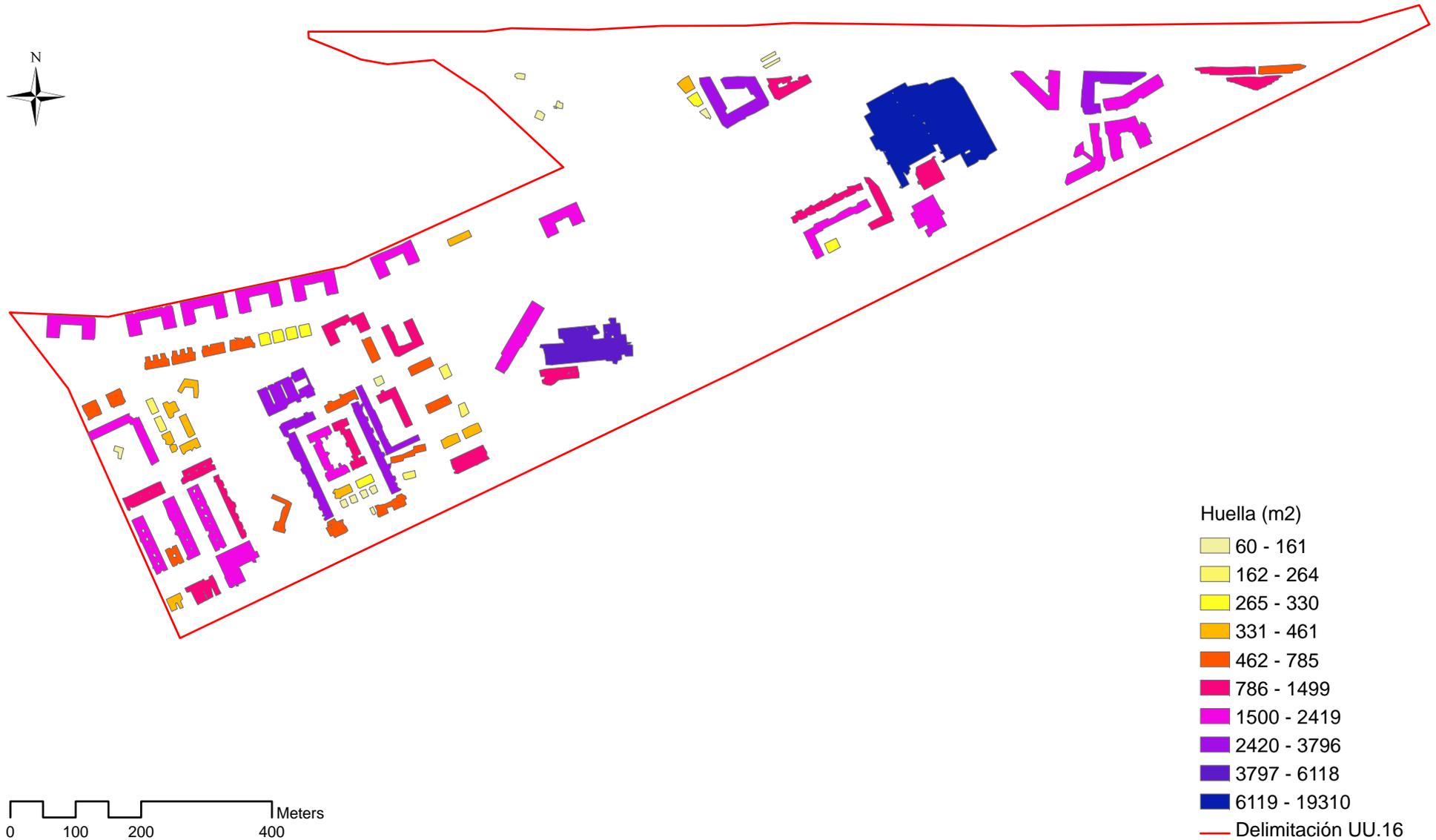
Superficie promedio edificada (m²)



