



**Universidad  
Zaragoza**

## Proyecto Fin de Carrera

**DESARROLLO, METODOLOGÍAS Y PROTOCOLOS  
AVANZADOS EN GESTAR 2010 PARA EL DISEÑO  
HIDRÁULICO DE REDES DE RIEGO Y  
COBERTURAS POR ASPERSIÓN**

### **MEMORIA**

Autor/es

**Roberto Ruiz Cebollada**

Director/es y/o ponente

**Ricardo Aliod Sebastián  
Susana García Asín**

Facultad / Escuela  
Año

**Escuela Politécnica Superior de Huesca  
2012**

# PROYECTO FIN DE CARRERA INGENIERO AGRÓNOMO

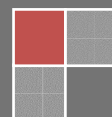
## MEMORIA

TÍTULO: Desarrollo, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

**Gestar**  
DISEÑO Y GESTIÓN DE REGADÍOS



Febrero 2012  
Roberto Ruiz Cebollada



## ÍNDICE

<b>RESUMEN - ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	9
1.1.1 Generales .....	9
1.1.1 Ventajas e inconvenientes del riego por aspersión y su tecnología.....	12
1.1.2 Procedimientos de dimensionado de redes de riego por aspersión. ....	15
1.1.2.1 Métodos de cálculo teóricos y prácticos tradicionales .....	15
1.1.2.2 Herramientas informáticas específicas .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	19
<b>2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN</b> .....	<b>22</b>
2.1 CARTOGRAFÍA.....	22
2.2 DIMENSIONADO .....	24
2.3 SIMULACIÓN HIDRÁULICA .....	29
2.4 REDIMENSIONADO .....	30
<b>3 IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS EN GESTAR</b> .....	<b>31</b>
<b>4 PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN</b> .....	<b>34</b>
4.1 MANUAL DE USUARIO .....	35
4.2 GUÍA DE TRABAJO .....	36
4.2.1 Generación de cobertura.....	40
4.2.2 Sectorizar y dibujar la red completa.....	44
4.2.3 Generación de tramos y cortes.....	46
4.2.4 Importación de la red a GESTAR.....	54
4.2.5 Dimensionado de los sectores.....	59
4.2.6 Dimensionado de la tubería principal.....	67
4.2.7 Análisis hidráulico y obtención de los parámetros de funcionamiento. .	70
4.2.8 Exportación de resultados a AutoCAD. ....	71
<b>5 VALIDACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN.</b> .....	<b>75</b>
5.1 PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN .....	76
5.1.1 Datos de partida, criterios de cálculo y resultados del método de estima.....	76
5.1.2 Obtención del dimensionado GESTAR.....	80
5.1.3 Obtención del dimensionado GESTAR con topografía real. ....	89
5.1.4 Obtención de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima. ....	90
5.1.5 Obtención de la simulación hidráulica con la topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima.....	90

5.2	CASO 1: PARCELA 1 .....	92
5.2.1	Datos del dimensionado de estima de la Parcela 1.....	92
5.2.2	Resultados del dimensionado de estima de la Parcela 1.....	93
5.2.3	Resultados del dimensionado GESTAR de la Parcela 1. ....	94
5.2.4	Resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 1. ....	97
5.3	CASO 2: PARCELA 2 .....	99
5.3.1	Datos del dimensionado de estima de la Parcela 2.....	99
5.3.2	Resultados del dimensionado de estima de la Parcela 2.....	100
5.3.3	Resultados del dimensionado GESTAR de la Parcela 2. ....	103
5.3.4	Resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 2. ....	107
5.4	CASO 3: PARCELA 3 .....	109
5.4.1	Datos del dimensionado de estima de la Parcela 3.....	109
5.4.2	Resultados del dimensionado de estima de la Parcela 3.....	110
5.4.3	Resultados del dimensionado GESTAR de la Parcela 3. ....	113
5.4.4	Resultados del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 3.....	117
5.4.5	Resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 3 .....	120
5.4.6	Resultados de la simulación hidráulica con la topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 3. ....	122
5.5	CASO 4: PARCELA 4 .....	124
5.5.1	Datos del dimensionado de estima de la Parcela 4.....	124
5.5.2	Resultados del dimensionado de estima de la Parcela 4.....	125
5.5.3	Resultados del dimensionado GESTAR de la Parcela 4. ....	128
5.5.4	Resultados del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 4.....	132
5.5.5	Resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 4. ....	135
5.5.6	Resultados de la simulación hidráulica con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 4. ....	137
5.6	CASO 5: PARCELA 5 .....	139
5.6.1	Datos del dimensionado de estima de la Parcela 5.....	139
5.6.2	Resultados del dimensionado de estima de la Parcela 5.....	140
5.6.3	Resultados del dimensionado GESTAR de la Parcela 5. ....	144
5.6.4	Resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la Parcela 5. ....	148
5.7	COMPARATIVA DE RESULTADOS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS....	150
5.7.1	Análisis de las metodologías utilizadas .....	155
5.7.2	Influencia de los dimensionados sobre los costes de las redes.....	158
5.7.3	Influencia de los dimensionados sobre el funcionamiento de las redes.....	160
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>165</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>168</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1.	Lista con los precios comerciales de la empresa Adequa, en el año 2011.....	79
TABLA 2.	Resumen de las pérdidas de carga de un sector tipo en los métodos de estima.....	83
TABLA 3.	Resumen de las pérdidas de carga de un sector tipo en los métodos de estima.....	87
TABLA 4.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 1.....	94
TABLA 5.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 1.....	94
TABLA 6.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 1.....	96
TABLA 7.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 1.....	97
TABLA 8.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 1.....	98
TABLA 9.	Número de aspersores instalados en la parcela 2 según el método de estima.....	100
TABLA 10.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 2.....	102
TABLA 11.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 2.....	102
TABLA 12.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 2.....	106
TABLA 13.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 2.....	107
TABLA 14.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación del dimensionado de estima de la parcela 2.....	108
TABLA 15.	Número de aspersores instalados en la parcela 3 según el método de estima.....	110
TABLA 16.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 3.....	112
TABLA 17.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 3.....	112
TABLA 18.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 3.....	116
TABLA 19.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 3.....	117
TABLA 20.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 3.....	119
TABLA 21.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 3.....	120
TABLA 22.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 3.....	121
TABLA 23.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 3.....	123

TABLA 24.	Número de aspersores instalados en la parcela 4 según el método de estima.....	125
TABLA 25.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 4.....	127
TABLA 26.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 4.....	127
TABLA 27.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 4.....	131
TABLA 28.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 4.....	132
TABLA 29.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 4.....	134
TABLA 30.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 4.....	135
TABLA 31.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 4.....	136
TABLA 32.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica con la topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 4.....	138
TABLA 33.	Número de aspersores instalados en la parcela 5 según el método de estima.....	140
TABLA 34.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 5.....	142
TABLA 35.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 5.....	143
TABLA 36.	Tabla con la disposición de turnos según sectores en la parcela 5.....	144
TABLA 37.	Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 5.....	147
TABLA 38.	Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 5.....	148
TABLA 39.	Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 5.....	149
TABLA 40.	Tabla conjunta de resultados económicos de todas las parcelas.....	153
TABLA 41.	Tabla conjunta de resultados de las funcionalidades de todas las parcelas.....	154

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1.	Ejemplo de una red ramificada de riego por aspersión .....	23
FIGURA 2.	Representación esquemática de una cobertura de riego por aspersión...	25
FIGURA 3.	Esquema básico del algoritmo de redes de riego por turnos. ....	28
FIGURA 4.	Diagrama del proceso de dimensionado y análisis de redes de distribución en parcela.....	37
FIGURA 5.	Contorno de la parcela ejemplo en el entorno de AutoCad.....	40
FIGURA 6.	Ventana de distribución de aspersores.....	41
FIGURA 7.	Generación de la malla de terciarias y de los aspersores.....	43
FIGURA 8.	Esquema de la distribución de aspersores .....	44
FIGURA 9.	Sectorización y adición de tuberías a la red. ....	46
FIGURA 10.	Esquema del proceso de levantamiento topográfico .....	47
FIGURA 11.	Ventanas de los procesos de creación de superficie en el entorno AutoCad (MDT5).....	48
FIGURA 12.	Creación de superficie en el entorno AutoCad (MDT5) .....	49
FIGURA 13.	Ventana de Cortes en la Distribución de aspersores.....	50
FIGURA 14.	Opciones de la herramienta denominada como elevación de entidades en AutoCad.....	53
FIGURA 15.	Ventana de conexión AutoCad → Gestar. Importación .....	54
FIGURA 16.	Proceso del uso de la ventana de importación desde AutoCad. ....	55
FIGURA 17.	Ventana de configuración de aspersores .....	56
FIGURA 18.	Red de riego importada.....	59
FIGURA 19.	Ventana de los nodos de unión y de los nodos de presión conocida..	60
FIGURA 20.	Introducción del collarín.....	61
FIGURA 21.	Ventana de los nodos de unión y de los nodos de presión conocida..	62
FIGURA 22.	Tabla de caudales de diseño. ....	63
FIGURA 23.	Asignación de los sectores.....	64
FIGURA 24.	Ventana de dimensionado de sector. ....	65
FIGURA 25.	Ilustración de los componentes de la fórmula de dimensionado de sector.....	66
FIGURA 26.	Ventana de asignación de turnos. ....	68
FIGURA 27.	Ventana de dimensionado de tubería principal. ....	69
FIGURA 28.	Alcance de los aspersores en una red de riego por aspersión.....	71
FIGURA 29.	Exportar red desde AutoCad.....	72
FIGURA 30.	Ventana de dimensionado de sectores en el programa GESTAR. ....	84
FIGURA 31.	Imagen de la planta de la parcela 1 extraída de AutoCAD. ....	92
FIGURA 32.	Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 1 con el método de estima. ....	93
FIGURA 33.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 1 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR. ....	95
FIGURA 34.	Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 1. ....	96
FIGURA 35.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 2. ....	99
FIGURA 36.	Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 2 calculado con el método de estima. ....	101
FIGURA 37.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 2 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR. ....	104
FIGURA 38.	Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 2. ....	105
FIGURA 39.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 3. ....	109

FIGURA 40.	Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 3 calculado con el método de estima. ....	111
FIGURA 41.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 3 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR. ....	114
FIGURA 42.	Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 3. ....	115
FIGURA 43.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 3 con la distribución de aspersores y la elevación diseñada con GESTAR ....	118
FIGURA 44.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4. ....	124
FIGURA 45.	Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 4 calculado con el método de estima. ....	126
FIGURA 46.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR. ....	129
FIGURA 47.	Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 4. ....	130
FIGURA 48.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4 con la distribución de aspersores y la elevación diseñada con GESTAR ....	133
FIGURA 49.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 6. ....	139
FIGURA 50.	Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la Parcela 5 calculado con el método de estima. ....	141
FIGURA 51.	Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la Parcela 5 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR. ....	145
FIGURA 52.	Imagen extraída de GESTAR con la planta de la Parcela 5. ....	146



## RESUMEN - ABSTRACT

La aplicación informática GESTAR para diseño, ejecución y gestión de redes de riego a presión está siendo desarrollada desde hace más de dos décadas por los componentes del equipo GESTAR I+D+i de la Universidad de Zaragoza. Durante este tiempo, las herramientas informáticas y los métodos de cálculo han evolucionado de manera considerable. A su vez, el equipo GESTAR ha realizado un notable esfuerzo para adaptarse a los avances y para realizar un programa más potente, compacto y eficaz; y además para incorporarse al mercado de proyectos asociados a la materia.

En este entorno y con este objetivo común nace el actual proyecto final de carrera que aporta como novedad técnica el riego por aspersión. Así, la puesta en marcha de unos enérgicos recursos operativos para el dimensionado óptimo, simulación y análisis de redes de riego a presión en parcela para riego por aspersión ha sido realizada por el trabajo conjunto del equipo GESTAR a través de este trabajo, que, además de otras actividades de apoyo, ha aportado, ideas, nuevas funcionalidades y herramientas específicas, pruebas y validaciones, comprobación de errores, reestructuraciones y redefiniciones de los recursos, casos guiados, y estudios comparativos con casos reales de la novedosa operatividad.

The computer application GESTAR for the economical and reliable design, execution and management of pressurised irrigation networks is being developed since two decades by the components of the GESTAR I+D+i team at the University of Zaragoza. During this time, computer tools and calculation methods have evolved significantly. At the same time, the GESTAR team have realized a big effort to adapt to developments and set up a powerful, compact and efficient programme; and furthermore to incorporate the programme into the project market associated to the theme.

In this environment and with this common goal, this final thesis document has been created. It provides as technical innovation, the sprinkler irrigation. Thus, the origination of energetic operational resources to the sizing, simulation and analysis of pressurized networks for plot design with sprinkler irrigation have been executed by the GESTAR team throughout this assignment that have provided, among other useful activities, new features, ideas, tests and validations, error checking, restructuring and redefinition labours, guide redaction and comparative studies about this innovative operational tool.

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En el presente trabajo se desarrolla una metodología para el dimensionado óptimo de redes de riego en cobertura total por aspersión, que permite introducir en el diseño de las redes a presión un dimensionado, simulación y análisis hidráulico desde el hidrante hasta la parcela mediante riego por aspersión, obteniendo un diseño más completo, compacto y eficaz.

La validación e implementación de las nuevas herramientas de aplicación de esta metodología se ha realizado dentro del proyecto de investigación y desarrollo de la aplicación informática GESTAR en la Escuela Politécnica Superior de Huesca, en el Área de Mecánica de Fluidos perteneciente a la Universidad de Zaragoza.

Como consecuencia, a continuación se incluyen, a modo de introducción, los antecedentes y los objetivos del correspondiente trabajo con el fin de mostrar la intencionalidad del mismo, de mejorar la comprensión del documento y de situar, en la medida de lo posible, al lector en la materia que se expone.

## 1.1 ANTECEDENTES

### 1.1.1 GENERALES

Históricamente, el regadío ha estado unido al desarrollo de la agricultura en las grandes civilizaciones. En España el regadío fue introducido y ampliamente desarrollado hace siglos, para aprovechar las condiciones naturales de luz y calor de la cuenca mediterránea óptimas para la agricultura.

Sin embargo, la intervención del Estado en materia de transformación en regadío tiene su origen contemporáneo a finales del siglo XIX, de la mano del regeneracionismo. Es justamente esta corriente de pensamiento la que elevó la política hidráulica a la categoría de política central y elemento fundamental para la superación

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

del atraso económico español. Una política hidráulica que debía entenderse en un sentido amplio como un proceso de transformación acelerado de la agricultura extensiva y tradicional a la agricultura intensiva y moderna mediante la transformación en regadío.

Por el contrario, durante el siglo XX, las circunstancias del país han sido completamente diferentes y variables. Así, se ha pasado por años de guerra, racionamiento y abastecimiento de alimentos básicos; y por años de despegue económico y rápido crecimiento en los que la dieta cambió hacia una alimentación más variada y exigente (azúcar, carnes, leche, vegetales). Todos los desajustes productivos de la agricultura, así como, la alimentación de una población urbana muy numerosa, han sido superados gracias a la modernización de los regadíos, que ha tenido un papel fundamental en el sostenimiento de la alimentación de la población, ya que se trata de un sector estratégico de primer nivel.

Asimismo, el regadío no sólo es importante desde el punto de vista macroeconómico, con una aportación al PIB modesta de aproximadamente el 2%, sino que desde una visión microeconómica es el medio de vida y sustento de gran parte de la población rural, ya que aporta una renta más alta (cuatro veces mayor) y más segura, y además, posibilita la incorporación de industrias agroalimentarias que fijan en mayor cuantía la población rural.

El clima en España se caracteriza por una pluviometría irregular, una mala distribución espacial y temporal de las precipitaciones y la alternancia de periodos secos y húmedos. Esta irregularidad condiciona la agricultura española en la que el regadío es el principal usuario del agua en el país con un 70% del total de la demanda consuntiva. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los cultivos de regadío suponen más del 50 % de la producción final agrícola, aunque la superficie ocupada, 3.375.000 ha (Noviembre 2009), solo representa en torno al 15 % de la superficie agrícola útil.

En este marco físico, social, económico y ambiental en que se desenvuelve la agricultura en España, el Ministerio competente en la materia ha dispuesto desde hace aproximadamente una década de planes de impulso y mejora de los regadíos que analizan la situación y disponen actuaciones en las zonas ya dispuestas para regadío y

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

en las nuevas ejecuciones, centrando los estudios en ámbitos económicos, sociales, medioambientales y energéticos. Esto ha dado lugar a dos documentos: el denominado *Plan Nacional de Regadíos, Horizonte 2008* y el designado como *Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, Horizonte 2015*.