— Delimitación UU.15

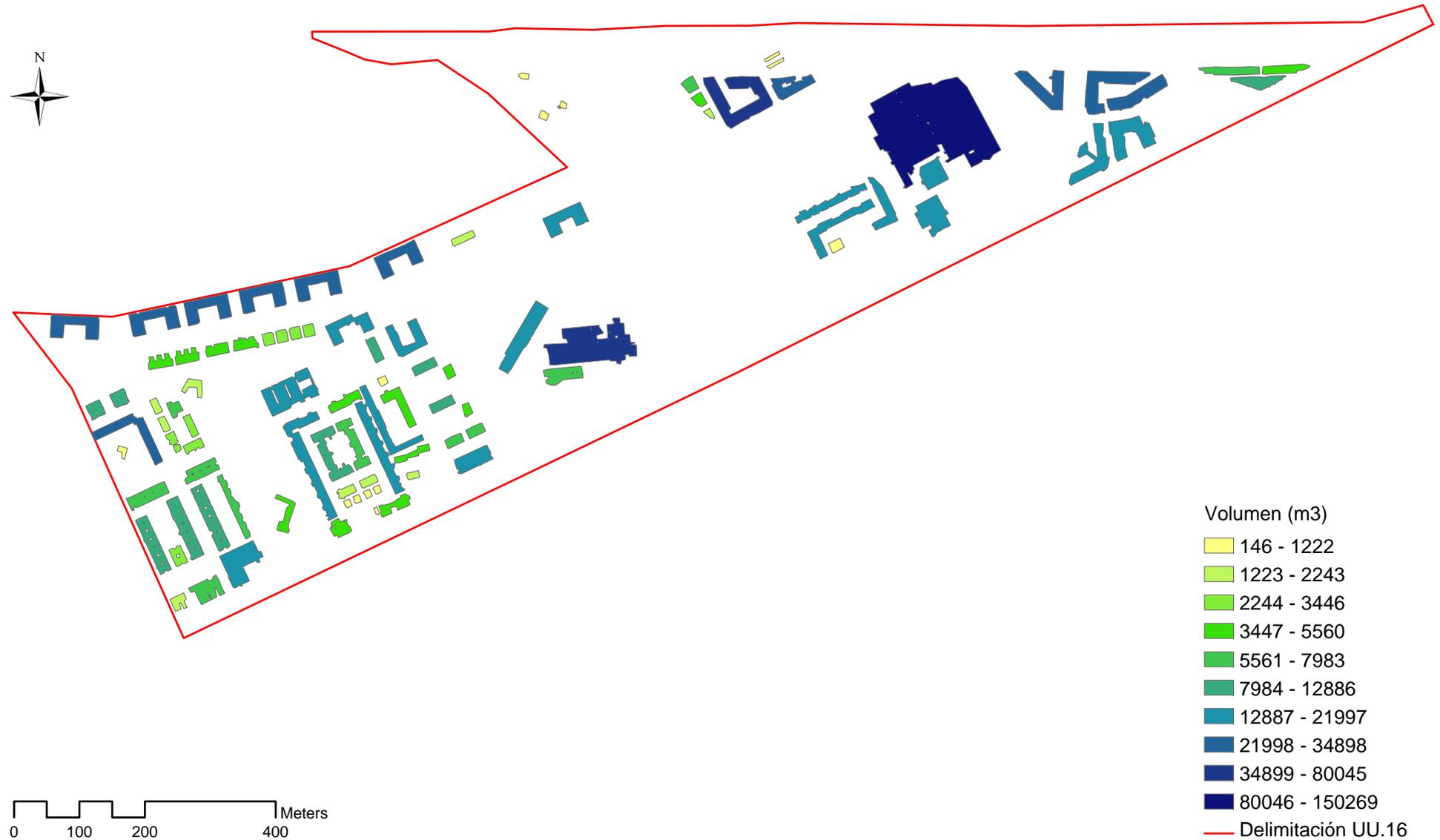
UU.16 Zurra

Plano IV.1 Huella del edificio



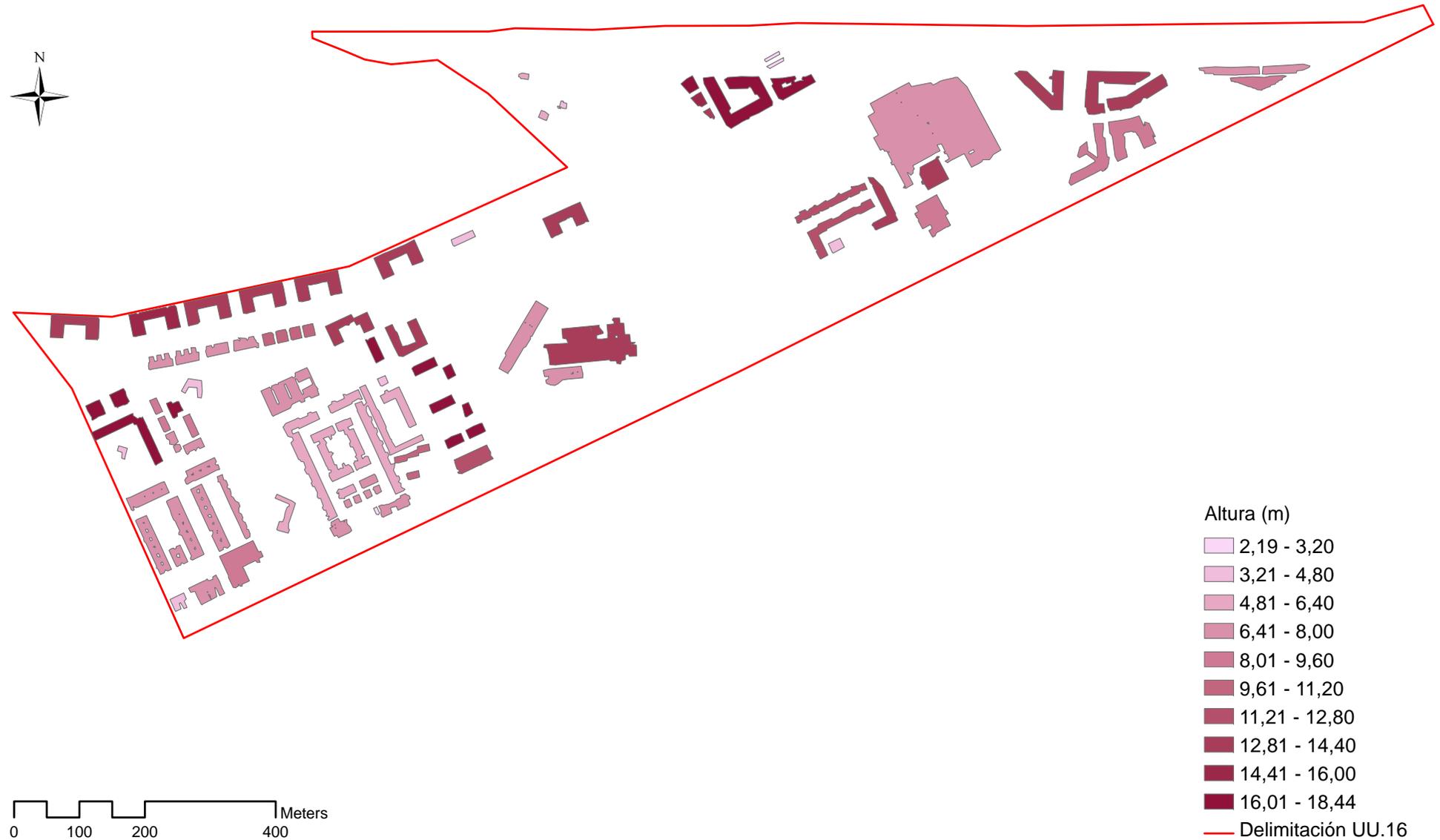
UU.16 Zurra

Plano IV.2 Volumen del edificio



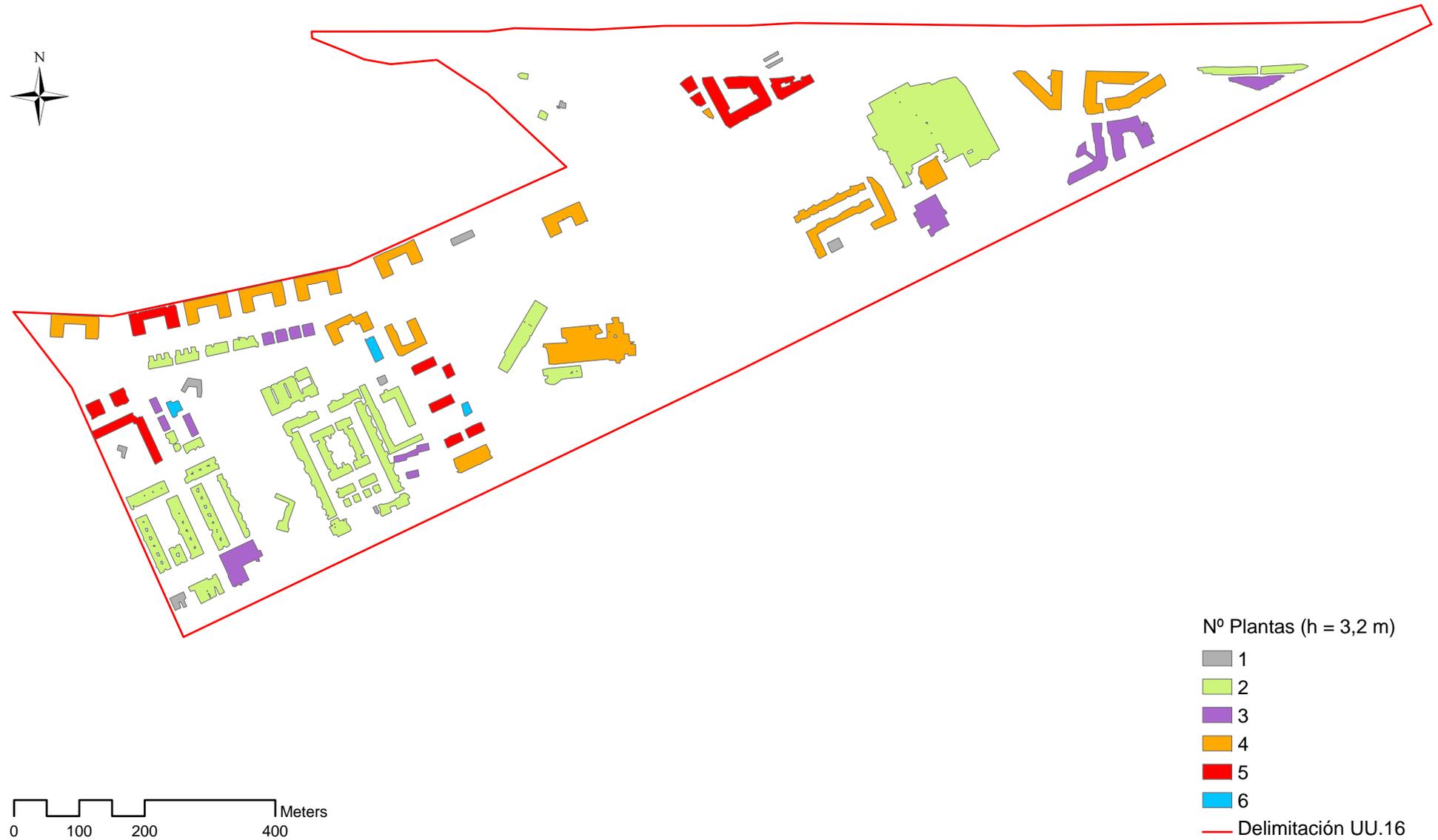
UU.16 Zurra

Plano IV.3 Altura promedio del edificio



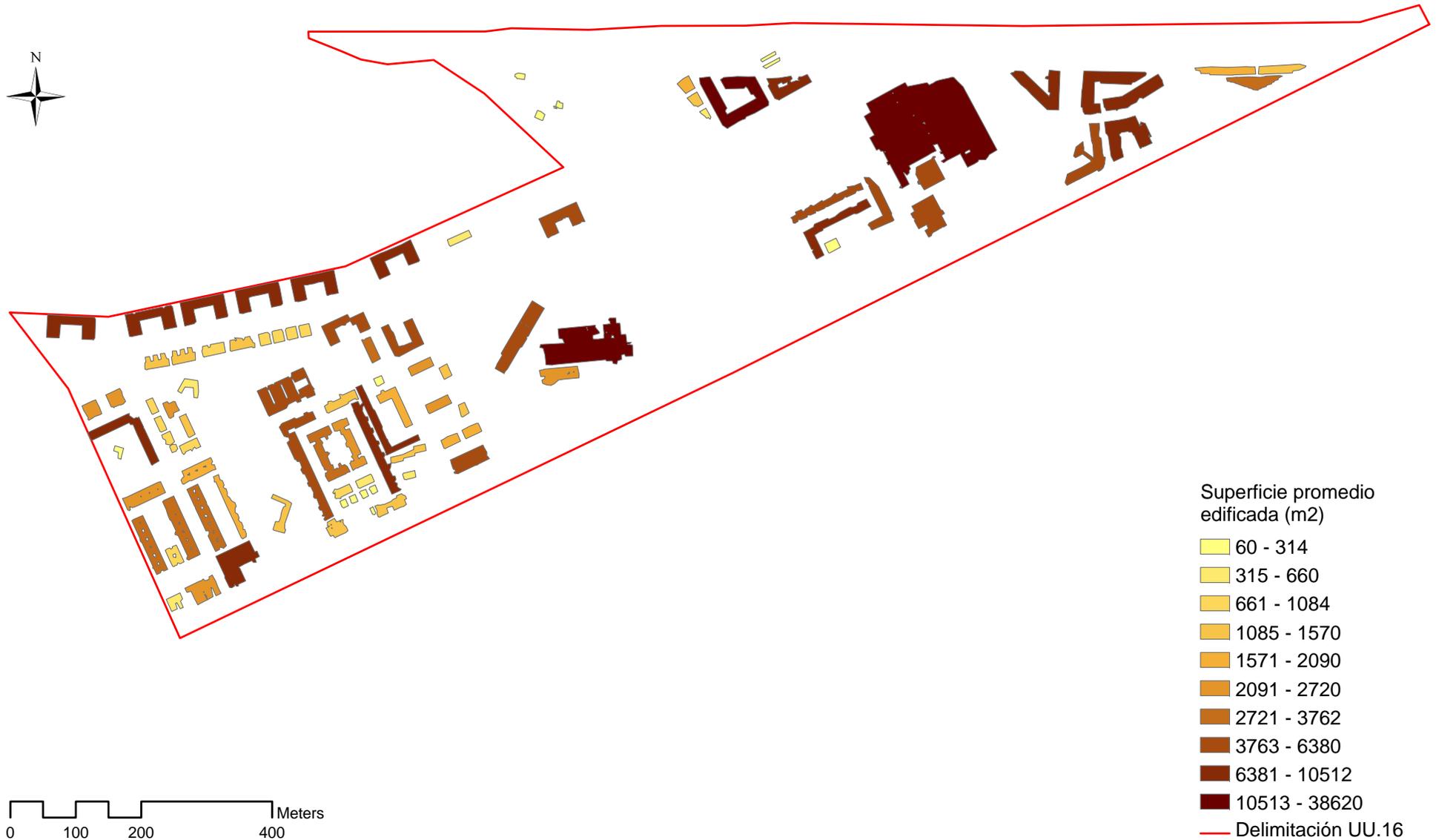
UU.16 Zurra

Plano IV.4 Número promedio de plantas



UU.16 Zurra

Plano IV.5 Superficie promedio edificada



ANEXO II. Tablas de atributos

UU. 10 Hervencias Residencial

Tabla

Plano. Identificación de edificios

UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos

Tabla

Plano. Identificación de edificios

UU. 15 Dehesa del Pinar

Tabla

Plano. Identificación de edificios

UU. 16 Zurra

Tabla

Plano. Identificación de edificios

UU. 10 Hervencias Residencial

ID	HUELLA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	ALTURA (m)	Nº Plantas	Superficie construida (m ²)
1	54	148	2,74	1	54
2	690	2.665	3,86	1	690
3	189	927	4,90	2	378
4	1.682	14.266	8,48	3	5.046
5	202	1.093	5,41	2	404
6	508	3.346	6,59	2	1.016
7	137	1.126	8,22	3	411
8	131	616	4,70	2	262
9	102	299	2,93	1	102
10	215	939	4,37	1	215
11	44	117	2,66	1	44
12	273	1.366	5,00	2	546
13	55	143	2,60	1	55
14	186	920	4,95	2	372
15	246	1.457	5,92	2	492
16	190	1.452	7,64	2	380
17	199	1.317	6,62	2	398
18	252	1.772	7,03	2	504
19	147	999	6,80	2	294
20	150	1.224	8,16	3	450
21	298	1.945	6,53	2	596
22	217	1.406	6,48	2	434
23	184	1.364	7,41	2	368
24	290	2.021	6,97	2	580
25	148	924	6,24	2	296
26	336	1.521	4,53	1	336
27	181	724	4,00	1	181
28	178	1.021	5,74	2	356
29	261	1.060	4,06	1	261
30	160	839	5,24	2	320