El *Plan Nacional de Regadíos, Horizonte 2008*, introducido en el año 2002, por primera vez dispone de actuaciones para la mejora y consolidación de los regadíos existentes. En resumen, los objetivos generales de esta planificación eran la consolidación de un sistema agroalimentario diversificado y competitivo en el marco de la política agraria comunitaria, la mejora de la renta agraria, la vertebración del territorio mediante fijación de población en el medio rural, la modernización de las infraestructuras de regadío y la incorporación de criterios ambientales a la gestión del regadío. Estos objetivos se pretenden lograr en dicho plan a través de la optimización del agua de riego, de la incorporación de nuevas tecnologías de gestión, de la recuperación de acuíferos, de la reparación de estructuras, del cambio de sistemas de aplicación del riego y de la disposición de nuevas ejecuciones de regadío.

La política hidrológica actual, acopiada en el documento de inicio de la *Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, Horizonte 2015*, recoge la necesidad de modernizar los regadíos, basándose en los principios de garantía de la disponibilidad y de la calidad del agua para todos los usos, de gestión sostenible y eficiente del recurso hídrico, el fomento de la investigación y la incorporación de nuevas tecnologías y el desarrollo de la utilización de recursos hídricos alternativos; siempre condicionados por la gestión, protección y conservación del medio ambiente. Las directrices del plan contemplan la mejora de la eficiencia de los regadíos, la disminución de problemas de presión y de contaminación, la protección del medio ambiente, la calidad, la aplicación de buenas técnicas agrarias, la mejora de técnicas de gestión, la formación y adaptación de los agricultores, la mejora energética, etc.

De las diversas actuaciones del plan, se puede observar una clara tendencia hacia asegurar la máxima eficiencia posible en el uso del agua. Con ese objetivo, una de las actuaciones se centra en la introducción de nuevos sistemas de aplicación de agua en la parcela, ya sea con coberturas de riego por aspersión ó localizado, ya que son métodos que permiten un mejor aprovechamiento del agua y por lo tanto suponen un incremento

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

del ahorro de agua considerándose un factor primordial en el futuro del regadío y su rentabilidad.

El hecho de que el agua sea un recurso cada vez más escaso y exista más competencia entre los diversos usos, obliga a utilizarla de forma eficiente y a manejar con eficacia los mecanismos de gestión (Tarjuelo, 2005). Asimismo, el aumento exponencial de la población vislumbra una futura acuciante necesidad de alimentos, por lo cual la eficiencia es un factor clave para la producción.

De este modo, resulta fundamental la incorporación de las nuevas tecnologías al regadío para que mejoren, entre otros, el diseño, el manejo y el funcionamiento de los sistemas de riego y poder conseguir así un balance económico óptimo y una idónea utilización del agua y de los recursos (Tarjuelo, 2005).

### 1.1.1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO POR ASPERSIÓN Y SU TECNOLOGÍA

El riego por aspersión es una técnica de riego en la cual el agua se aplica en forma de una lluvia más o menos intensa y uniforme, por medio de unos aparatos de aspersión alimentados por agua a presión, sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae (Fuentes Yagüe, 1998).

Su implantación en los regadíos se debe gracias a la mayor adaptabilidad que tiene en terrenos con topografía irregular y terrenos con propiedades físicas no demasiado apropiadas para el riego tradicional (Castañón, 2000). Así como, en los casos de correcta implantación, la mayor eficiencia en la utilización del agua.

Para poder repartir el agua de manera eficiente, el riego por aspersión requiere una infraestructura de redes de riego en parcela, así como que el agua alcance una cierta presión, denominada presión de trabajo del aspensor. Asimismo, dicha infraestructura está constituida por aspersores y tuberías a las que suele ser necesario añadir un grupo de bombeo (Tarjuelo, 2005).

Más concretamente, el sistema de riego por aspersión utiliza dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en las tuberías terciarias induce un caudal de salida. El proceso de aplicación de agua de un aspersor consiste en un chorro de agua a gran velocidad que se difunde en el aire en un conjunto de gotas, distribuyéndose sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir un reparto uniforme entre los aspersores (Tarjuelo, 2005) y sin producir daños estructurales al suelo a causa del impacto de las gotas o por encharcamiento (Losada, 2005).

Hasta que se produce su salida por las boquillas, la corriente de agua sólo está condicionada por un sistema físico proyectado conforme a especificaciones puramente hidrodinámicas. Ahora bien, durante el recorrido del agua desde la boquilla hasta el suelo, las condiciones ambientales afectan a la aspersión del agua y ésta queda fuera de control. Ese recorrido es proporcionalmente insignificante comparado con el que tiene lugar en el entramado de tuberías, pero sus efectos son notables y pueden limitar las posibles ventajas del método (Losada, 2005).

De forma general, según la bibliografía consultada y la plataforma de conocimiento para el medio rural y pesquero del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, se puede decir que presenta las siguientes ventajas:

- ◆ Permite el riego en terrenos muy ondulados o imposibles de nivelar.
- ◆ Permite una disminución de la mano de obra necesaria en el riego con los sistemas de automatización.
- ◆ Permite regar casi todos los cultivos, exceptuando aquellos muy delicados en los que el tamaño de la gotas puede causar daños.
- ◆ Evita las construcciones de canales y acequias sobre el terreno, lo que permite una fácil mecanización debido a la ausencia de obstáculos.
- ◆ Conserva las propiedades óptimas del suelo, sin producirse compactaciones ni costras.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

- ◆ Posibilita la fertilización al mismo tiempo y la defensa anti-helada.
- ◆ Produce una buena oxigenación del agua, por lo que se pueden emplear aguas ácidas e incluso algunas residuales.
- ◆ La transformación se puede realizar por sectores, con una puesta inmediata del sector terminado lo que permite fraccionar la inversión necesaria y comenzar a obtener rentabilidad en los tramos efectuados.

También presenta algunos inconvenientes que es necesario conocer.

- ◆ Elevado coste de instalación respecto al riego localizado, debido a la necesidad de disponer en la mayoría de los casos de equipos de bombeo.
- ◆ Mayores costos de funcionamiento respecto a los otros métodos, ya que necesita una presión de trabajo a la salida del orden de 20 m.c.a. en la cabeza de la instalación la presión necesaria será mayor, debido a las pérdidas de carga que se producen en las tuberías.
- ◆ Disminución de la eficiencia de aplicación cuando existe un viento superior a 2,5 m/s.
- ◆ Puede lavar algunos tratamientos si no se cuida su programación.
- ◆ Necesidad de incorporar un diseño óptimo para evitar malas uniformidades de riego.



## 1.1.2 PROCEDIMIENTOS DE DIMENSIONADO DE REDES DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

### 1.1.2.1 Métodos de cálculo teóricos y prácticos tradicionales

La tendencia hacia dimensionar las instalaciones de riego colectivo para que trabajen a la demanda, fuera del periodo punta, está aumentando, lo que constituye un ahorro de agua y comodidad de manejo. Los factores que contribuyen a conseguir un uso eficiente de la misma son la presión y el caudal. Con el objetivo de no sobredimensionar las redes y por consiguiente de no encarecer la instalación y a su vez de llevar el orden y control del gasto de agua, se recurre habitualmente al riego por turnos (Planells et. al, 2005).

Según Planells et. al (2005), el diseño de una red colectiva de riego a presión a la demanda tiene seis fases: localización de las tomas en las parcelas buscando el trazado óptimo, cálculo del caudal o dotación de las tomas según el tamaño de las parcelas a abastecer, determinación de los caudales de diseño por línea (asociados a una garantía de suministro), dimensionado de cada una de las líneas buscando un coste total mínimo, diseño de la estación de bombeo y análisis del funcionamiento bajo las distintas condiciones de trabajo.

Las seis fases de diseño que formulan Planells et al (2005) conllevan una tediosa labor de cálculo y de aplicación de fórmulas, en algunos casos específicas del cultivo. Se puede afirmar que serán algunas de estas fases las que, básicamente, se aplicarán con algoritmos en las herramientas informáticas especializadas. Sin embargo, en la práctica el método utilizado es más sencillo y tolera algunas suposiciones empíricas.

Con el objetivo de conocer como se realizan en la práctica los dimensionados en las empresas que diseñan y ejecutan las obras en parcelas con cobertura total en riego por aspersión, ha sido revisado, in situ, el método básico empleado por una empresa de infraestructuras rurales.

Como datos de partida, disponen de la topografía de la parcela que se solicita convertir a riego por aspersión y de los datos del hidrante que suministra la red de riego a presión a dicha parcela, entre los que se encuentran el caudal total del hidrante y la presión del mismo.

En primer lugar, gracias a la experiencia de los profesionales junto con la de los agricultores afectados, se elige un marco de riego y se asigna a la parcela un modelo de aspersor circular comercial. Con los datos teóricos de suministro de dicho aspersor circular se efectúa un cálculo aproximado del número de aspersores que pueden regar la parcela al mismo tiempo, es decir, el número máximo de aspersores que puede tener un mismo sector de riego. Normalmente, este número de aspersores se divide entre dos con el fin de dotar sencillez al trazado, suponiendo así, que se pueden regar dos sectores al mismo tiempo.

Tras este primer paso, la parcela ha de ser sectorizada y la conexión entre todas las tuberías de la red debe ser delineada. El trazado se realiza también a través del conocimiento y la experiencia personal puesto que la sectorización no solamente requiere del conocimiento del número máximo de aspersores que puede contener un sector, sino del número de aspersores que, con dicho modelo, puede soportar una tubería terciaria de los diámetros usualmente utilizados comercialmente.

Una vez trazada la red y delimitados los sectores, se procede al tratamiento de la información, con el fin de conocer la viabilidad de la red, por medio de herramientas ofimáticas. El cálculo consiste en desglosar y sumar las pérdidas de carga acumuladas en cada tramo y punto de la red, desde los aspersores más desfavorables hasta el hidrante principal de alimentación; con el objetivo de aseverar el suministro de suficiente presión a todos los aspersores. El cálculo de las pérdidas de carga es realizado con el uso de la ecuación de Darcy-Weisbach. Esta se efectúa introduciendo la fórmula en la herramienta ofimática, y tanteando con los caudales teóricos que suministran las tuberías, según los diámetros comerciales, teniendo en cuenta dos limitaciones generalizadas: no superar una velocidad máxima de 2 m/s y que dos sectores de riego que puedan actuar al mismo tiempo no pueden superar el caudal del hidrante principal de alimentación.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Del análisis del método utilizado en la práctica, se conoce que pese a que su puesta en marcha en diversas obras ha sido correcta y prudente, el cálculo es poco preciso, con una uniformidad en el riego desconocida realmente y, en algunos casos, la red puede quedar sobredimensionada. Asimismo, la labor de tanteo durante el cálculo es tediosa y poco estricta.

#### 1.1.2.2 Herramientas informáticas específicas

Gracias a las nuevas tecnologías, específicamente a los avances mundiales en los sistemas informáticos, se han conseguido desarrollar aplicaciones que permiten un cálculo del dimensionado de redes de riego a presión. Sin embargo, el avance en el ámbito del regadío para estas aplicaciones sigue adoleciendo de una falta de explotación puesto que una gran parte de los países más avanzados tecnológicamente, no requiere de riegos artificiales, gracias a sus precipitaciones de mayor cuantía o bien repartidas durante el año.

Actualmente, según diversos estudios (Serreta 2003, González, 2003 y Estrada, 2002) y pudiendo contrarrestar información en las páginas Web comerciales de estos productos, en el mercado se pueden encontrar diversos programas informáticos conocidos basados en el dimensionado de redes.

Sin embargo, una gran parte de los programas más avanzados han sido creados para el abastecimiento de agua potable. Este es el caso de EPANET o KYPipe, dos programas de gran calidad y eficiencia, pero que debido a su diseño enfocado hacia el abastecimiento, carecen de un módulo de optimización competente, modelan deficientemente las válvulas inusuales en el abastecimiento urbano y no modelan los elementos propios de los sistemas de riego como son los hidrantes, los nodos de consumo conocido ó los aspersores.

Específicamente para el cálculo de redes de riego también existen algunos programas, estos si, especializados en la optimización económica. Una de las aplicaciones con la cual se obtienen resultados satisfactorios es la desarrollada por la Universidad de Valencia DIOPRAM, la cual carece de un entorno gráfico de salida o

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

entrada de datos, por lo cual la parte cartográfica de la aplicación es limitada y la entrada de datos puede venir acompañada de errores.

Como se puede analizar, si que es posible encontrar programas informáticos de dimensionado de redes, ahora bien la existencia de aplicaciones para el cálculo de redes de riego por **aspersión** es más bien limitada. En este caso, una potencia mundial en regadío que geográficamente se alza sobre terrenos áridos o semiáridos es Israel, que lleva desarrollando un programa en soluciones de riego a medida, con el nombre de WCADI. Debido a su categoría, se ha considerado ineludible una breve descripción de la aplicación informática WCADI, puesto que se erige como principal antecedente de sistemas informáticos para el cálculo de redes de riego basando su aplicación en riego en parcela.

WCADI es un programa informático que aporta soluciones a redes de riego. Creado en 1980 incorpora herramientas para el diseño hidráulico, una rápida comparación de alternativas de riego, una solución rápida a los diseños complejos, una opción de cálculo para rotaciones futuras, una preparación rápida de la lista de materiales, una optimización de costos de energía y tuberías. Para el cálculo del diseño óptimo de red de riego, incluye variables como el tamaño de la superficie de riego, las combinaciones previstas de los cultivos, las necesidades de riego, la precipitación anual, los costos de energía, las condiciones de financiación, la eficiencia de los equipos y otros datos críticos. Para el cálculo del diseño de estaciones de bombeo, utiliza el punto de mínimo coste y a largo plazo, el ahorro de energía, asegurando años eficientes de riego. De este modo, el programa permite planificar un mejor diseño del proyecto por medio de cálculos de inversión de la instalación, de gastos de funcionamiento según las variables anteriormente citadas.

Concretamente, la solución del diseño de la red adoptada por WCADI, se efectúa con un modelo de programación lineal, definiendo un modelo que combina las limitaciones del modelo, los requisitos del sistema y las restricciones, para finalmente obtener los puntos óptimos, dividiendo el proceso en el dimensionado de la tubería principal, el dimensionado de los sectores, el análisis de la red y la planificación del proyecto.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Desde un punto de vista objetivo, WCADI también tiene ciertas limitaciones, puesto que no dispone de una interfaz gráfica ligada con un programa topográfico, por lo que la entrada de datos es complicada; asimismo se trata de una aplicación informática con un motor hidráulico de cálculo obsoleto, por lo tanto poco preciso; y finalmente su adquisición es considerada de precio elevado.

Existen también programas muy centrados en el riego en parcela que centran su dimensionado y simulación desde el hidrante hasta el cultivo. Este es el caso, según su página Web, del programa denominado como IRRICAD. Este, está muy poco extendido en cuanto a uso y la herramienta de dimensionado es menos potente que la que utiliza GESTAR.

Asimismo, existen otros programas que centran el desarrollo de las aplicaciones en base a las características del cultivo pero que a nivel de dimensionado son carentes de recursos como EAGLE POINT o COPAM, aunque en el primer caso, parecen haber desarrollado una entrada y salida de datos con el módulo denominado como *landcadd*.

Como consecuencia de esta revisión se puede constatar que las herramientas válidas y con impronta son escasas y exiguas para el caso de cálculo en las redes de riego por aspersión.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal en el que se desarrolla este trabajo fin de carrera es la puesta en marcha de novedosos recursos operativos de dimensionado, simulación y análisis de redes de riego a presión en parcela con cobertura total por **aspersión** vinculado a la aplicación informática GESTAR.

El equipo I+D+i GESTAR del Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, en el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza (EPSH) concibe y desarrolla un paquete informático para la ingeniería hidráulica de sistemas de riego a presión denominado GESTAR. Este es un programa informático

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

que, entre otras cosas, realiza el dimensionado óptimo de redes de riego a presión y efectúa simulaciones hidráulicas y análisis hidráulicos y energéticos de dichas redes de riego.

Si bien GESTAR dispone desde sus primeras versiones de elementos de simulación de emisores que permiten modelizar aspersores individuales, carece hasta el momento de recursos operativos que faciliten el diseño específico de redes de riego a presión en parcela para cobertura total en riego por aspersión completo. Así pues, GESTAR adolece de una serie de limitaciones que hacen impracticable y tediosa, a efectos de trabajo profesional, el dimensionado y la simulación de redes de riego en parcela por aspersión. A través de este proyecto final de carrera, se ponen en marcha esos necesarios recursos.

Para ello, englobado en el objetivo principal del proyecto, se necesita revisar todas las funcionalidades existentes y definir las especificaciones de las nuevas herramientas, propiedades y menús para adaptarlas al diseño de riego en parcela mediante aspersión, y en particular en el caso de coberturas totales. Tras la programación por el equipo de I+D+i GESTAR de las funcionalidades y herramientas especificadas por el autor del proyecto, estas deben sufrir un proceso de refinamiento, en el que se comprueba su usabilidad, la necesidad de ampliar o reducir/simplificar las operaciones. Además, se requiere que las herramientas sean testadas en diversos casos reales con complejidad creciente y altimetrías reales, y que los resultados obtenidos sean comparados mediante procedimientos de cálculo alternativos (menos precisos y de mayor dificultad de anejo) usados en el sector. Como fruto de esta validación, las herramientas vuelven a ser modificadas para eludir los errores y los casos críticos. Finalmente, se hace preciso que sus operaciones y botones de cálculo, menús del programa y opciones sean definidos y estructurados de forma lógica y que el procedimiento, con el algoritmo utilizado, y una guía de trabajo sean documentados. Así, en este marco se desarrolla el actual trabajo final de carrera con los siguientes objetivos:

- Definición de funcionalidades y operaciones de la aplicación GESTAR para el diseño de redes a presión para parcelas con cobertura total en riego por aspersión, a través del diseño conceptual de nuevos recursos operativos de la

aplicación, desarrollando ideas para definir nuevos botones de herramientas, nuevos menús, nuevas opciones y nuevos procesos, para facilitar el trabajo en el diseño efectivo de coberturas totales en riego por aspersión.

- Diseño y desarrollo de las funcionalidades y operaciones definidas, llevadas a cabo a través del equipo de programadores informáticos de GESTAR que participan en esta labor, en constante comunicación y apoyo con el proyecto, introduciendo el diseño de los recursos operativos y herramientas en el conjunto de la aplicación GESTAR.
- Depuración y validación del desarrollo del programa GESTAR en el área destinada al proyecto de coberturas totales en riego por aspersión con altimetría irregular y su conexión con la aplicación informática AutoCad, que consiste en la prueba, detección de errores, revisión de las correcciones y análisis de las diferencias a través de una comparativa de resultados de casos reales de implantación de coberturas por aspersión, aplicados con las nuevas herramientas anteriormente definidas y desarrolladas del programa GESTAR.
- Establecimiento y documentación de protocolos de trabajo sistemáticos para el diseño de las coberturas, que permitan al usuario explotar al máximo las nuevas herramientas de riego por aspersión en el entorno GESTAR. Estos documentos se materializan en: la elaboración de guías de trabajo con casos guiados con topografías variables; la confección de una manual de usuario en el ámbito de diseño en parcela, que sirve como elemento de ayuda a los usuarios del programa; y la documentación asociada en el presente proyecto para cubrir los objetivos.

Tras cumplimentar todas estas actividades, el usuario del programa GESTAR, dispondrá de una herramienta automática y eficaz; de dimensionado y análisis hidráulico para poder llevar a cabo transformaciones de coberturas totales en riego por aspersión con resultados rigurosos y fiables.

## **2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN**

Los programas informáticos para el dimensionado, simulación y análisis de redes de riego, disponen de unas normas de dimensionado compuesto por una serie de pasos para elaborar una herramienta eficaz y compacta. Particularizando el método general empleado por este tipo de aplicaciones con coberturas totales en riego por aspersión, en este capítulo, se describe de manera general las partes de las que consta dichas pautas y los procedimientos utilizados por este tipo de programas centrando la descripción en el programa GESTAR.

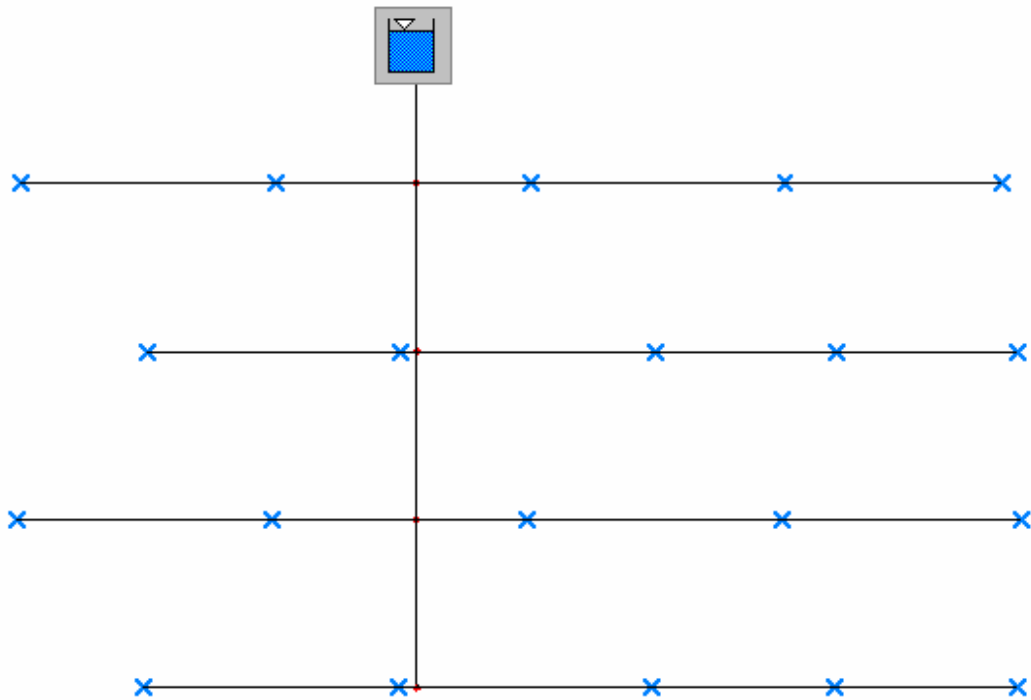
### **2.1 CARTOGRAFÍA**

Desde un punto de vista básico, las redes de riego a presión suelen representarse con dos tipos de elementos:

- ◆ Los tramos o segmentos que representan las tuberías a diferentes niveles.
- ◆ Los nodos que constituyen las bifurcaciones, los puntos de consumo, los puntos de alimentación...

En general, las redes de riego a presión se suelen trazar de manera que forman una estructura ramificada, es decir, que a los nodos llega un solo segmento, mientras que de los nodos pueden salir varios segmentos, de modo que el número de nodos es siempre una unidad mayor que el número de segmentos. De la misma manera, la red es ramificada en el caso de las redes de riego por aspersión





**FIGURA 1. Ejemplo de una red ramificada de riego por aspersión**

En la FIGURA 1 se puede observar una red estrictamente ramificada obtenida de un proyecto real de riego por aspersión con un número de nodos de 25, mientras que el número de tramos o segmentos es de 24. Los elementos trazados de este esquema representan aspectos reales de las redes con una introducción de datos. De este modo, la entrada cartográfica de datos es un pilar fundamental de la aplicación informática dotándola de un potente atractivo que a través de tablas de datos no se conseguiría aportar.

La entrada de datos se puede realizar por medio de las herramientas de trazado del programa de cálculo de redes con el fin de diseñar la red intentando adecuarse al máximo al perfilado real de la misma en campo. Este tipo de entrada de datos es tediosa y puede inducir a serios errores para el posterior dimensionado. Sin embargo, concretamente GESTAR posee un módulo que permite al usuario conectar con la herramienta de dibujo AutoCad, disponiendo de este modo de una entrada de datos perfilada con una aplicación específica y por lo tanto pudiendo perfilar un trazado de gran similitud al de la realidad en el campo.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Asimismo, GESTAR dispone, de manera análoga a la entrada de datos, de una operación de salida de datos hacia la aplicación AutoCad.

Los pasos a realizar básicamente con la aplicación GESTAR permiten de manera rápida y eficaz la entrada de datos al programa y se trata de realizar las siguientes operaciones:

- ◆ Delinear en AutoCad con ayuda de GESTAR el trazado de la red de riego.
- ◆ Ejecutar con una aplicación topográfica (MDT5), el levantamiento de entidades de la parcela de altimetría irregular y realizar la distribución de cortes en la parcela con la interacción de GESTAR
- ◆ Importar el documento a GESTAR, tomando todos los datos (longitudes, trazados, cotas...)
- ◆ Dimensionar, simular y analizar la red de riego en GESTAR con sus herramientas específicas.
- ◆ Exportar a AutoCad la red de riego calculada, generando los planos en planta con detalles constructivos.

## 2.2 DIMENSIONADO

La mejora y automatización de los métodos de dimensionado de tuberías de redes de distribución a presión en parcela, permite obtener diámetros más económicos con funcionamientos fiables para todas las posturas de riego en la parcela e instalaciones viables y de calidad. (García Asín et al, 2011).

Los tres pilares fundamentales para el cálculo general de un dimensionado óptimo de una red de riego a través de los diferentes métodos viables, son los requisitos de diseño, los diámetros comerciales disponibles y la topología de la red.

Los requisitos de diseño que se suelen utilizar en este tipo de programas de optimización son *requerimientos mínimos en la presión en los nodos*, manteniendo un correcto funcionamiento de las instalaciones; *restricciones en el timbraje de las tuberías* (presión interior que son capaces de soportar las tuberías), teniendo en cuenta que ha de

ser mayor que la presión estática que origina el punto de alimentación y hay que prevenir golpes de ariete; *limitaciones en la velocidad de circulación del fluido*, observando que no haya ni deposiciones de sedimentos, ni erosión en las tuberías.

En el caso de las coberturas totales de riego en parcela por aspersión, el dimensionado total de las redes de riego, se efectúa en dos procesos separados, por sus diferentes criterios de dimensionado, calculando en un primer paso, el dimensionado de las tuberías del sector: tuberías secundarias, marcadas de color rojo y con grosor intermedio, y tuberías terciarias, de color azul con un leve grosor; y por otro lado las tuberías primarias de color naranja, con gran grosor (FIGURA 2).

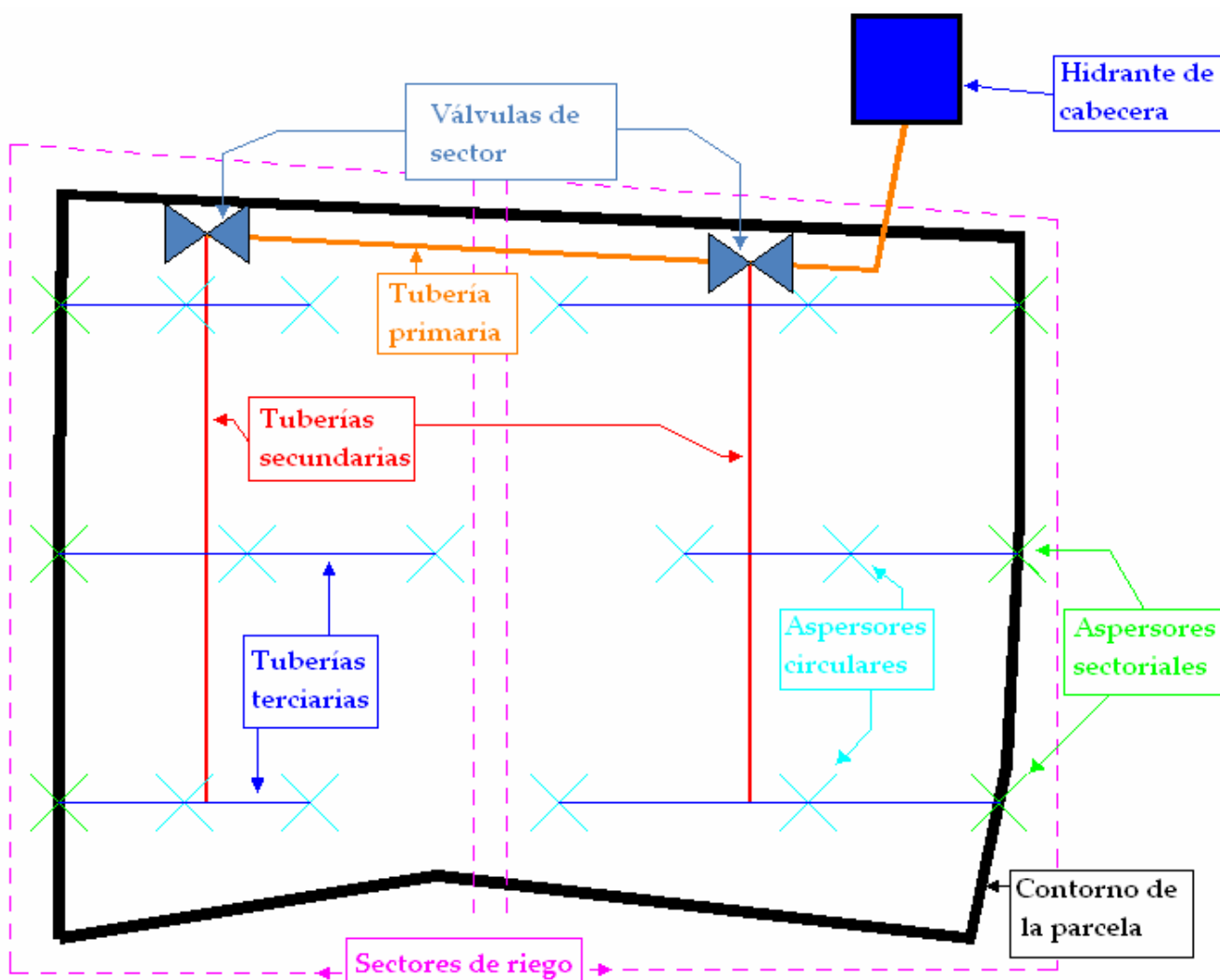


FIGURA 2. Representación esquemática de una cobertura de riego por aspersión

Existen numerosos métodos de dimensionado óptimo de conducciones hidráulicas (Labye, 1996; Granados, 1990; programación lineal, 1966; dimensionado recursivo, 1965; de algoritmos genéticos, 1994; o métodos funcionales); el dimensionado de redes con la aplicación informática GESTAR, se basa en el **Método de la Serie Económica Mejorado** (González Cebollada, 2006), que proviene del **Método de la Serie Económica** (Munizaga, 1976). Y concretamente, para el dimensionado de redes generales de riego a presión a turnos fue adaptado y presentado como: “*Nueva herramienta implementada en GESTAR2010 para el dimensionado de tuberías principales en redes de distribución en parcela y redes de distribución general a turnos*” (García Asín et al, 2011) en el XXIX Congreso Nacional de Riegos de Córdoba; de gran beneficio para su utilización en las redes de riego por aspersión.

A continuación se exponen, de manera muy básica, las nociones esenciales del dimensionado de los sectores, y posteriormente, del dimensionado de la tubería principal adaptados para la optimización de redes de riego presurizadas ramificadas considerando el funcionamiento a turnos de sectores de riego dentro de una parcela.

Primeramente, se realiza el dimensionado de los sectores de riego. Para ello, se disponen de herramientas de delimitación y asignación de los sectores y de definición de aspersores, con las cuales se puede elegir el tipo de aspersión y de distribución adaptadas a la parcela. Con los criterios de velocidades mínimas y máximas permitidos en dichas tuberías, de los caudales nominales de los aspersores y de los materiales involucrados, se establece una presión de entrada en el módulo, en función del desnivel, de una pendiente hidráulica estimada, de la presión de trabajo del aspersor y de la longitud de la caña y se lleva a cabo el dimensionado del sector con el Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada (González Cebollada, 2006).

A continuación, se efectúa el dimensionado a turnos de la tubería principal, que primordialmente, es un método de dimensionado continuo de redes ramificadas que ejecuta el dimensionado óptimo por tramos sucesivos o series de la red. Para atender en que orden esas series han de dimensionarse, el criterio que utiliza el método es el del “nodo más desfavorable” o “nodo crítico”. Para los tramos, el método establece una función de coste de la serie a partir de una función continua de coste de las tuberías que relaciona el diámetro de una tubería con su precio. Para ello, utiliza el Método de

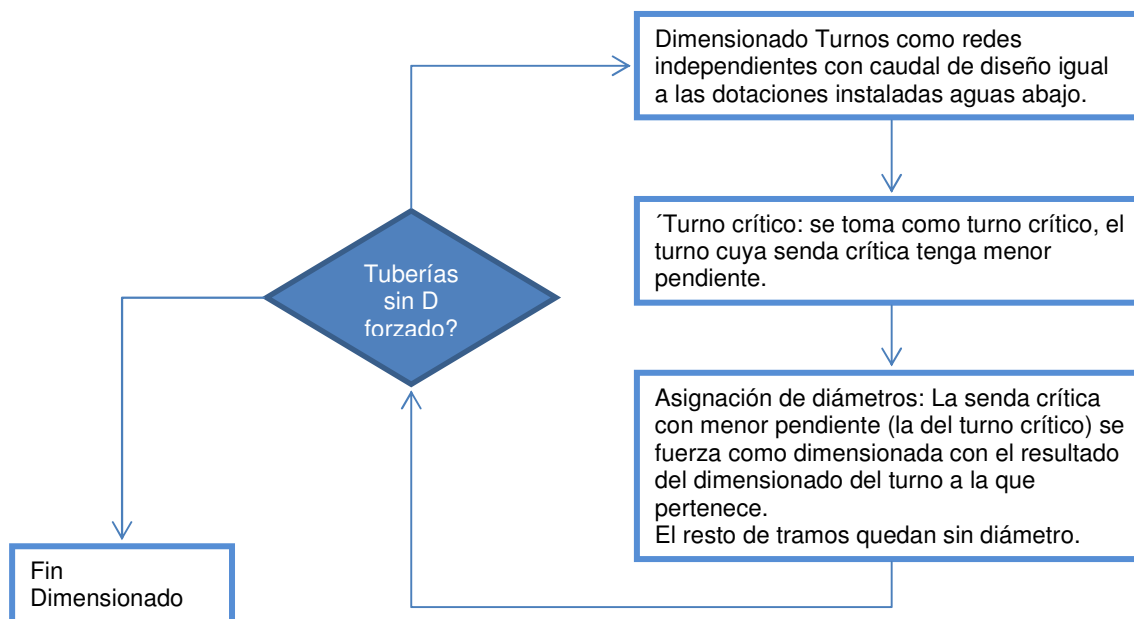
Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Optimización de los Multiplicadores de Lagrange que consigue minimizar la función de costes totales (González Cebollada, 2006).