31	286	1.460	5,10	2	572
32	172	1.158	6,73	2	344
33	175	1.111	6,35	2	350
34	239	1.741	7,28	2	478
35	315	1.299	4,12	1	315
36	298	1.318	4,42	1	298
37	422	3.120	7,39	2	844
38	202	1.139	5,64	2	404
39	808	6.134	7,59	2	1.616
40	266	1.554	5,84	2	532
41	232	1.310	5,65	2	464
42	203	1.318	6,49	2	406
43	243	1.353	5,57	2	486
44	219	1.309	5,98	2	438
45	146	920	6,30	2	292
46	342	1.230	3,60	1	342

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
47	243	1.288	5,30	2	486
48	329	1.816	5,52	2	658
49	309	1.230	3,98	1	309
50	224	1.326	5,92	2	448
51	185	968	5,23	2	370
52	238	1.148	4,82	2	476
53	216	977	4,52	1	216
54	117	964	8,24	3	351
55	324	1.861	5,74	2	648
56	541	4.252	7,86	3	1.623
57	909	5.323	5,86	2	1.818
58	211	1.238	5,87	2	422
59	193	1.231	6,38	2	386
60	204	1.144	5,61	2	408
61	186	1.043	5,61	2	372
62	249	1.402	5,63	2	498
63	178	870	4,89	2	356
64	195	1.028	5,27	2	390
65	174	904	5,20	2	348
66	78	536	6,87	2	156
67	184	1.291	7,02	2	368
68	308	1.474	4,79	2	616
69	199	1.287	6,47	2	398
70	73	216	2,96	1	73
71	82	188	2,29	1	82
72	139	759	5,46	2	278
73	242	1.377	5,69	2	484
74	229	1.262	5,51	2	458
75	181	846	4,67	2	362
76	349	2.898	8,30	3	1.047
77	296	1.412	4,77	2	592
78	115	708	6,16	2	230
79	169	751	4,44	1	169
80	143	638	4,46	1	143
81	171	867	5,07	2	342
82	148	858	5,80	2	296
83	83	519	6,25	2	166
84	508	3.419	6,73	2	1.016
85	190	1.590	8,37	3	570
86	106	577	5,44	2	212
87	202	1.482	7,34	2	404
88	287	1.651	5,75	2	574
89	231	1.079	4,67	2	462
90	277	1.566	5,65	2	554
91	102	547	5,36	2	204
92	169	847	5,01	2	338
93	254	1.700	6,69	2	508
94	983	7.479	7,61	2	1.966
95	174	1.132	6,51	2	348
96	167	819	4,90	2	334