Generalmente, las redes de riego a presión, son diseñadas para un funcionamiento a la demanda, teniendo en cuenta caudales punta de diseño obtenidos a partir de la primera fórmula de Clément (Clément 1966). Estableciendo una organización de riego a turnos, se producen caudales menores que los que se dan en los sistemas de riego a la demanda. La organización del riego, permite establecer unos caudales de diseño no estadísticos, y con una buena planificación, fijarlos para un funcionamiento eficiente de los equipos de impulsión y un reparto del tiempo de riego que optimice el coste de la energía en función de las tarifas eléctricas establecidas (García Asín et al, 2011).

Para el dimensionado de tuberías de distribución a turnos, GESTAR ha dispuesto de herramientas de definición de turnos, en las que se puede especificar el número de turno, la duración, la planificación y la simulación de los mismos. El proceso comienza dimensionando cada uno de los turnos, como redes de riego independientes, con un caudal de diseño del tramo en turno igual a la suma de las dotaciones instaladas aguas abajo, utilizando para ello el Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada (González Cebollada, 2006). A continuación se selecciona el turno crítico, definido como el turno cuya senda crítica sea la de menor pendiente. La senda crítica de menor pendiente de todos los turnos, pasa a considerarse la senda prioritaria. Para esta senda prioritaria, se toma como primera solución los resultados del dimensionado del turno crítico. En el resto de conducciones, quedan sin asignar los diámetros, entrando como incógnitas en las siguientes optimizaciones turno a turno.

Sucesivamente, se dimensionan de nuevo todos los turnos, forzando los diámetros de los tramos en común con el trayecto de la senda prioritaria anterior, permitiendo así ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión requerida en los trayectos críticos de segundo orden. El proceso se repite hasta que todas las conducciones han sido fijadas. En la siguiente representación se ejemplifica de manera muy sencilla el algoritmo que utiliza el dimensionado de redes independientes por turnos (FIGURA 3).



**FIGURA 3. Esquema básico del algoritmo de redes de riego por turnos.**

De esta manera, se obtiene un dimensionado que garantiza el buen funcionamiento de los sectores de riego dentro de una parcela, o de los hidrantes en una red a turnos, alcanzando como mínimo, la presión requerida en el trayecto más crítico y reduciendo, en la medida de posible el resto de diámetros, para ajustar la presión en los turnos o sectores no prioritarios, aprovechando los “excesos de diámetro” instalados aguas arriba de un tramo necesarios para alimentar otros turnos, economizando la instalación.

Los resultados de estos dos procesos de cálculo establecen un dimensionado de la parcela, que, en conjunción con el valor económico de las tuberías que GESTAR permite establecer en sus propiedades, configuran una partida de presupuestos económicos, tanto parciales, como globales, enmarcados en un cuadro de mediciones.

Como indica González Cebollada (2006), para el correcto diseño hidráulico de redes a presión es necesario cubrir otras fases además del dimensionado, como es el análisis hidráulico estacionario y el análisis de transitorios para conformar o modificar el dimensionado inicial, posibilitando un correcto diseño de los elementos de protección y control y para predecir el comportamiento del sistema. Asimismo, se deben tener en cuenta otros parámetros que influyen en las instalaciones de las redes de riego como

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

facilidad de montaje, previsión futura de recambios, necesidad de agotar partidas presupuestarias, golpe de ariete..., puesto que también afectan a los problemas de diseño y por tanto no se pueden eludir.

## 2.3 SIMULACIÓN HIDRÁULICA

La simulación hidráulica que realiza dentro de sus funciones el programa GESTAR, se basa en un método desarrollado por Aliod et Estrada (2001) que se denomina Método del Análisis Nodal y que ha sido perfeccionado posteriormente por González Cebollada (2006). A continuación se realiza una breve descripción de este método extraído del artículo denominado *Improved pressurized pipe network hydraulic solver for applications in irrigation systems* (Estrada et. al, 2001):

El núcleo que utiliza GESTAR para las simulaciones casi estacionarias en las redes de riego a presión está codificado en Fortran 95. Incorpora diversas innovaciones relacionadas con el tratamiento de elementos de baja resistencia (LRE), con el análisis inverso y con las líneas de emisores dependientes de la presión. Asimismo, proporciona refinamientos en las técnicas numéricas que incrementan la velocidad de cálculo, la garantía de convergencia y la reproducción realística del comportamiento hidráulico de los equipos encontrados en los sistemas de riego a presión. Este hecho permite superar algunas limitaciones y problemas encontrados en otras herramientas computacionales como EPANET2, el código de referencia para simulación hidráulica y calidad de agua en las redes de abastecimiento, cuando se enfrentan a las características únicas de las redes de riego.

Aparte de los clásicos tipos de nodos y de elementos normalmente encontrados en códigos para redes de abastecimiento (nodos de demanda, depósitos, tanques, tuberías, bombas, válvulas de regulación, válvulas de retención, etc), nuevos tipo de elementos combinados y tratamientos innovados para algunos de ellos son introducidos para tener en cuenta la idiosincrasia de los equipos agrícolas y las topologías mixtas. El amplio rango de los diferentes tipos de elementos y nodos operacionales introducidos hace posible un exacto modelo, no solo para sistemas de distribución colectiva, sino también para redes de riego por aspersión y de riego por goteo para parcelas.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Modelos generalizados para cualquier tipo de emisores (aspersores, descargadores libres, fugas, etc) y modelos sofisticados para conductos con presión continua dependientes de la emisión de fluidos (útil en modelos de riego por goteo, tubos porosos o distribución de fugas) están incluidos con estos propósitos (González Cebollada, 2006).

Con el fin de considerar cualquier tipo de red ramificada, mallada ó mixta, el núcleo computacional de GESTAR utiliza una adaptación adecuada del tipo de análisis nodal con el método de la matriz (Todini and Pilati, 1987) para flujos estacionarios. La topología de las redes de distribución de agua se definen en términos de uniones (conductos y otros elementos hidráulicos, como válvulas, bombas...) limitados en sus extremos por nodos conectados a otras uniones o a otras condiciones de contorno.

La adaptación de GESTAR en la simulación hidráulica para riego en parcela, permite obtener valores de la calidad del riego mediante la posibilidad del cálculo de los caudales emitidos según la presión de los aspersores, de la visualización del alcance del agua a la salida de los dispositivos, y por tanto del solapamiento en el riego.

## **2.4 REDIMENSIONADO**

La simulación hidráulica del conjunto de las redes de riego, es capaz de retroalimentar de nuevo el dimensionado. Es decir, en función de los resultados obtenidos en la simulación, es posible iterar y repetir los dimensionados con el fin de mejorar los resultados obtenidos.



### **3 IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS EN GESTAR**

El conjunto del programa GESTAR con todas sus aplicaciones y características exige de un proceso de avance, mejora y perfeccionamiento continuado en el tiempo, ideado y ejecutado por los técnicos que integran su equipo. Este trabajo en continuo desarrollo, integra ideas cuyo progreso se establece por prioridades y por lo tanto, es posible que la aplicación disponga de diversas herramientas de cálculo, que pese a su existencia, no han sido íntegramente definidas, validadas, ni documentadas.

Como consecuencia, se ha considerado, primeramente necesaria una labor de idear una manera que permita una estructuración y definición de las operaciones que se llevan a cabo con dichas herramientas concibiendo nuevas opciones, recursos y menús del programa. Es decir, se realiza un diseño conceptual de las herramientas que permitirán el funcionamiento de la aplicación futura. En contacto con el equipo GESTAR de programación, se guía el desarrollo de las herramientas puesto que están en continuo cambio. Al mismo tiempo, se han requerido diversas pruebas que permiten validar y depurar dichas herramientas, detectando y subsanando posibles errores y aportando ideas y conocimientos para mejorar el manejo de las mismas.

Por ello, se han efectuado una serie de procesos para conseguir los objetivos del presente proyecto. Estos procesos, entre los cuales se encuentran, el aprendizaje de los recursos del programa, la habituación al uso de las herramientas existentes anteriormente, el testeo de las mismas, la prueba de varios casos reales de ejecución de regadíos, la transformación en regadío de varios casos reales con la metodología GESTAR, la detección de errores, la generación de ideas para la creación y mejora de los pasos y para la definición de menús y opciones, la comparativa de métodos de dimensionado de redes, la generación de documentos y recursos de manual, la compilación de documentos de ayuda..., han transformado esta parte de la aplicación informática.

Para incidir concretamente en el trabajo realizado, se debe observar la evolución de la herramienta para el dimensionado óptimo de una red de riego a presión con cobertura total en parcela para riego por aspersión. Así, en un primer lugar, la base de partida era una serie de herramientas que realizaban el dimensionado óptimo de los sectores en ficheros separados y con nodos de consumo conocido a través del algoritmo basado en el método de la serie económica mejorado y modificado para el riego por aspersión. Es decir, existía un método laborioso e incompleto, en el que las herramientas se habían creado desde el punto de vista de redes con hidrantes.

Como consecuencia, en este punto el equipo GESTAR y el autor de este trabajo final de carrera idean y definen conjuntamente los elementos, menús del programa y opciones que el módulo de riego por aspersión va a contener. En este desarrollo, cada avance necesita de una revisión y detección de errores a través del testeo, y por lo tanto de una validez para continuar con el progreso del proyecto. Así pues, algunas de las actividades con más impronta y complicadas de afrontar que se producen en este periodo son:

- La realización de la distribución automática de la malla de aspersores, tanto sectoriales, como circulares, y su conexión mediante tuberías terciarias en el entorno AutoCad, pudiéndose trabajar sobre contornos de parcelas irregulares ó parcelas con zonas aisladas.
- La generación de un elemento específico, aspersor, cuyo icono se ubicase automáticamente en el punto de inserción, cuyas propiedades, como los valores de presión disponible, caudales y alcances se mostraran adecuadamente
- La posibilidad de importar y exportar los elementos y nodos que configuran la red de riego, desde el entorno AutoCad de manera eficiente con sus respectivas cotas reales y con una conectividad de los elementos óptima.
- La creación de las líneas que definen las limitaciones de los sectores de riego, junto con la posibilidad de asignar turnos a los aspersores.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

- La generación de menús y ventanas adaptados y configurados específicamente para el riego en parcela, que actúan en el proceso completo de dimensionado.
- La posibilidad de dimensionar automáticamente las conducciones del sector de riego (secundarias y terciarias) con criterios de optimización, dimensionando, asimismo, cada sector por separado, en función de las presiones de alimentación disponibles y dimensionando de forma óptima las conducciones primarias, que trabajan bajo un esquema a turnos.
- La concepción de la transformación de los nodos de consumo conocido, que constituyen las cabeceras de los sectores, en válvulas hidráulicas tras la operación de dimensionado de la tubería general.
- La obtención automática del modelo integral de toda la red interna de la parcela mediante un solo archivo GESTAR, que ofrece mediciones específicas y un presupuesto global del diseño resultante de las redes en parcela. crear
- La documentación de un protocolo de uso de estas herramientas, de casos guiados de trabajo con topografías reales, y documentación asociada al diseño en parcela.

Para todo ello, se han trabajado una serie de casos reales que han sido utilizados para realizar la comprobación del funcionamiento de la herramienta a través de numerosas pruebas de error y la concepción de todas las mejoras anteriormente mencionadas.

Finalmente, tras más de un año de trabajo en equipo y coordinado con múltiples avances contiguos del programa, son diversas las contribuciones realizadas que se materializan en una herramienta de dimensionado óptimo de redes de riego en parcela con cobertura total por aspersión eficaz y compacta, que se valida a través de la comparativa de los casos guiados transformados posteriormente.

## **4 PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN**

El desarrollo de la solución aportada por este proyecto para el dimensionado, simulación y análisis de los proyectos de ejecución de redes de riego por aspersión, se ha implementado e integrado en el software existente de GESTAR. Con el fin de poner en conocimiento las herramientas implementadas se han documentado dos tipos de archivo: el manual de usuario y una guía de trabajo.

## **4.1 MANUAL DE USUARIO**

La definición de conceptos, la ilustración y explicación de los recursos operativos que se han integrado en GESTAR, se ha documentado en la parte de diseño en parcela del manual de usuario que se muestra en el ANEXO III, con el fin de que cualquier usuario experimentado o no, pueda conocer y manejar el programa para el diseño hidráulico de coberturas totales en riego por aspersión sin problemas.

## **4.2 GUÍA DE TRABAJO**

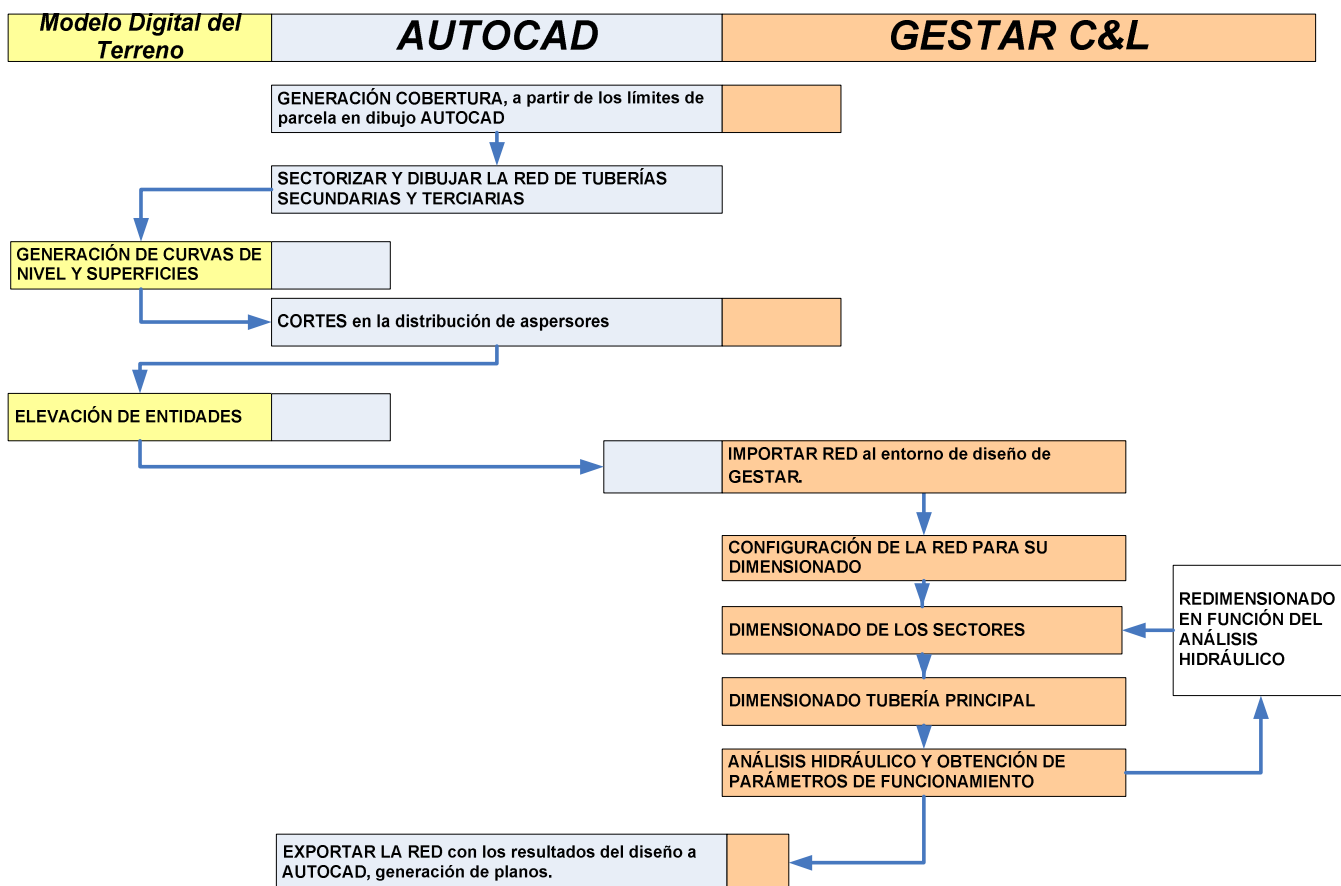
En este apartado, a diferencia del anterior, se presenta el funcionamiento final de la estructuración de las herramientas de diseño hidráulico de redes de riego por aspersión, ejemplificada y aplicada, a través de una guía que propone un patrón de trabajo desarrollando una metodología para el proceso de un ejemplo de aplicación completo de diseño, dimensionado y análisis de una red de riego en parcela con una cobertura total por aspersión utilizando el programa de ingeniería hidráulica GESTAR.

Primeramente, se puede encontrar un esquema y un resumen de los procesos de trabajo en el diseño en parcela, que describen el procedimiento de creación topológica de la red de riego por aspersión en el entorno AutoCad, así como su importación a la aplicación GESTAR. También se recopila una descripción del proceso de dimensionado de la red por sectores y del dimensionado total, para su posterior optimización y análisis hidráulico.

El ejemplo se lleva a cabo con una parcela adaptada a los requisitos de la versión educativa de la aplicación Gestar.

En el proyecto de diseño en parcela, han sido desarrolladas y potenciadas herramientas que fortalecen y agilizan las técnicas para el diseño hidráulico de sistemas por aspersión. Los procesos que se han de llevar a cabo para el dimensionado y análisis de sistemas en parcela, que permite abordar, desde la definición topológica en sistemas complejos, hasta la comprobación hidráulica de presiones y alcances, incluida la obtención de mediciones, se pueden visualizar en el esquema de la FIGURA 4.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.



**FIGURA 4. Diagrama del proceso de dimensionado y análisis de redes de distribución en parcela.**

Este esquema sintetiza y aclara, tanto para redes de riego por aspersión como para redes de riego localizado, las operaciones a realizar para completar un dimensionado óptimo y análisis de redes de riego en parcela. Por tanto, a continuación se expone una breve explicación de dichos procesos.

#### ◆ Generación de la cobertura.

Este proceso se realiza mediante la combinación y comunicación del programa GESTAR y de la aplicación AutoCad. En el entorno AutoCad, se dibuja el contorno o límite de la parcela mediante una polilínea. En GESTAR se definen las características de la red. Finalmente, GESTAR dibuja automáticamente una malla de tuberías terciarias con aspersores o emisores de riego localizado, que cubren, con el marco de riego y el tipo de distribución especificado, la superficie interior al contorno de la parcela.

◆ **Sectorizar y dibujar la red de tuberías secundarias y terciarias**

En el entorno AutoCad y apoyándose en la generación de la cobertura que define las tuberías terciarias, se dibuja el trazado de las tuberías primarias, las tuberías secundarias y de los sectores, en el caso de riego por aspersión, generando todo el entramado de tuberías de un diseño en parcela.

◆ **Generación de tramos y cotas.**

GESTAR necesita una correcta definición de los tramos que conforman la red de riego, para establecer correctamente las conexiones de sus elementos, que se realiza a través de un proceso de ‘Cortes en la Distribución de Aspersores’ ó ‘Cortes en la Distribución de Emisores’, según sea el caso. Asimismo, el trazado de la red en AutoCad, tiene por defecto cota nula. En este punto se deben asignar las cotas reales de la parcela. Estas cotas vienen definidas por puntos o curvas de nivel, por ello, necesitan un programa de modelización del terreno, como por ejemplo el MDT5, con el cual se realiza la elevación de entidades que sitúa cada elemento con su respectiva altimetría exacta.

◆ **Importación de la red al entorno GESTAR.**

El diseño hidráulico de las redes de riego se realiza con los módulos de cálculo de la aplicación informática GESTAR. Por tanto, un proceso de importación transfiere el trazado, las longitudes de las tuberías y las cotas de los nodos de la red, desde la aplicación AutoCad hasta el entorno GESTAR. Los objetos a transformar son marcados conjuntamente con las capas de trabajo del entorno AutoCad de dichos objetos para transformar tanto los nodos, como los elementos en pasos separados, según sea necesario. El tipo de emisor, por defecto, es seleccionado durante esta operación.

◆ **Configuración de la red para el dimensionado.**

El usuario revisa el tipo de tuberías y sus conexiones e instala los componentes hidráulicos adicionales del entramado. Se trazan los sectores en el caso de que no hayan sido importados. La cabecera es modelizada como un *Nodo de Presión Conocida*, siendo el valor de presión regulada la estimada como valor disponible



aguas abajo del hidrante de cabecera. Asimismo, se instalan los hidrantes de sector ó tomas de agua de sector como *Nodos de Presión Conocida*.

◆ **Dimensionado de sectores.**

Se procede al dimensionado de cada uno de los sectores de riego. El dimensionado de los sectores tiene en cuenta los criterios de diseño velocidad máxima y mínima, el caudal nominal de los emisores y su presión de trabajo, los materiales involucrados, así como la presión de entrada en el módulo. Tras este proceso, los *Nodos de Presión Conocida* instalados como hidrantes de sector se convierten automáticamente en *Nodo de Consumo Conocido*.

◆ **Dimensionado de la tubería principal.**

El dimensionado de la tubería principal, se resuelve considerando el funcionamiento a turnos de los sectores de riego dentro de la parcela. Se especifican los turnos de riego con la duración requerida y sus correspondientes características. El programa identifica el sector de riego crítico (el nodo cabecera de menor pendiente hidráulica), dimensionando la tubería principal para servir como mínimo, la presión de entrada tenida en cuenta en el proceso anterior y considerando el trayecto a este sector, como prioritario. En segundo orden, se dimensionan el resto de conducciones teniendo en cuenta las tuberías del trayecto en común que conduce al sector crítico, permitiendo así, ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión de los módulos no críticos. El proceso se realiza recursivamente hasta lograr el resultado óptimo.

◆ **Análisis hidráulico.**

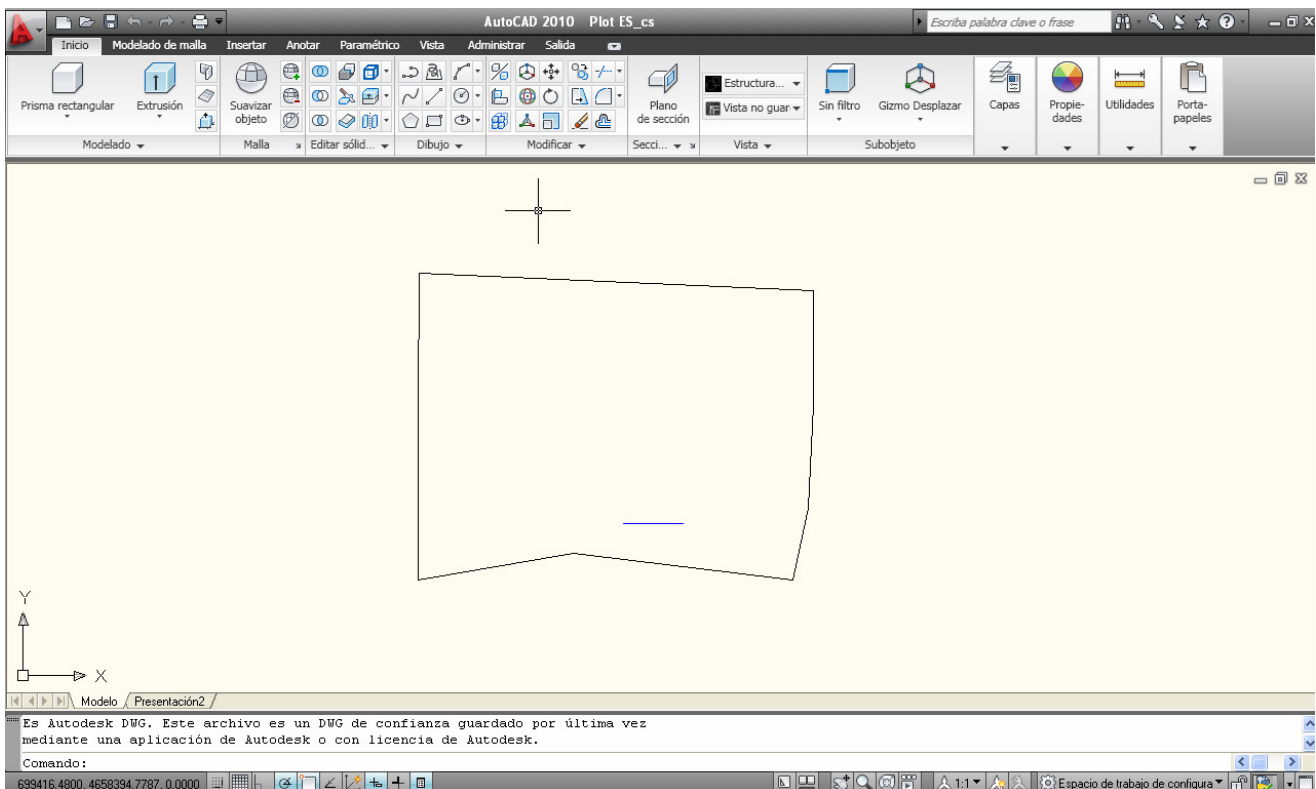
La simulación completa de cada uno de los turnos de riego dentro de la parcela se utiliza para analizar su funcionamiento hidráulico, detectando disfunciones y posibles mejoras en el diseño. En el análisis hidráulico, existen opciones útiles de cotejo de datos, además de los resultados, se muestra la trayectoria teórica del agua, el alcance real del agua con los datos introducidos en el ejemplo, en el caso del riego con cobertura total por aspersión.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

#### ◆ Exportación a AutoCad.

La exportación de los modelos de la parcela a AutoCad, permite generar planos detallados del diseño en este formato. Así, a través de un proceso de exportación desde GESTAR hasta AutoCad, marcando los objetos para transformar tanto los nodos, como los elementos y con una configuración adaptada a las necesidades de este tipo de proyectos.

Se considera la instalación de coberturas totales enterradas para riego por aspersión, dividida en dos sectores con un marco 18x18 equipadas con aspersores circulares y aspersores sectoriales con alcances de 12 metros en un campo cuyo contorno se puede observar en la imagen de la FIGURA 5, en el entorno AutoCad.



**FIGURA 5. Contorno de la parcela ejemplo en el entorno de AutoCad.**

### 4.2.1 GENERACIÓN DE COBERTURA

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

En primer lugar, y siguiendo el esquema de la FIGURA 4, será necesario generar la cobertura a partir de los límites de la parcela. Con este fin, el usuario deberá trazar un segmento de referencia en el entorno AutoCad, desde cuya posición, la aplicación generará el resto de la malla que conformará la cobertura.

Tras este paso será necesario abrir la aplicación Gestar que permite la ejecución de esta generación de coberturas. Sin ninguna otra red abierta, en el menú de la barra de herramientas será seleccionada la opción *Distribución de Aspersores* del menú *Diseño en Parcela*, tras lo cual se abrirá la ventana representada en la FIGURA 6, desde la que se requieren una serie de datos para la configuración de la red.



**FIGURA 6. Ventana de distribución de aspersores.**

La distribución de aspersores requiere que el usuario escoja unas determinadas características de la red. De este modo, para la creación de una malla de tuberías terciarias, sobre la cual se sitúen los aspersores, dentro de una parcela será ineludible elegir *Distribución de aspersores dentro de una parcela* en el botón de opción situado en la parte superior izquierda de la ventana (FIGURA 6).

Como consecuencia, los datos situados en el cuadrante izquierdo *Aspersores en Parcela*, son aquellos que será necesario completar:

- ◆ En la opción *Marco de Riego*, el usuario creará la red de riego según su criterio, así, asignará valores de distancia entre aspersores (D), valores de distancia entre tuberías terciarias (H) y valores de distancia al margen de la parcela.
- ◆ En la opción *Tipo de Riego – Distribución*, será elegida una distribución de los aspersores al tresbolillo ó una distribución rectangular.
- ◆ En caso de encontrar una parcela con un contorno de formas muy irregulares o con huecos intermedios que no forman parte de la parcela, es conveniente marcar la opción, *Contorno Irregular*.
- ◆ Existe la posibilidad de dibujar líneas de contorno en los aspersores y aspersores sectoriales que indican el alcance de los aspersores en metros según la medida introducida en la casilla *Radio de los Aspersores*. Con esta herramienta se consigue proporcionar al usuario una idea visual de la distribución de riego en el campo.
- ◆ Existen otros dos campos a rellenar, *Nombre Capa Aspersores* y *Nombre Capa Aspersores Sectoriales*, en los cuales se introducirán los nombres que se les desea asignar a la capa de trabajo de los aspersores y a la capa de trabajo de los aspersores sectoriales, en el entorno AutoCad, respectivamente.

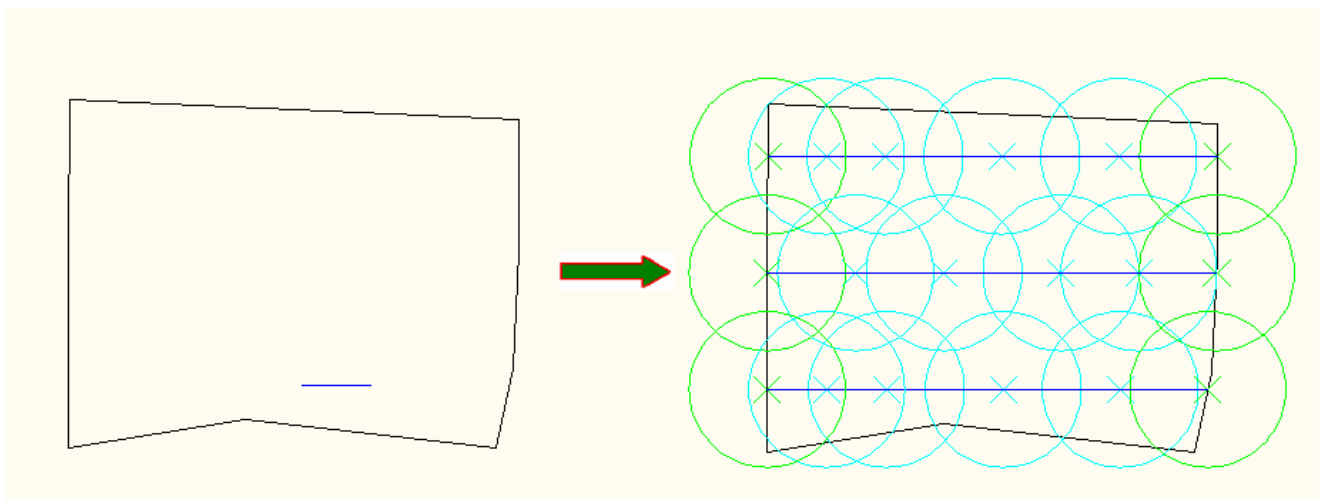
En el ejemplo actual, ha sido escogido el marco de riego del enunciado, que la aplicación proporciona por defecto, es decir, el de la imagen de la FIGURA 6: marco de 18 x 18 con un margen de 12 metros y al tresbolillo sin contorno irregular.

- ◆ Como nombre de capa se ha introducido *AspersoresX* para los aspersores y *SectorialesX* para los aspersores sectoriales.

Una vez rellenados todos los campos y asignadas todas las características requeridas, será necesario presionar el botón, *Crear Distribución*. Dicha orden

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

trasladará al usuario al entorno AutoCad, para seleccionar en primer lugar, el límite de la parcela, por lo cual habrá que hacer clic en él y en segundo lugar, habrá que presionar el segmento de referencia anteriormente trazado para la creación de la cobertura de riego como se observa en la FIGURA 7.



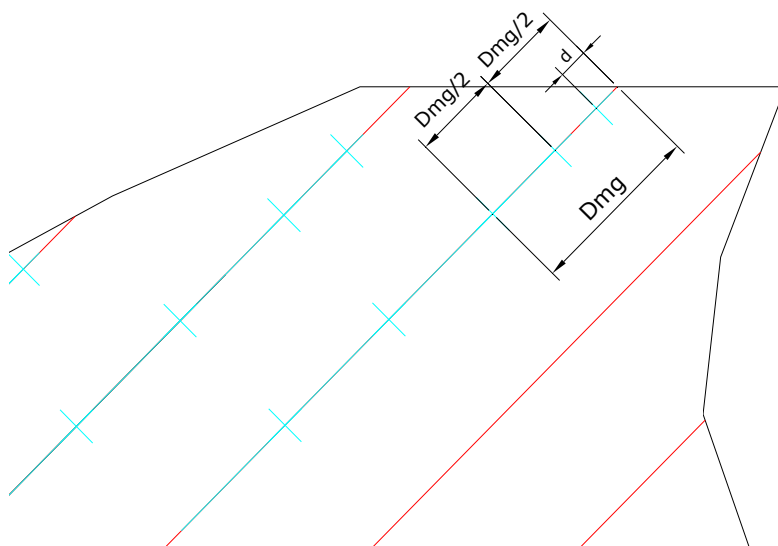
**FIGURA 7. Generación de la malla de terciarias y de los aspersores.**

De esta manera, el programa traza las tuberías terciarias y dibuja los aspersores y los aspersores sectoriales con el contorno del radio de alcance. Internamente, la aplicación efectúa la operación de la distribución de aspersores y aspersores sectoriales siguiendo los siguientes parámetros:

- ◆ Si el segmento final tiene menos del radio del aspersor ubicará un único sectorial en uno de los extremos.
- ◆ Si el segmento final tiene menos del diámetro del aspersor situará dos sectoriales uno en cada extremo de la parcela.
- ◆ Si el segmento final es mayor que el diámetro del aspersor comenzará a interponer aspersores intermedios.