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
97	259	1.543	5,96	2	518
98	342	1.852	5,42	2	684
99	67	188	2,81	1	67
100	389	2.182	5,61	2	778
101	148	873	5,90	2	296
102	287	1.435	5,00	2	574
103	563	4.353	7,73	2	1.126
104	192	1.590	8,28	3	576
105	192	946	4,93	2	384
106	152	697	4,59	1	152
107	99	758	7,66	2	198
108	249	1.644	6,60	2	498
109	139	904	6,50	2	278
110	141	1.012	7,18	2	282
111	194	1.102	5,68	2	388
112	94	867	9,22	3	282
113	184	1.368	7,43	2	368
114	98	763	7,79	3	294
115	129	826	6,40	2	258
116	146	1.120	7,67	2	292
117	288	1.888	6,56	2	576
118	181	1.496	8,27	3	543
119	1.170	9.975	8,53	3	3.510
120	184	1.549	8,42	3	552
121	570	4.382	7,69	2	1.140
122	285	1.242	4,36	1	285
123	193	1.505	7,80	3	579
124	277	1.782	6,43	2	554
125	189	1.294	6,85	2	378
126	764	8.567	11,21	4	3.056
127	215	909	4,23	1	215
128	1.128	9.249	8,20	3	3.384
129	751	7.515	10,01	3	2.253
130	241	1.473	6,11	2	482
131	127	1.195	9,41	3	381
132	208	1.087	5,23	2	416
133	188	1.498	7,97	3	564
134	491	1.584	3,23	1	491
135	2.452	23.633	9,64	3	7.356
136	254	1.796	7,07	2	508
137	190	1.569	8,26	3	570
138	192	1.572	8,19	3	576
139	132	1.204	9,12	3	396
140	204	1.086	5,32	2	408
141	190	1.575	8,29	3	570
142	53	121	2,28	1	53
143	141	766	5,43	2	282
144	104	789	7,59	2	208
145	188	967	5,14	2	376
146	783	7.635	9,75	3	2.349

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
147	154	811	5,27	2	308
148	134	788	5,88	2	268
149	1.697	14.503	8,55	3	5.091
150	196	1.573	8,03	3	588
151	98	772	7,88	3	294
152	133	1.264	9,50	3	399
153	223	1.062	4,76	2	446
154	205	948	4,62	1	205
155	382	2.517	6,59	2	764
156	192	1.501	7,82	3	576
157	138	1.241	8,99	3	414
158	190	1.471	7,74	2	380
159	127	885	6,97	2	254
160	176	1.525	8,66	3	528
161	172	1.161	6,75	2	344
162	762	9.373	12,30	4	3.048
163	1.614	13.624	8,44	3	4.842
164	252	1.678	6,66	2	504
165	854	7.673	8,98	3	2.562
166	796	8.071	10,14	3	2.388
167	123	812	6,60	2	246
168	108	761	7,05	2	216
169	102	846	8,29	3	306
170	130	1.203	9,25	3	390
171	193	1.591	8,24	3	579
172	231	1.143	4,95	2	462
173	311	1.424	4,58	1	311
174	192	1.575	8,20	3	576
175	120	963	8,03	3	360
176	102	809	7,93	3	306
177	195	1.635	8,38	3	585
178	197	1.661	8,43	3	591
179	214	1.344	6,28	2	428
180	265	1.594	6,02	2	530
181	242	1.415	5,85	2	484
182	295	1.395	4,73	2	590
183	188	1.507	8,02	3	564
184	269	1.341	4,99	2	538
185	770	9.440	12,26	4	3.080
186	180	1.452	8,07	3	540
187	1.852	15.210	8,21	3	5.556
188	190	1.543	8,12	3	570
189	201	1.141	5,68	2	402
190	120	716	5,97	2	240
191	277	1.745	6,30	2	554
192	192	1.543	8,04	3	576
193	193	1.507	7,81	3	579
194	143	919	6,43	2	286
195	127	724	5,70	2	254
196	146	813	5,57	2	292

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
197	155	1.023	6,60	2	310
198	188	1.476	7,85	3	564
199	45	126	2,80	1	45
200	120	949	7,91	3	360
201	653	3.345	5,12	2	1.306
202	146	830	5,68	2	292
203	788	9.557	12,13	4	3.152
204	147	845	5,75	2	294
205	190	1.457	7,67	2	380
206	189	1.508	7,98	3	567
207	122	792	6,49	2	244
208	245	1.633	6,67	2	490
209	197	1.553	7,88	3	591
210	272	1.192	4,38	1	272
211	96	854	8,90	3	288
212	193	1.579	8,18	3	579
213	98	582	5,94	2	196
214	190	1.524	8,02	3	570
215	151	723	4,79	2	302
216	170	913	5,37	2	340
217	172	1.104	6,42	2	344
218	333	1.527	4,59	1	333
219	196	1.586	8,09	3	588
220	145	880	6,07	2	290
221	275	1.872	6,81	2	550
222	319	2.230	6,99	2	638
223	138	730	5,29	2	276
224	109	310	2,84	1	109
225	187	1.531	8,19	3	561
226	222	1.421	6,40	2	444
227	173	872	5,04	2	346
228	190	1.546	8,14	3	570
229	208	1.208	5,81	2	416
230	173	1.068	6,17	2	346
231	92	569	6,18	2	184
232	166	739	4,45	1	166
233	205	991	4,83	2	410
234	172	1.298	7,55	2	344
235	66	279	4,23	1	66
236	184	1.459	7,93	3	552
237	229	1.062	4,64	1	229
238	187	1.456	7,79	3	561
239	223	1.712	7,68	2	446
240	124	767	6,19	2	248
241	84	436	5,19	2	168
242	267	1.321	4,95	2	534
243	108	718	6,65	2	216
244	197	1.587	8,06	3	591
245	53	171	3,23	1	53
246	163	1.097	6,73	2	326

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
247	257	1.719	6,69	2	514
248	281	1.584	5,64	2	562
249	191	1.468	7,69	2	382
250	238	939	3,95	1	238
251	332	1.900	5,72	2	664
252	186	1.459	7,84	3	558
253	192	1.442	7,51	2	384
254	181	1.439	7,95	3	543
255	1.092	9.086	8,32	3	3.276
256	193	1.638	8,49	3	579
257	207	1.374	6,64	2	414
258	248	1.745	7,04	2	496
259	190	1.263	6,65	2	380
260	254	1.672	6,58	2	508
261	190	1.533	8,07	3	570
262	454	2.327	5,13	2	908
263	80	552	6,90	2	160
264	200	1.613	8,07	3	600
265	79	557	7,05	2	158
266	87	742	8,53	3	261
267	256	1.342	5,24	2	512
268	549	4.684	8,53	3	1.647
269	85	617	7,26	2	170
270	412	1.930	4,68	2	824
271	174	1.163	6,68	2	348
272	198	1.639	8,28	3	594
273	280	1.567	5,60	2	560
274	75	533	7,11	2	150
275	176	1.470	8,35	3	528
276	180	1.462	8,12	3	540
277	198	1.018	5,14	2	396
278	78	212	2,72	1	78
279	118	717	6,08	2	236
280	374	2.030	5,43	2	748
281	277	2.256	8,14	3	831
282	180	1.439	7,99	3	540
283	431	3.371	7,82	3	1.293
284	235	1.674	7,12	2	470
285	190	1.509	7,94	3	570
286	47	223	4,74	2	94
287	144	1.187	8,24	3	432
288	222	905	4,08	1	222
289	181	1.093	6,04	2	362
290	186	1.439	7,74	2	372
291	43	99	2,30	1	43
292	191	1.435	7,51	2	382
293	53	136	2,57	1	53
294	190	1.533	8,07	3	570
295	167	988	5,92	2	334
296	177	1.379	7,79	3	531