Esta instalación de los sectoriales se realiza a partir del punto que se marca como parámetro. En primer lugar, la aplicación busca hacia un lado en la recta base, comprobando que no se pasa de los límites dados por los puntos de corte con la parcela. Posteriormente examina hacia el lado contrario hasta los puntos de corte. En el momento de la distribución de aspersores en el segmento base de la parrilla, la distancia

entre el último aspersor y el límite de la parcela deberá ser superior al Margen establecido por el usuario. El programa comprueba el valor de esta distancia y si es menor que el Margen este último aspersor se situará en la mitad del último tramo. En la FIGURA 8 se observa que la distancia del último aspersor al límite de la parcela “ $d$ ” era inferior al Margen, por lo que en vez de colocarlo en ese punto se situó en la mitad del último tramo “ $Dmg$ ”.



**FIGURA 8. Esquema de la distribución de aspersores**

#### 4.2.2 SECTORIZAR Y DIBUJAR LA RED COMPLETA

Como vemos en la FIGURA 7, en el entorno AutoCad ha sido generada una malla de tuberías terciarias con sus correspondientes aspersores, para la generación del diseño final de la red de riego. Así pues, siguiendo las directrices de la FIGURA 4 resulta ineludible el finalizado del resto de la configuración de diseño de la red. Esto quiere decir que el delineante en AutoCad deberá diseñar y trazar las tuberías primarias y las tuberías secundarias que proporcionarán una conexión total de las redes al proyecto de la siguiente manera:

- ◆ Las tuberías primarias se trazarán por tramos desde la salida de un sector a la entrada del siguiente.

- ◆ Las tuberías secundarias se dibujarán en un solo tramo y con sólo dos vértices, desde la conexión con la tubería primaria hasta la última tubería terciaria del ramal. Asimismo, si el trazado de la tubería secundaria tiene vértices situados en puntos de cruce con las terciarias puede producir problemas en la distribución de cortes posterior, con lo cual, para estos casos se recomienda desplazar dicho vértice de la secundaria.
- ◆ Las tuberías terciarias o ramales de riego, ya han sido creadas y sólo se realizarán los cambios pertinentes según cambios sobre la topología de los aspersores. Es posible que existan cruces entre tuberías secundarias y terciarias en aquellas parcelas de trazado complejo, cuando esto ocurra el usuario deberá estar atento, ya que el programa dispondrá de un corte involuntario entre estas.

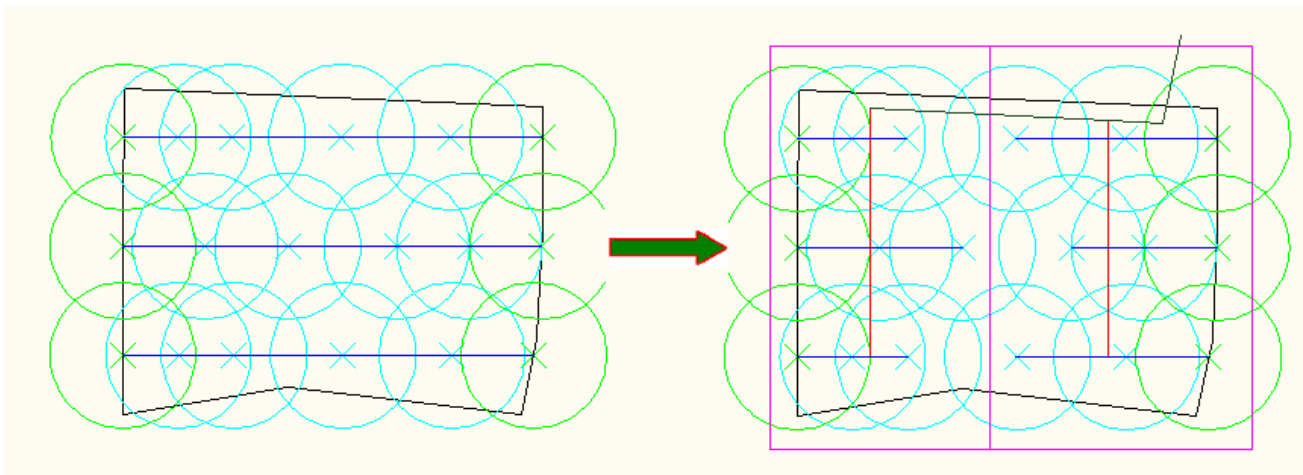
Este proceso es clave para el posterior tratamiento de la información en GESTAR. Asimismo se diseñará un sectorizado de la red de riego teniendo en cuenta el futuro uso de la red a presión, cuyos aspersores requerirán un caudal suficiente como para poder tener una uniformidad adecuada en la totalidad de la parcela. Para ello, se trazarán los sectores en una capa de nombre conocido, esto se puede realizar de dos maneras: eliminando en el entorno AutoCad o Gestar las conexiones entre terciarias sobrantes y dibujando los sectores ó dibujando los sectores sin eliminar ningún tramo de tuberías para su posterior tratamiento.

Estas sectorizaciones, se realizan usualmente según la experiencia; si se requiere una instalación de la tubería terciaria de PE32, se dejará un ramal terciario con cuatro aspersores; mientras que si se escoge una instalación de PE40, se trazarán los ramales terciarios con 6 aspersores. Asimismo, GESTAR permite el cálculo de los ramales de tuberías terciarias aunque desde un punto de vista constructivo en campo sería incómoda su aplicación.

- ◆ Los sectores se trazarán en una capa diferente al resto de tuberías con el fin de tener la capacidad de importarla en un proceso posterior.

Una de las características imperativas en su trazado es que cada uno de los sectores debe ser cerrado y debe tener siempre un vértice más que un lado. Así por ejemplo si el número de lados es 4, como en este caso, los sectores poseen 5 vértices. Este hecho se puede comprobar en las propiedades geométricas del trazado.

En el ejemplo que está siendo analizado, la conformación final ha sido diseñada con dos sectores tal y como se ve en la FIGURA 9. En este caso, no se ha modificado la localización de aspersores, ni se ha considerado la adición de ninguno porque se considera que los aspersores creados son suficientes para el total riego del campo, pero habrá casos en los cuales sea necesario.



**FIGURA 9. Sectorización y adición de tuberías a la red.**

En el entorno AutoCad resulta **imprescindible conocer el nombre de las capas de trabajo** que son utilizadas para el trazado de las tuberías, puesto que durante el siguiente paso de transformación de elementos será necesario que el usuario conozca las capas que deberán ser transformadas.

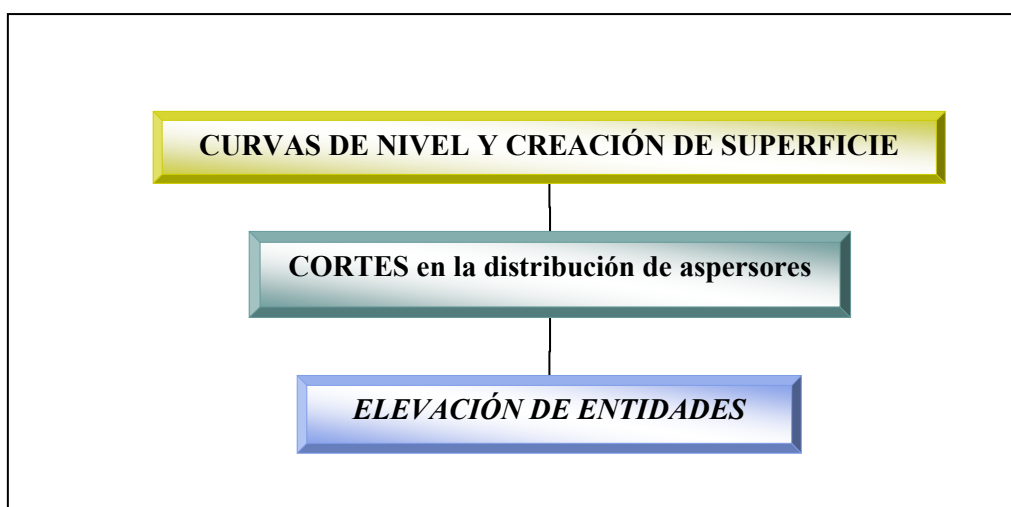
#### 4.2.3 GENERACIÓN DE TRAMOS Y CORTES

Es probable que la parcela disponga de una altimetría irregular, en tal caso, se efectuará un levantamiento topográfico con un programa especializado. En este caso, se utiliza el programa denominado MDT5, de una gran extensión de manejo, aunque no



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

por ello vinculante. Se podrán utilizar otras aplicaciones para el levantamiento cuyos resultados sean coherentes con el formato AutoCad y con la geometría de las líneas, polilíneas y sus cortes. **En caso de no disponer de curvas de nivel o de no tener la necesidad de realizar un levantamiento topográfico, simplemente la herramienta a utilizar es la segunda especificada en la siguiente figura llamada: *Cortes en la Distribución de Aspersores* (FIGURA 10).**



**FIGURA 10. Esquema del proceso de levantamiento topográfico**

### ***Curvas de nivel y creación de la superficie***

La topografía irregular de la parcela viene prefijada por las curvas de nivel, en cuyas propiedades se puede observar/introducir la variable 'z' que corresponde con la cota de la curva de nivel.

Para el tratamiento de la topografía se pueden utilizar diversas técnicas. En el ejemplo siguiente, se pulsará en la barra de herramientas de AutoCad en el menú *MDT5*, en la opción *Superficie*, y en *Crear Superficie* y a continuación habrá que *Guardar* el archivo de formato (.sup) con denominación aleatoria, con lo que aparecerá la ventana de la FIGURA 11a. Se marcan las casillas de *Longitud máxima* y *Curvas de nivel*. Se introducirá una longitud suficiente, como por ejemplo 1550 metros. Tras esto, se escogerá la capa asignada a las curvas de nivel una vez electa la pestaña de *Curvas de Nivel* y pulsando *Seleccionar*, como consecuencia emerge la FIGURA 11b y se hace clic en la selección de capas tras lo cual surge la FIGURA 11c. En esta última ventana,

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

hay una lista de capas disponibles, de ellas se elige la capa de curvas de nivel pulsando la tecla '>', para trasladarla a la lista de capas seleccionadas.

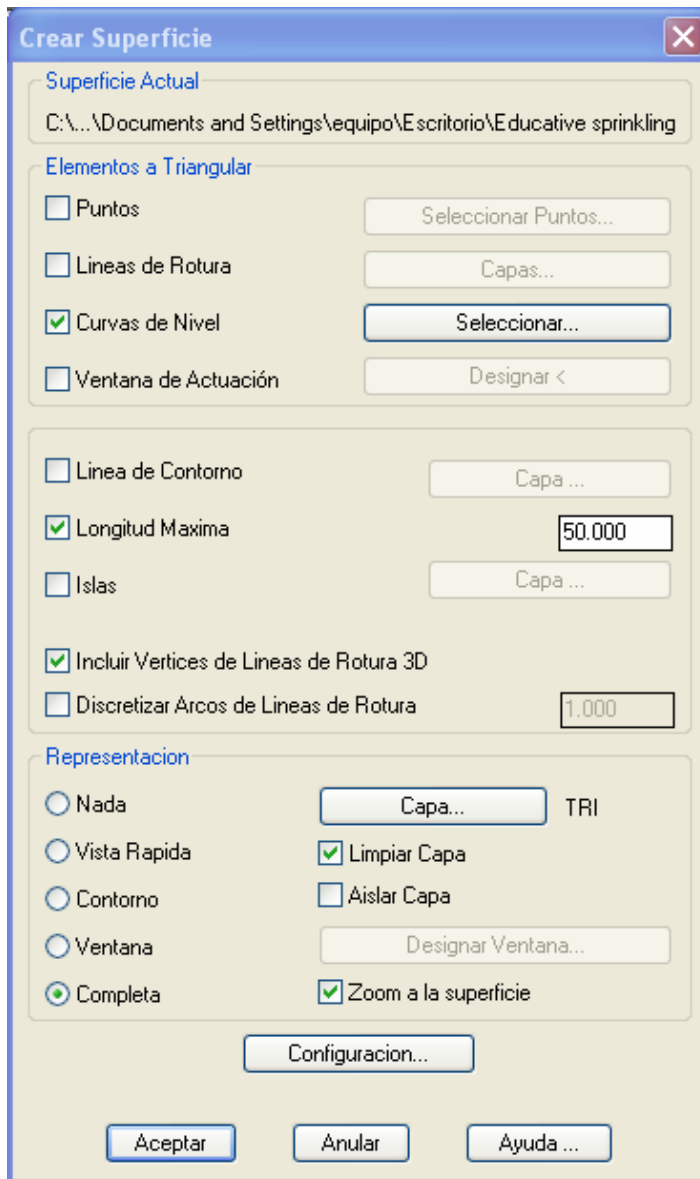


FIGURA 11a Ventana de crear superficie

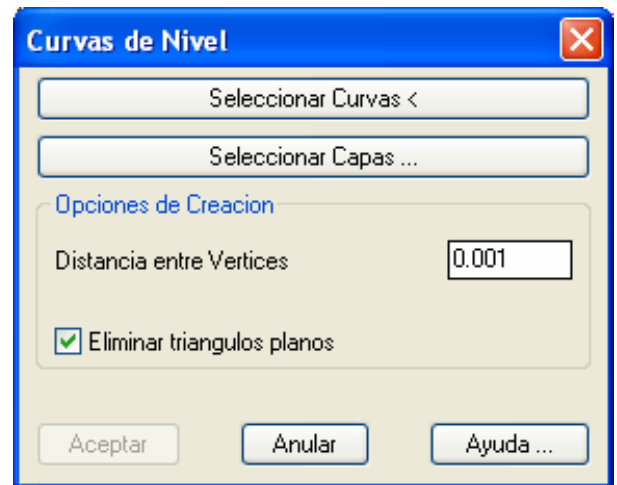


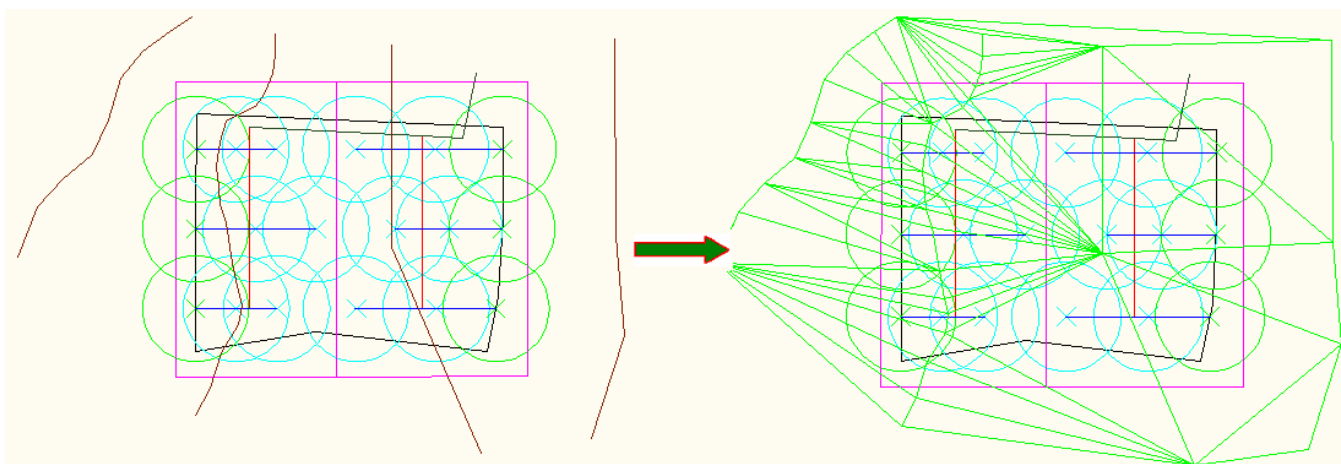
FIGURA 11b Ventana de curvas de nivel



FIGURA 11c Ventana de selección de capas

**FIGURA 11. Ventanas de los procesos de creación de superficie en el entorno AutoCad (MDT5)**

Finalmente, se aceptan las opciones, y el proceso se desarrollará como se puede visualizar en la FIGURA 12.



**FIGURA 12. Creación de superficie en el entorno AutoCad (MDT5)**

Una vez efectuada la creación de la superficie, se realiza el despiece de las tuberías. Para ello, sin ninguna otra red abierta, en el menú de la barra de herramientas será escogida la opción *distribución de aspersores* del menú de nombre *Cortes Distribución Aspersores*, tras lo cual se abrirá la ventana representada en la FIGURA 13.

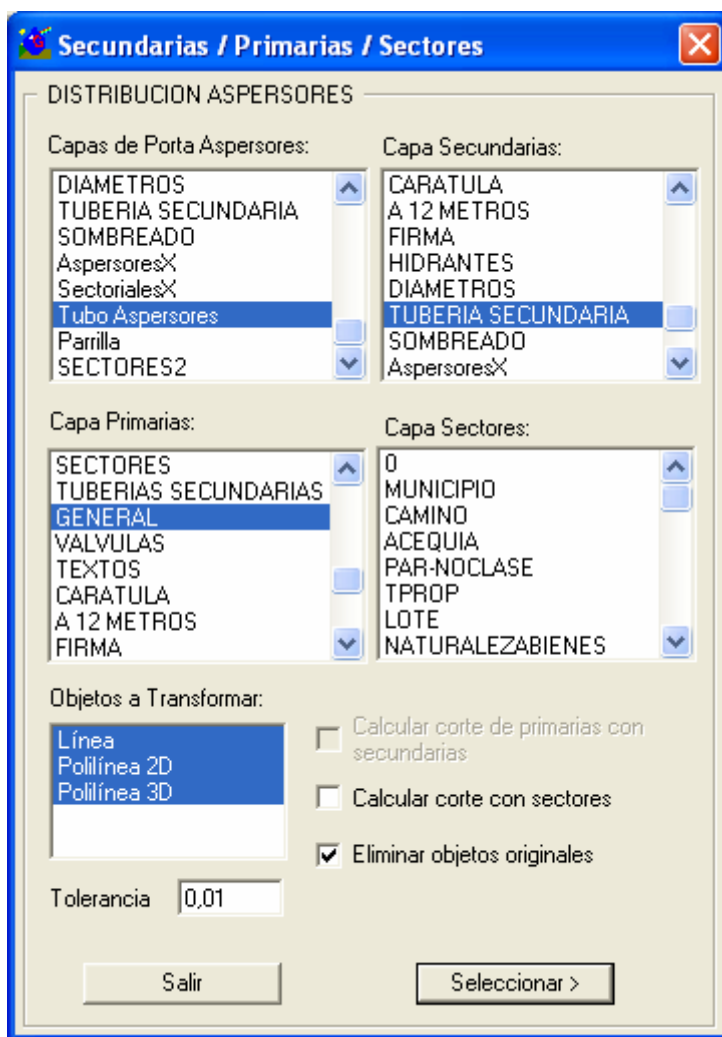


FIGURA 13. Ventana de Cortes en la Distribución de aspersores

### *Cortes distribución de aspersores*

En la FIGURA 13, se llevará a cabo el despiece de las tuberías con el objetivo de alcanzar una conexión entre tuberías con elevaciones del terreno (aunque la parcela sea llana, se debe efectuar este proceso), como se detalla a continuación:

- ◆ En la lista de las *Capa de Porta Aspersores* se seleccionará la capa del entorno AutoCad asociada a las tuberías terciarias o tuberías porta aspersores haciendo clic sobre su nombre con el ratón, con lo que se marcará en color azul. El proceso se repite para el resto de las capas.

- ◆ En la lista de las *Capa Secundarias* se escogerá la capa del entorno AutoCad asociada a las tuberías secundarias marcándola en azul mediante un clic de ratón sobre su nombre. Es posible que existan cruces entre tuberías secundarias y terciarias en aquellas parcelas de trazado complejo, cuando esto ocurra el usuario deberá estar atento, ya que el programa dispondrá de un corte entre estas.
- ◆ En la lista de las *Capa Primarias* se seleccionará la capa del entorno AutoCad asociada a las tuberías primarias pulsando sobre su nombre con el ratón, con lo que se marcará en color azul.
- ◆ Existe la opción de sectorizar la parcela, sin la necesidad de eliminar las partes innecesarias de las tuberías terciarias que se han creado automáticamente entre sectores. Para ello, se pulsará en la lista de *Capa Sectores* sobre la capa del entorno AutoCad asociada a los sectores y se marcará la opción *Calcular Corte con Sectores*. De este modo se eliminarán automáticamente las tuberías porta aspersores sobrantes.
- ◆ En la lista *Objetos a transformar*, se marcarán los tipos de objetos que se transforman en AutoCad, seleccionándolos con un clic de ratón sobre sus nombres en la lista. Es decir, línea, poli-línea 2D y poli-línea 3D.
- ◆ La opción *Eliminar objetos originales* deberá estar marcada para que no dibuje encima de los objetos actuales
- ◆ La **Tolerancia** recomendada es de 0,01. Cuando se transforma un objeto de AutoCAD en un *Nodo* de la red de GESTAR, se comprueba que dicho *Nodo* no haya sido creado en transformaciones anteriores. La verificación consiste en la comparación de las coordenadas X, Y, Z del *Nodo* existente con las del objeto a transformar.

Si la diferencia entre cada una de las tres coordenadas está por debajo del valor de *Tolerancia*, la aplicación considerará que se trata del

mismo objeto, no creando un nuevo *Nodo*, sino manteniendo el único *Nodo* ya generado. Este recurso es de utilidad para facilitar la conectividad de tramos y bloques del grafo de la red, de manera que sean superados de forma automática pequeños errores de delineación, en que el uso de la opción *Referencia a Objetos* no haya sido suficiente para enlazar los objetos en los puntos de inserción y extremos de líneas y polilíneas. Así, todos los extremos y puntos de inserción que se encuentren dentro de la tolerancia serán considerados un mismo *Nodo*. Es necesario ajustar adecuadamente este parámetro puesto que un valor muy reducido no tendrá el efecto de conexionado buscado, y un valor excesivo, unificará *Nodos* que en principio son distintos. **Se recomienda que la tolerancia sea inferior a la longitud de la Tubería más corta del plano.** Hay que vigilar en especial los pequeños tramos de conexión entre red e hidrantes, en ocasiones de longitud muy reducida, aconsejándose suprimir dichos tramos e insertar el Bloque que representa el hidrante directamente sobre la conducción de la red. **En caso de que los nodos extremos de un elemento sean unificados en uno solo por el criterio de Tolerancia, el elemento en cuestión no será creado.**

### ***Elevación de entidades***

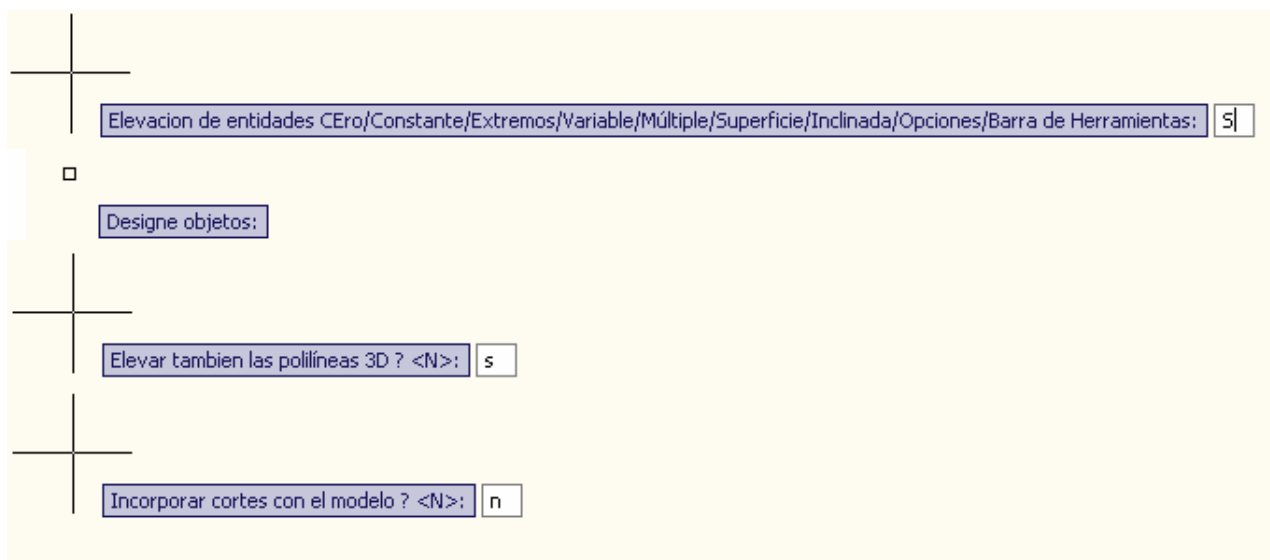
Finalmente, habrá que realizar la elevación de entidades. Para ello, en la barra de herramientas de AutoCad se pulsará el menú *MDT5*, en la lista se hará clic sobre *Utilidades*, para desplegar otra lista, en la cual se presionará sobre *Elevación de entidades*. Esta acción llevará al usuario sobre la pantalla de dibujo de AutoCad y a continuación aparecerán al lado del puntero, una serie de mensajes para elegir las opciones en la elevación de entidades, siendo estos:

- ◆ *Elevación de entidades CERO/Constante/Extremos/Variable/Múltiple/Superficie/Inclinada/Opciones/Barra de herramientas:* y queda libre un hueco sobre el cual se debe escoger, introduciendo la letra inicial (marcada en mayúsculas) del estilo de elevación de entidades que se

desea ejecutar. En este caso, lo haremos por superficie, con lo que se tendrá que escribir la letra 's', tal y como viene reflejado en la FIGURA 14.

- ◆ *Designar objetos*: tras lo cual se deberán designar los objetos a elevar con el ratón. Se recomienda elegir todas las entidades pulsando en un lateral del dibujo y arrastrando por la parcela hasta la otra esquina del mismo, tras lo cual, se presionará la tecla Enter.
- ◆ *Elevar también las polilíneas 3D? <N>*: para realizar la elevación de las polilíneas 3D, en el hueco se introducirá la letra 's' para que ejecute la acción.
- ◆ *Incorporar cortes con el modelo <N>*: Esta opción sirve para que el programa realice cortes en los puntos en los que las polilíneas se cruzan con el modelo. En este caso, se introducirá una 'n' que indicará que no se requieren dichos cortes.


**Para realizar esta acción se deberá desactivar la capa de los sectores para que estos no se vean modificados por la acción del levantamiento.**

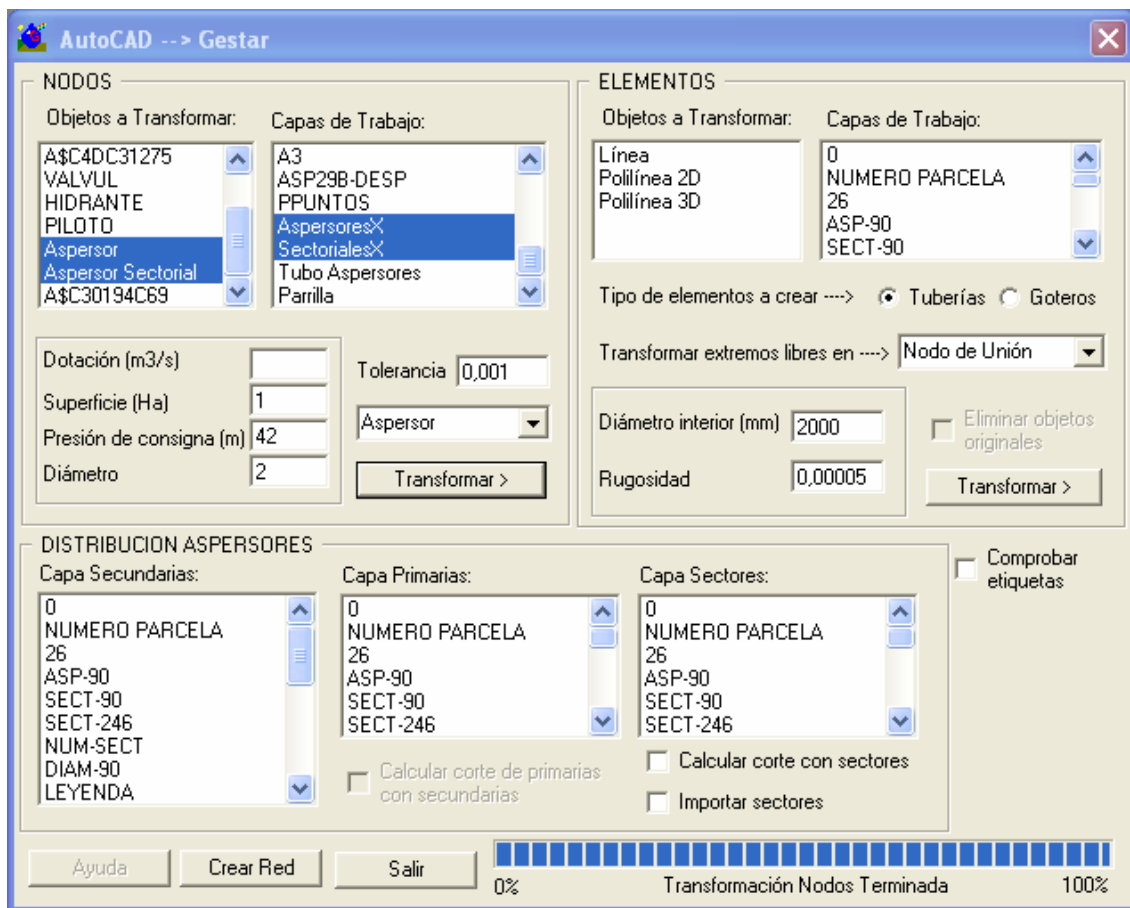


**FIGURA 14. Opciones de la herramienta denominada como elevación de entidades en AutoCad.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

#### 4.2.4 IMPORTACIÓN DE LA RED A GESTAR.

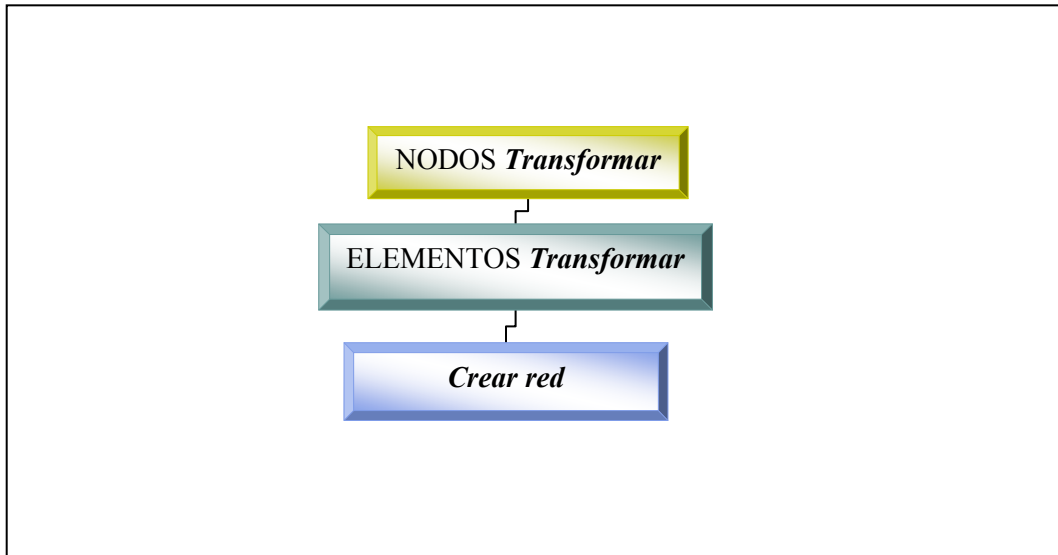
Tras estos procesos, se dispone de la red completa con el levantamiento topográfico completo en el entorno AutoCad, la cual necesitará ser importada a la aplicación Gestar encargada del tratamiento de la información hidráulica. Así, mediante el icono de la barra de herramientas , o bien haciendo clic el menú *Archivo/ Importar/ Desde AutoCad*, se accederá a la ventana de conexión con AutoCad, FIGURA 15.



**FIGURA 15. Ventana de conexión AutoCad → GESTAR Importación.**

El proceso de importación a Gestar será realizado a través de diversas transformaciones según la FIGURA 16.





**FIGURA 16. Proceso del uso de la ventana de importación desde AutoCad.**

### ***Transformar nodos***

En el cuadrante superior izquierdo de la FIGURA 15, se llevará a cabo la transformación de los nodos como se detalla a continuación:

- ◆ En la lista de *objetos a transformar* se seleccionarán los aspersores y los aspersores sectoriales haciendo clic sobre sus nombres con el ratón.
- ◆ En la lista *capas de trabajo*, se seleccionarán las capas de trabajo escogidas para dibujar los aspersores y los aspersores sectoriales en el entorno AutoCad. Estas capas son coincidentes con las introducidas en los campos *Nombres Capas Aspersores* y *Nombres Capas Aspersores Sectoriales* de la FIGURA 6, es decir, *AspersoresX* y *SectorialesX*.
- ◆ Se recogen en la FIGURA 15 una serie de variables que podrán ser definidas por el usuario y que GESTAR establece a los *Aspersores* creados. Estos datos de partida son los siguientes: *dotación* (m<sup>3</sup>/s), *superficie* (ha), *presión de consigna* (m.c.a.) y *diámetro del hidrante* (pulgadas). Para el ejemplo tratado no será necesario aplicar *dotación* alguna, ya que será en la ventana de aspersores donde se tendrá que

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

introducir. Sin embargo, si que se introducirá una *superficie* de 1 ha, una *presión de consigna* de 42 m.c.a, una diámetro del hidrante de 2” y una *tolerancia* de 0,01.