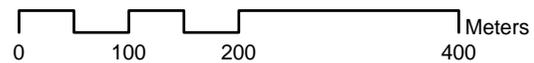
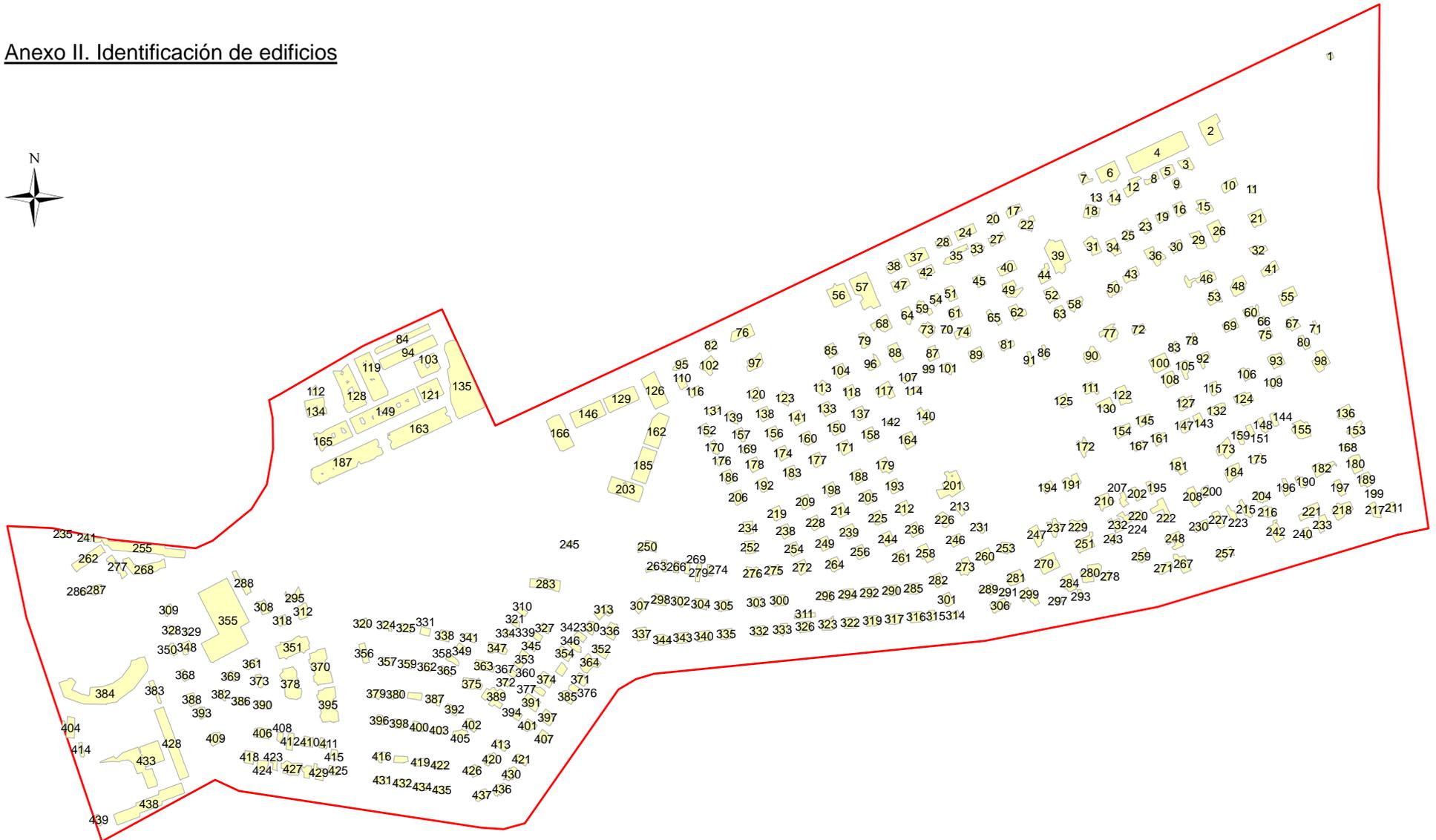
<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
297	53	178	3,36	1	53
298	193	1.530	7,93	3	579
299	274	1.825	6,66	2	548
300	187	1.520	8,13	3	561
301	179	1.478	8,26	3	537
302	172	1.306	7,59	2	344
303	175	1.358	7,76	3	525
304	188	1.424	7,57	2	376
305	185	1.463	7,91	3	555
306	237	1.026	4,33	1	237
307	195	1.523	7,81	3	585
308	188	1.431	7,61	2	376
309	114	784	6,88	2	228
310	85	602	7,08	2	170
311	143	487	3,41	1	143
312	191	1.505	7,88	3	573
313	218	1.007	4,62	1	218
314	95	744	7,83	3	285
315	103	809	7,85	3	309
316	190	1.610	8,47	3	570
317	183	1.506	8,23	3	549
318	129	842	6,53	2	258
319	187	1.522	8,14	3	561
320	134	1.067	7,96	3	402
321	90	608	6,76	2	180
322	196	1.649	8,41	3	588
323	207	1.632	7,88	3	621
324	108	857	7,94	3	324
325	131	1.061	8,10	3	393
326	192	1.587	8,27	3	576
327	90	652	7,24	2	180
328	112	451	4,03	1	112
329	42	93	2,21	1	42
330	165	1.126	6,82	2	330
331	110	937	8,52	3	330
332	182	1.494	8,21	3	546
333	180	1.489	8,27	3	540
334	84	631	7,51	2	168
335	181	1.480	8,18	3	543
336	206	1.219	5,92	2	412
337	193	1.617	8,38	3	579
338	165	1.148	6,96	2	330
339	89	669	7,52	2	178
340	190	1.593	8,38	3	570
341	119	788	6,62	2	238
342	107	692	6,47	2	214
343	194	1.637	8,44	3	582
344	182	1.509	8,29	3	546
345	90	693	7,70	2	180
346	137	767	5,60	2	274

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
347	259	1.628	6,29	2	518
348	156	820	5,26	2	312
349	112	661	5,90	2	224
350	113	666	5,89	2	226
351	717	8.556	11,93	4	2.868
352	175	1.297	7,41	2	350
353	88	630	7,16	2	176
354	201	850	4,23	1	201
355	3.672	23.879	6,50	2	7.344
356	181	1.438	7,94	3	543
357	111	951	8,57	3	333
358	102	592	5,80	2	204
359	114	975	8,55	3	342
360	76	540	7,11	2	152
361	140	1.142	8,16	3	420
362	115	989	8,60	3	345
363	254	1.639	6,45	2	508
364	307	1.649	5,37	2	614
365	107	668	6,24	2	214
366	132	941	7,13	2	264
367	79	542	6,86	2	158
368	83	655	7,89	3	249
369	153	1.192	7,79	3	459
370	806	9.325	11,57	4	3.224
371	147	960	6,53	2	294
372	78	579	7,42	2	156
373	126	1.208	9,59	3	378
374	217	1.302	6,00	2	434
375	276	1.770	6,41	2	552
376	104	794	7,63	2	208
377	103	675	6,55	2	206
378	680	8.010	11,78	4	2.720
379	153	1.136	7,42	2	306
380	152	1.169	7,69	2	304
381	134	1.100	8,21	3	402
382	97	884	9,11	3	291
383	151	469	3,11	1	151
384	2.343	28.531	12,18	4	9.372
385	183	1.003	5,48	2	366
386	138	1.275	9,24	3	414
387	153	1.157	7,56	2	306
388	148	1.137	7,68	2	296
389	398	2.215	5,57	2	796
390	142	1.229	8,65	3	426
391	270	1.670	6,19	2	540
392	133	1.105	8,31	3	399
393	133	884	6,65	2	266
394	95	724	7,62	2	190
395	801	9.082	11,34	4	3.204
396	149	1.104	7,41	2	298

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
397	204	1.453	7,12	2	408
398	166	1.213	7,31	2	332
399	45	163	3,62	1	45
400	173	1.282	7,41	2	346
401	165	792	4,80	2	330
402	172	1.220	7,09	2	344
403	130	1.064	8,18	3	390
404	243	2.005	8,25	3	729
405	154	1.167	7,58	2	308
406	224	1.431	6,39	2	448
407	163	1.016	6,23	2	326
408	75	564	7,52	2	150
409	203	1.784	8,79	3	609
410	155	1.156	7,46	2	310
411	102	758	7,43	2	204
412	154	864	5,61	2	308
413	136	1.107	8,14	3	408
414	85	192	2,26	1	85
415	94	712	7,57	2	188
416	157	1.160	7,39	2	314
417	132	1.075	8,14	3	396
418	171	916	5,36	2	342
419	136	1.135	8,35	3	408
420	164	1.198	7,30	2	328
421	139	1.091	7,85	3	417
422	142	1.129	7,95	3	426
423	100	688	6,88	2	200
424	163	1.088	6,67	2	326
425	126	794	6,30	2	252
426	177	1.217	6,88	2	354
427	468	3.481	7,44	2	936
428	1.080	9.947	9,21	3	3.240
429	194	1.158	5,97	2	388
430	167	1.303	7,80	3	501
431	145	1.165	8,03	3	435
432	158	1.271	8,04	3	474
433	1.522	13.025	8,56	3	4.566
434	135	1.133	8,39	3	405
435	132	1.085	8,22	3	396
436	152	1.204	7,92	3	456
437	160	1.219	7,62	2	320
438	1.218	18.096	14,86	5	6.090
439	64	161	2,52	1	64

UU.10 Hervencias Residencial

Anexo II. Identificación de edificios



- 5 Id Edificios
- Delimitación UU.10

UU. 14 Hervencias Industrial Bomberos

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
1	2.150	16.025	7,45	2	4.300
2	1.588	12.796	8,06	2	3.176
3	6.935	48.822	7,04	2	13.870
4	2.080	18.675	8,98	2	4.160
5	1.134	9.391	8,28	2	2.268
6	2.537	20.501	8,08	2	5.074
7	9.379	80.619	8,60	2	18.758
8	1.091	9.527	8,73	2	2.182
9	3.444	29.620	8,60	2	6.888
10	1.274	6.311	4,95	1	1.274
11	2.331	18.257	7,83	2	4.662
12	3.765	23.932	6,36	1	3.765
13	487	2.464	5,06	1	487
14	353	1.699	4,81	1	353
15	457	2.191	4,79	1	457
16	2.294	24.446	10,66	2	4.588
17	616	5.339	8,67	2	1.232
18	56	162	2,89	1	56
19	1.780	13.539	7,61	2	3.560
20	1.388	10.942	7,88	2	2.776
21	262	1.285	4,90	1	262
22	7.373	64.913	8,80	2	14.746
23	2.438	22.131	9,08	2	4.876
24	2.242	14.658	6,54	1	2.242
25	3.803	29.171	7,67	2	7.606
26	5.060	39.504	7,81	2	10.120
27	688	4.180	6,08	1	688
28	746	6.885	9,23	2	1.492
29	4.331	40.174	9,28	2	8.662
30	1.917	13.417	7,00	2	3.834
31	1.560	10.394	6,66	1	1.560
32	2.691	21.391	7,95	2	5.382
33	2.792	23.903	8,56	2	5.584
34	853	7.898	9,26	2	1.706
35	1.166	9.712	8,33	2	2.332
36	3.812	28.804	7,56	2	7.624
37	867	8.023	9,25	2	1.734
38	776	7.874	10,15	2	1.552
39	1.644	18.121	11,02	2	3.288
40	876	8.098	9,24	2	1.752
41	54	148	2,74	1	54
42	1.453	10.984	7,56	2	2.906
43	2.815	19.030	6,76	2	5.630
44	1.344	13.982	10,40	2	2.688
45	1.198	9.540	7,96	2	2.396
46	2.312	22.051	9,54	2	4.624

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
47	1.229	12.222	9,94	2	2.458
48	7.304	55.541	7,60	2	14.608
49	1.992	15.251	7,66	2	3.984
50	4.372	35.449	8,11	2	8.744
51	410	2.615	6,38	1	410
52	1.259	7.678	6,10	1	1.259
53	487	1.204	2,47	1	487
54	312	4.036	12,94	3	936
55	3.523	28.166	7,99	2	7.046
56	92	225	2,45	1	92
57	551	3.282	5,96	1	551
58	225	1.286	5,72	1	225
59	2.749	22.932	8,34	2	5.498
60	567	4.001	7,06	2	1.134
61	1.315	11.212	8,53	2	2.630
62	380	1.880	4,95	1	380
63	4.975	44.244	8,89	2	9.950
64	195	1.073	5,50	1	195
65	4.250	32.679	7,69	2	8.500
66	3.954	24.634	6,23	1	3.954
67	1.319	9.913	7,52	2	2.638
68	16.126	128.359	7,96	2	32.252
69	5.077	48.623	9,58	2	10.154
70	2.810	24.695	8,79	2	5.620
71	122	336	2,75	1	122
72	124	465	3,75	1	124
73	1.323	8.880	6,71	1	1.323
74	3.487	27.188	7,80	2	6.974
75	236	1.434	6,08	1	236
76	1.008	5.118	5,08	1	1.008
77	1.221	7.158	5,86	1	1.221
78	40	159	3,98	1	40
79	1.820	13.573	7,46	2	3.640
80	607	3.613	5,95	1	607
81	55	192	3,49	1	55
82	4.205	30.256	7,20	2	8.410
83	226	1.050	4,65	1	226

UU.14 Hervencias Industrial Bomberos

Anexo II. Identificación de edificios



- 5 Id Edificación
- Delimitación UU.14



UU. 15 Dehesa del Pinar

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
1	862	5.257	6,10	2	1.724
2	68	237	3,49	1	68
3	202	1.013	5,01	2	404
4	115	522	4,54	1	115
5	187	593	3,17	1	187
6	146	522	3,58	1	146
7	1.333	11.161	8,37	3	3.999
8	48	98	2,04	1	48
9	1.033	8.413	8,14	3	3.099
10	116	271	2,34	1	116
11	1.011	8.467	8,37	3	3.033
12	351	1.391	3,96	1	351
13	470	1.992	4,24	1	470
14	1.347	11.140	8,27	3	4.041
15	433	1.870	4,32	1	433
16	410	1.666	4,06	1	410
17	101	430	4,26	1	101
18	363	1.416	3,90	1	363
19	362	1.546	4,27	1	362
20	366	1.672	4,57	1	366
21	357	1.594	4,46	1	357
22	356	1.495	4,20	1	356
23	382	1.567	4,10	1	382
24	371	1.626	4,38	1	371
25	367	1.461	3,98	1	367
26	362	1.506	4,16	1	362
27	361	1.511	4,19	1	361
28	437	1.781	4,08	1	437
29	363	1.536	4,23	1	363
30	370	1.597	4,32	1	370
31	373	1.577	4,23	1	373
32	361	1.550	4,29	1	361
33	353	1.463	4,14	1	353
34	350	1.865	5,33	2	700
35	356	1.493	4,19	1	356
36	339	1.566	4,62	1	339
37	1.292	10.314	7,98	3	3.876
38	348	1.601	4,60	1	348
39	351	1.758	5,01	2	702
40	358	1.962	5,48	2	716
41	360	1.546	4,29	1	360
42	360	1.957	5,44	2	720
43	363	1.494	4,12	1	363
44	357	1.854	5,19	2	714
45	1.239	9.930	8,01	3	3.717
46	350	1.569	4,48	1	350

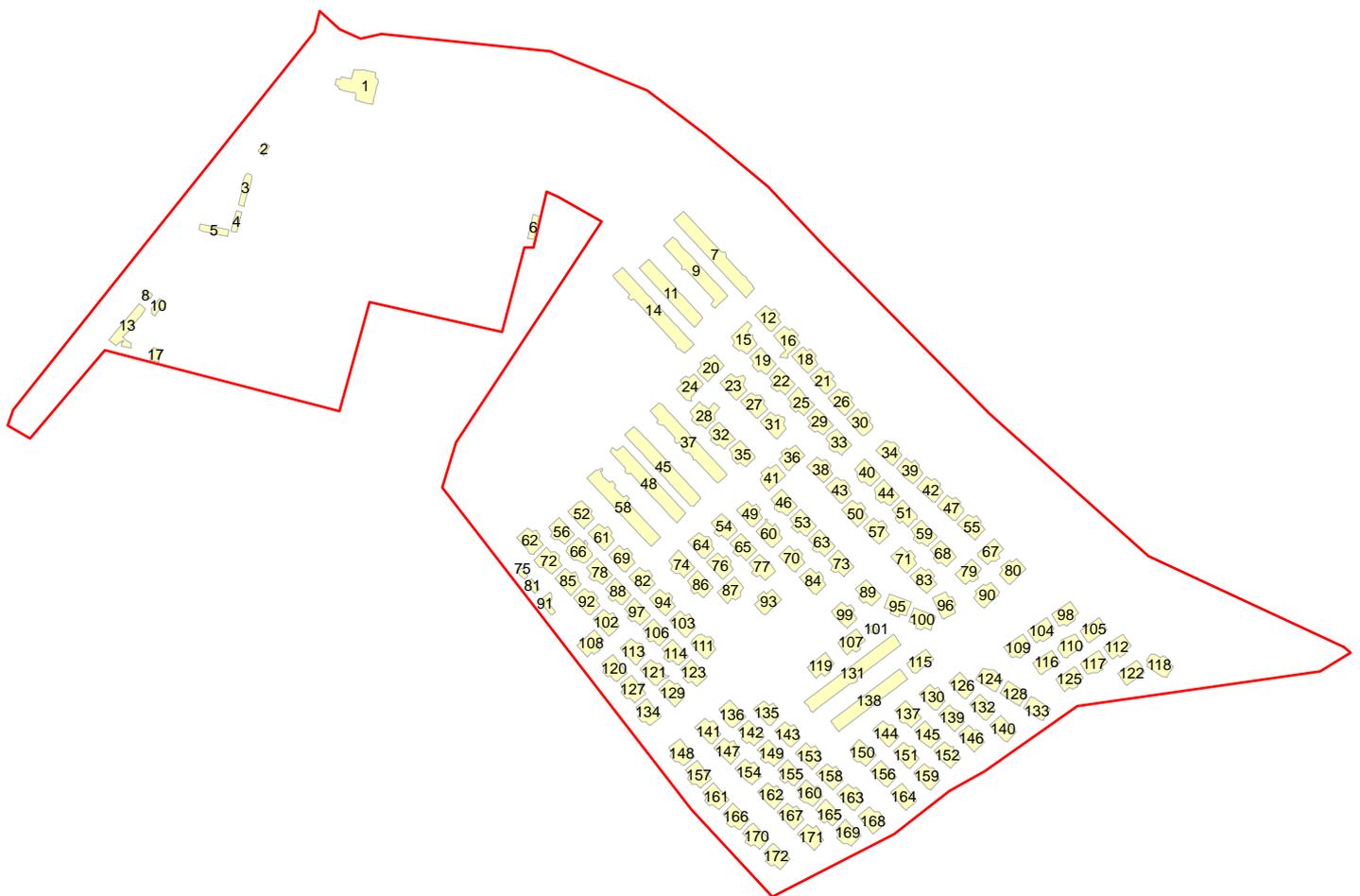
<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
47	356	1.812	5,09	2	712
48	1.220	9.599	7,87	3	3.660
49	348	1.466	4,21	1	348
50	355	1.596	4,50	1	355
51	348	1.773	5,09	2	696
52	377	1.618	4,29	1	377
53	366	1.592	4,35	1	366
54	353	1.541	4,37	1	353
55	357	1.907	5,34	2	714
56	344	1.486	4,32	1	344
57	354	1.518	4,29	1	354
58	1.227	9.564	7,79	3	3.681
59	356	1.985	5,58	2	712
60	364	1.665	4,57	1	364
61	359	1.471	4,10	1	359
62	367	1.598	4,35	1	367
63	349	1.484	4,25	1	349
64	357	1.538	4,31	1	357
65	351	1.482	4,22	1	351
66	384	1.674	4,36	1	384
67	339	1.941	5,73	2	678
68	345	1.827	5,30	2	690
69	361	1.489	4,12	1	361
70	356	1.552	4,36	1	356
71	350	1.470	4,20	1	350
72	389	1.604	4,12	1	389
73	345	1.581	4,58	1	345
74	354	1.509	4,26	1	354
75	55	171	3,11	1	55
76	360	1.585	4,40	1	360
77	353	1.635	4,63	1	353
78	345	1.620	4,70	2	690
79	345	1.820	5,28	2	690
80	366	1.956	5,34	2	732
81	86	234	2,72	1	86
82	355	1.532	4,32	1	355
83	364	1.515	4,16	1	364
84	359	1.566	4,36	1	359
85	359	1.485	4,14	1	359
86	353	1.621	4,59	1	353
87	352	1.465	4,16	1	352
88	342	1.394	4,08	1	342
89	350	1.599	4,57	1	350
90	360	1.890	5,25	2	720
91	149	420	2,82	1	149
92	363	1.470	4,05	1	363
93	354	1.611	4,55	1	354
94	351	1.606	4,58	1	351
95	357	1.609	4,51	1	357

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
96	361	1.506	4,17	1	361
97	347	1.605	4,63	1	347
98	357	1.746	4,89	2	714
99	352	1.606	4,56	1	352
100	351	1.539	4,38	1	351
101	42	122	2,90	1	42
102	355	1.446	4,07	1	355
103	358	1.624	4,54	1	358
104	357	1.704	4,77	2	714
105	322	1.847	5,74	2	644
106	351	1.395	3,97	1	351
107	348	1.475	4,24	1	348
108	357	1.428	4,00	1	357
109	353	1.699	4,81	2	706
110	335	1.788	5,34	2	670
111	351	1.515	4,32	1	351
112	348	1.883	5,41	2	696
113	345	1.507	4,37	1	345
114	351	1.559	4,44	1	351
115	301	2.489	8,27	3	903
116	318	1.734	5,45	2	636
117	348	1.865	5,36	2	696
118	367	1.782	4,86	2	734
119	341	1.486	4,36	1	341
120	354	1.608	4,54	1	354
121	365	1.573	4,31	1	365
122	321	1.727	5,38	2	642
123	354	1.441	4,07	1	354
124	346	1.746	5,05	2	692
125	347	1.774	5,11	2	694
126	324	1.708	5,27	2	648
127	375	1.505	4,01	1	375
128	327	1.818	5,56	2	654
129	360	1.620	4,50	1	360
130	353	1.750	4,96	2	706
131	1.401	11.538	8,24	3	4.203
132	326	1.876	5,75	2	652
133	323	1.655	5,12	2	646
134	347	1.484	4,28	1	347
135	331	1.436	4,34	1	331
136	371	1.562	4,21	1	371
137	346	1.753	5,07	2	692
138	1.076	9.062	8,42	3	3.228
139	341	1.850	5,43	2	682
140	327	1.830	5,60	2	654
141	348	1.622	4,66	2	696
142	340	1.479	4,35	1	340
143	336	1.511	4,50	1	336
144	344	1.700	4,94	2	688

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
145	346	1.843	5,33	2	692
146	345	1.986	5,76	2	690
147	348	1.469	4,22	1	348
148	361	1.446	4,01	1	361
149	354	1.439	4,06	1	354
150	356	1.966	5,52	2	712
151	345	1.837	5,32	2	690
152	339	1.905	5,62	2	678
153	353	1.585	4,49	1	353
154	344	1.528	4,44	1	344
155	349	1.441	4,13	1	349
156	324	1.846	5,70	2	648
157	363	1.496	4,12	1	363
158	355	1.549	4,36	1	355
159	352	1.952	5,55	2	704
160	363	1.475	4,06	1	363
161	355	1.556	4,38	1	355
162	355	1.566	4,41	1	355
163	362	1.547	4,27	1	362
164	324	1.691	5,22	2	648
165	345	1.545	4,48	1	345
166	353	1.586	4,49	1	353
167	354	1.614	4,56	1	354
168	352	1.577	4,48	1	352
169	361	1.491	4,13	1	361
170	354	1.658	4,68	2	708
171	355	1.556	4,38	1	355
172	350	1.465	4,19	1	350

UU.15 Dehesa del Pinar

Anexo II. Identificación de edificios



- 5 Id Edificios
- Delimitación UU.15

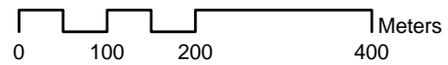
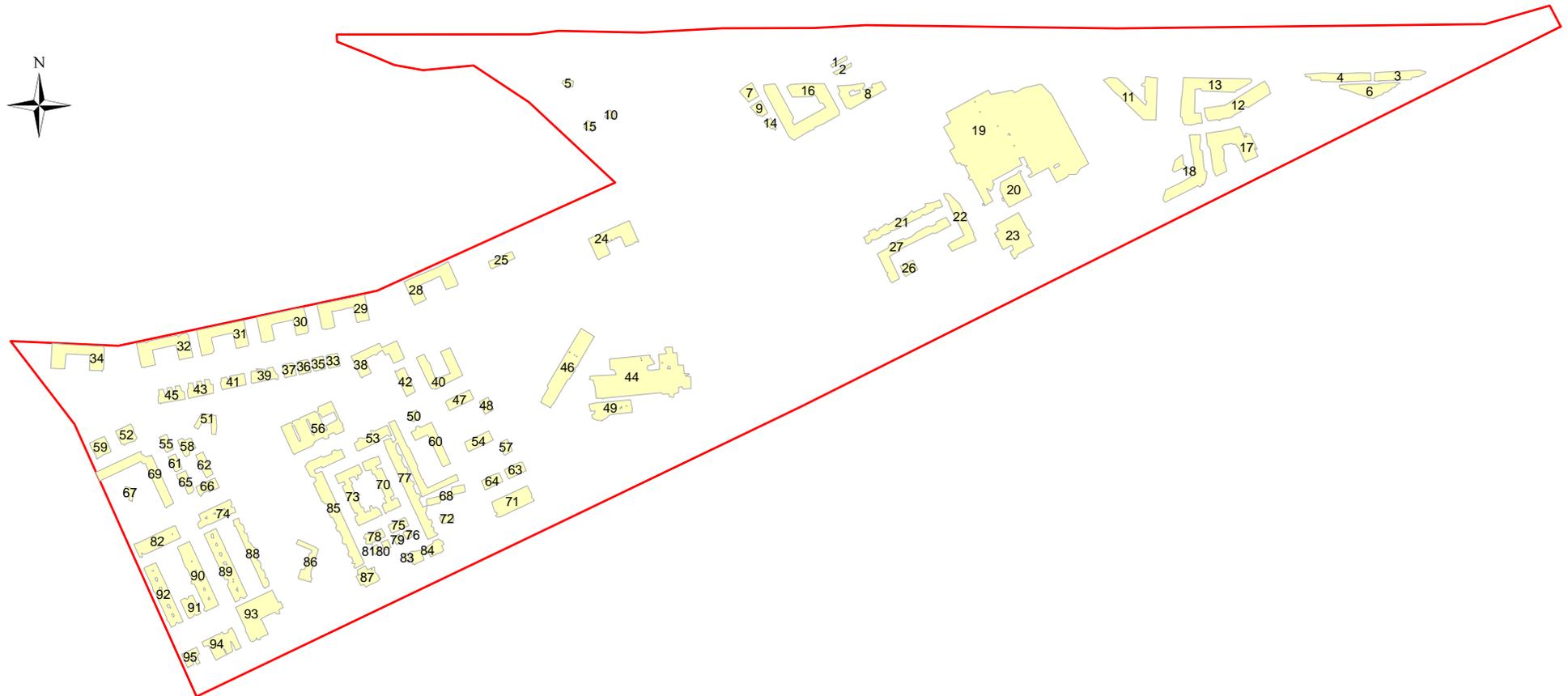
UU. 16 Zurra

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
1	114	297	2,61	1	114
2	121	265	2,19	1	121
3	785	5.560	7,08	2	1.570
4	1.002	7.251	7,24	2	2.004
5	121	581	4,80	2	242
6	1.040	8.635	8,30	3	3.120
7	395	6.606	16,72	5	1.975
8	1.334	23.380	17,53	5	6.670
9	299	4.539	15,18	5	1.495
10	102	476	4,67	1	102
11	2.118	29.323	13,84	4	8.472
12	1.821	23.928	13,14	4	7.284
13	2.628	34.898	13,28	4	10.512
14	133	1.875	14,10	4	532
15	146	715	4,90	2	292
16	3.796	64.625	17,02	5	18.980
17	2.391	20.000	8,36	3	7.173
18	2.082	18.725	8,99	3	6.246
19	19.310	150.269	7,78	2	38.620
20	1.296	17.144	13,23	4	5.184
21	1.310	16.765	12,80	4	5.240
22	1.274	17.243	13,53	4	5.096
23	1.953	18.479	9,46	3	5.859
24	1.595	20.977	13,15	4	6.380
25	392	1.785	4,55	1	392
26	314	1.222	3,89	1	314
27	1.722	21.997	12,77	4	6.888
28	1.690	24.002	14,20	4	6.760
29	1.733	24.440	14,10	4	6.932
30	1.754	24.819	14,15	4	7.016
31	1.745	24.542	14,06	4	6.980
32	1.792	25.960	14,49	5	8.960
33	300	3.048	10,16	3	900
34	1.803	25.641	14,22	4	7.212
35	298	3.041	10,20	3	894
36	303	3.058	10,09	3	909
37	301	2.996	9,95	3	903
38	1.386	18.822	13,58	4	5.544
39	574	4.257	7,42	2	1.148
40	1.499	19.955	13,31	4	5.996
41	542	4.154	7,66	2	1.084
42	531	9.346	17,60	6	3.186
43	621	4.378	7,05	2	1.242
44	6.118	80.045	13,08	4	24.472
45	600	4.155	6,93	2	1.200
46	2.419	16.068	6,64	2	4.838

<i>ID</i>	<i>HUELLA (m²)</i>	<i>VOLUMEN (m³)</i>	<i>ALTURA (m)</i>	<i>Nº Plantas</i>	<i>Superficie construida (m²)</i>
47	536	9.245	17,25	5	2.680
48	264	4.490	17,01	5	1.320
49	1.154	7.953	6,89	2	2.308
50	157	732	4,66	1	157
51	461	1.708	3,70	1	461
52	530	9.142	17,25	5	2.650
53	728	4.398	6,04	2	1.456
54	544	9.366	17,22	5	2.720
55	260	2.243	8,63	3	780
56	2.857	18.348	6,42	2	5.714
57	222	3.998	18,01	6	1.332
58	378	6.972	18,44	6	2.268
59	539	9.356	17,36	5	2.695
60	1.045	5.140	4,92	2	2.090
61	256	2.200	8,59	3	768
62	386	3.433	8,89	3	1.158
63	394	6.752	17,14	5	1.970
64	388	6.585	16,97	5	1.940
65	353	2.752	7,80	2	706
66	397	3.062	7,71	2	794
67	161	565	3,51	1	161
68	512	5.454	10,65	3	1.536
69	1.932	31.488	16,30	5	9.660
70	1.261	7.028	5,57	2	2.522
71	1.314	16.067	12,23	4	5.256
72	190	1.992	10,48	3	570
73	1.638	9.094	5,55	2	3.276
74	971	6.568	6,76	2	1.942
75	330	2.176	6,59	2	660
76	112	770	6,88	2	224
77	3.629	20.456	5,64	2	7.258
78	364	2.237	6,15	2	728
79	115	798	6,94	2	230
80	111	819	7,38	2	222
81	108	751	6,95	2	216
82	1.194	7.983	6,69	2	2.388
83	60	146	2,43	1	60
84	699	5.456	7,81	2	1.398
85	2.880	16.430	5,70	2	5.760
86	711	3.925	5,52	2	1.422
87	616	4.209	6,83	2	1.232
88	981	6.464	6,59	2	1.962
89	1.865	12.383	6,64	2	3.730
90	1.881	12.886	6,85	2	3.762
91	503	3.446	6,85	2	1.006
92	1.629	11.481	7,05	2	3.258
93	2.352	19.625	8,34	3	7.056
94	1.206	7.919	6,57	2	2.412
95	402	1.839	4,57	1	402

UU.16 Zurra

Anexo II. Identificación de edificios



- 5 Id Edificios
- Delimitación UU.16