- ◆ Finalmente, se presionará el botón transformar, lo que trasladará al usuario a la ventana de configuración de aspersores (FIGURA 17).

P (Atm)	Q (l/seg)	Alcance (m)	Pluv-C
2,0	0,35	10,9	21
2,5	0,397	11,4	22
3,0	0,438	12,1	22

**FIGURA 17. Ventana de configuración de aspersores**

En la ventana denominada *Configuración de aspersores*, (FIGURA 17) serán escogidos y configurados los aspersores a introducir en la red de riego. Se reconocen dos cuadrantes: el superior en el cual se configura el emisor y el inferior en el cual se configura la caña porta-aspersor.

#### Configuración del emisor

- ◆ En la parte superior izquierda de la ventana de la FIGURA 17 se introduce la elevación del emisor, que es la altura del punto de emisión sobre el punto de inserción, en este caso 1,5.
- ◆ En la parte superior derecha, se elige el aspersor según los disponibles en la base de datos de Gestar. Si ninguno satisficiese las necesidades del usuario es posible la introducción de los datos manualmente. Para este ejemplo, se ha escogido el *fabricante* Rain\_Bird con el *tipo de emisor* T 40 RC – 6. Esta acción rellena las características del aspersor, definidas debajo de la tabla a excepción del alcance y el caudal nominal. Se desconoce la presión que finalmente llegará al emisor, de este modo, el usuario deberá ser coherente con el alcance que requiera y el tipo de aspersor. En el ejemplo, rellenaremos un alcance de 12,7 metros y un caudal nominal de 0,5 m<sup>3</sup>/s.

#### Configuración de la caña porta-aspersor

- ◆ En la parte inferior, se escogerá el tipo de tubería que se necesite para la caña porta-aspersor según la base de datos. Así como la introducción de su diámetro interior (20 milímetros), su longitud (1,5 metros) y su rugosidad (0,000007).

#### ***Transformar elementos***

Las conducciones son identificadas, en función de la capa de dibujo en AutoCad, como ramal porta-aspersor, tubería secundaria o primaria automáticamente, para su posterior tratamiento diferenciado. De este modo, será necesario respetar la secuencia de la FIGURA 12 durante el proceso de importación para que éste sea finalizado con éxito, como se ejemplifica a continuación:

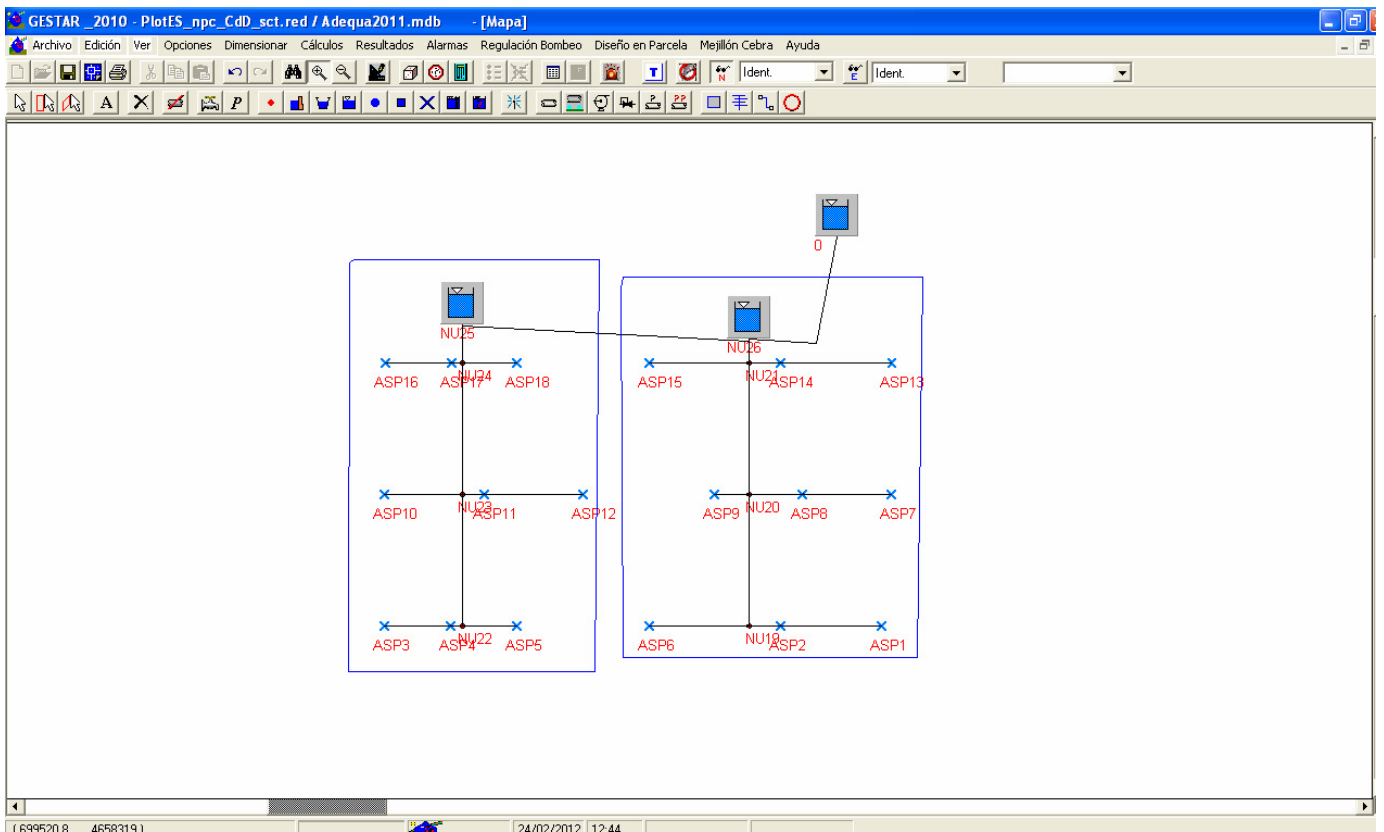
- ◆ En la lista *Objetos a transformar*, se marcarán los tipos de objetos que se transforman en AutoCad, seleccionándolos con un clic de ratón sobre sus nombres en la lista. Es decir, línea, poli-línea 2D y poli-línea 3D.

- ◆ En la lista *Capas de trabajo* se seleccionarán las capas de trabajo a transformar de las diferentes poli-líneas que requieren importación. De este modo, la lista que transforma las tuberías terciarias es la primera lista y se selecciona su capa de trabajo, *Tubo Aspersores*; la lista que transforma las tuberías secundarias es la segunda lista y se selecciona su capa de trabajo, *Tubería Secundaria* y la lista que transforma las tuberías primarias es la tercera lista y se selecciona su capa de trabajo, *General*. En caso, de dibujar en el entorno AutoCad el contorno de los sectores, se podrían importar seleccionando su capa de trabajo en la última y cuarta lista, este paso es razonablemente útil ya que ahorra una labor posterior de selección de sectores.
- ◆ En caso de haber decidido efectuar la importación de los sectores, además de su selección en la capa correspondiente de la opción *Capas de trabajo*, se deberá seleccionar la opción *Importar sectores*.

Por este motivo, conocer las capas de trabajo cuando se trabaja en el entorno AutoCad, es un factor clave en el proceso de la importación. Finalmente se presiona *Transformar*.

La aplicación Gestar permite transformar más nodos y elementos repitiendo los pasos anteriores con otras capas que se quisieran importar. Sin embargo, si el proceso se considera finalizado habrá que pulsar el botón *Crear Red*. Esta se guardará, aunque no se abrirá automáticamente. Para abrir esta red y continuar el trabajo, habrá que ir al menú *Archivo* de la barra de herramientas y *Abrir Red* desde la localización y con el nombre guardados anteriormente. El archivo ejemplo queda tal y como aparece en la FIGURA 18.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

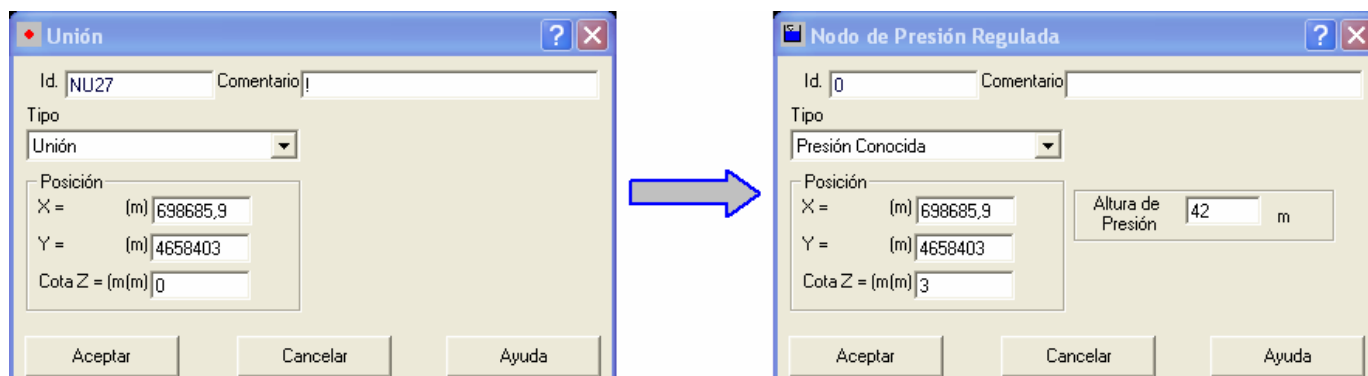


**FIGURA 18. Red de riego importada**

#### 4.2.5 DIMENSIONADO DE LOS SECTORES

En primer lugar para el dimensionado de los sectores se deberá adaptar la red de riego a una situación real. De este modo, la cabecera es modelizada como un *nodo de presión conocida*. Para ello, se pincha con doble clic en el nodo cabecera, en este caso, NU27 y aparece la ventana que corresponde con los datos de dicho nodo. Se deberá cambiar el nodo, convirtiéndolo en un nodo de presión conocida tal y como se observa en la FIGURA 19.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

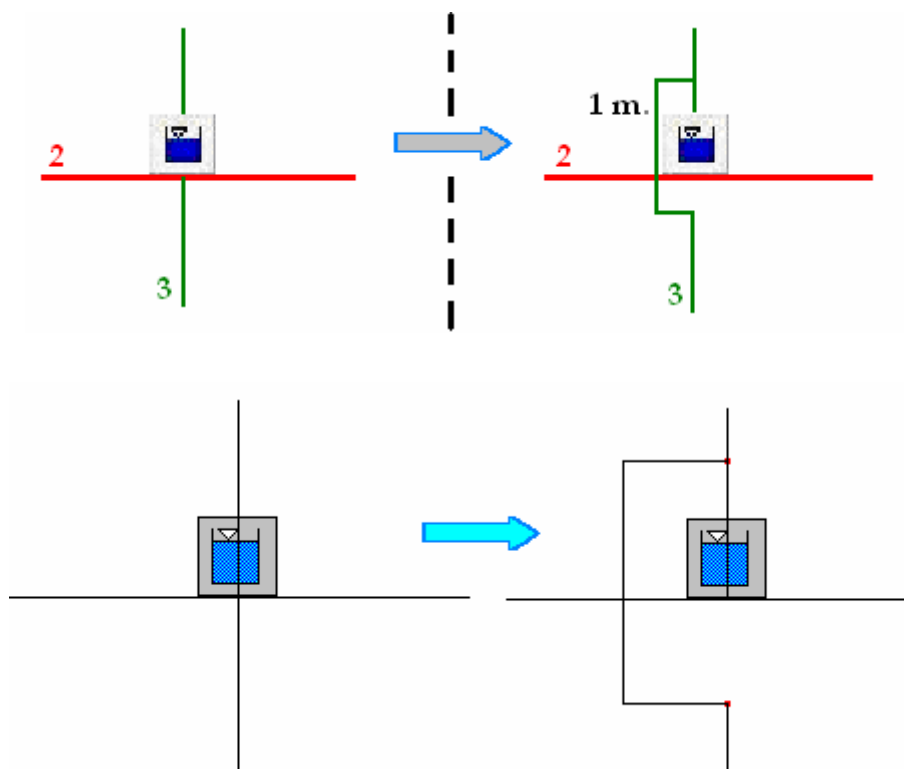


**FIGURA 19. Ventana de los nodos de unión y de los nodos de presión conocida**




En el menú *Tipo* de esta ventana, se presionará la flecha del menú desplegable, que abrirá una serie de opciones, se escogerá *Presión Conocida*. Se introducirá una altura de presión y una cota según los datos de la topología de la red. En este caso, existe una *Altura de Presión* de 42 metros y una *Cota Z* de 3 metros. Asimismo, aunque no sea estrictamente necesario, ha sido modificado el *Identificador (Id)*, cuyo nombre por defecto era NU27, introduciéndole la denominación 0. Conviene conocer el identificador del nodo de cabecera puesto que durante el dimensionado del caudal de diseño será necesaria su introducción.

El valor de presión regulada es la estimada como valor de entrada en el sector. De la misma manera que se ha actuado en el nodo cabecera, se deberán modelizar las entradas a los sectores introduciendo *odos de presión conocida* para su posterior cálculo.

Una vez introducidos los *odos de presión conocida* en las cabeceras de sector, se deberá atender al diseño de los mismos, ya que considerando la configuración de la red, un *nodo de presión conocida* no pueden bifurcarse directamente dos tuberías terciarias. Para solucionar este inconveniente de trazado en Gestar, se diseñará un collarín en los casos que suceda este impedimento (FIGURA 20). Al tramo de tubería que corresponde con dicho collarín se le asignará una longitud de 1 metro.



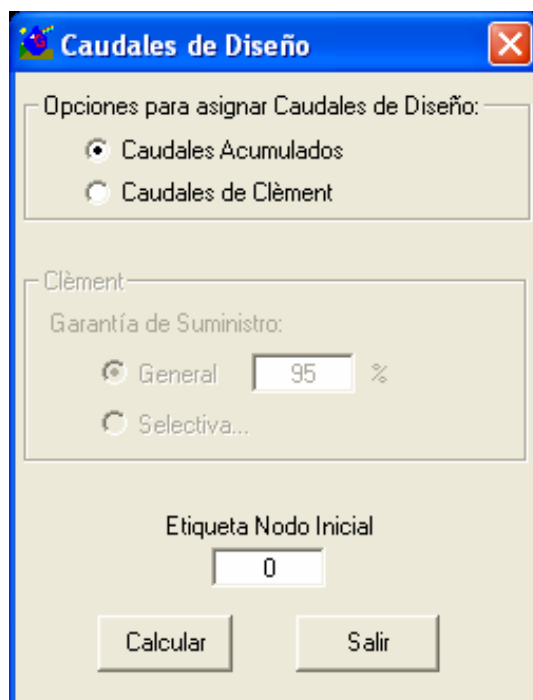
**FIGURA 20. Introducción del collarín.**

Más concretamente, el delineado del collarín en Gestar será efectuado utilizando la herramienta denominada como *partir tubería* , que permitirá escoger dos puntos por los cuales partir la tubería secundaria, generando nodos de unión. La herramienta *elemento tubería*  permitirá delinear el trazado del collarín y en la ventana de características del elemento tubería será necesario seleccionar el tipo de tubería secundaria y una longitud de 1 metro. Finalmente, se eliminará el tramo desde el nodo de presión conocida hasta uno de los nodos de unión generados al partir la tubería utilizando la herramienta *eliminar nodo/elemento* .

En el caso expuesto, no existe ninguna bifurcación, por ello, se procederá directamente al dimensionado de los caudales de diseño. Esta acción se realiza en la


Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

opción *Caudales de diseño* del menú *Dimensionar* de la barra de herramientas, lo que conlleva a la aparición de la ventana *Caudales de diseño* (FIGURA 21).



**FIGURA 21. Ventana de los nodos de unión y de los nodos de presión conocida**


Se seleccionará la opción *Caudales Acumulados*, que calcula los Caudales de Diseño que circularán por cada una de las *Tuberías* bajo la hipótesis de que se encuentran todos los *Nodos* de *Consumo Conocido* en funcionamiento en un mismo instante. Se introducirá el identificador del nodo de cabecera como *Etiqueta Nodo Inicial* y se presionará el botón *Calcular*. Esta acción dará paso a la *Tabla de Caudales de diseño* (FIGURA 22) que permitirá *Guardar*, *Imprimir* y *Editar la Tabla*. Será necesario pulsar *Aplicar a la red* para continuar con el procedimiento.

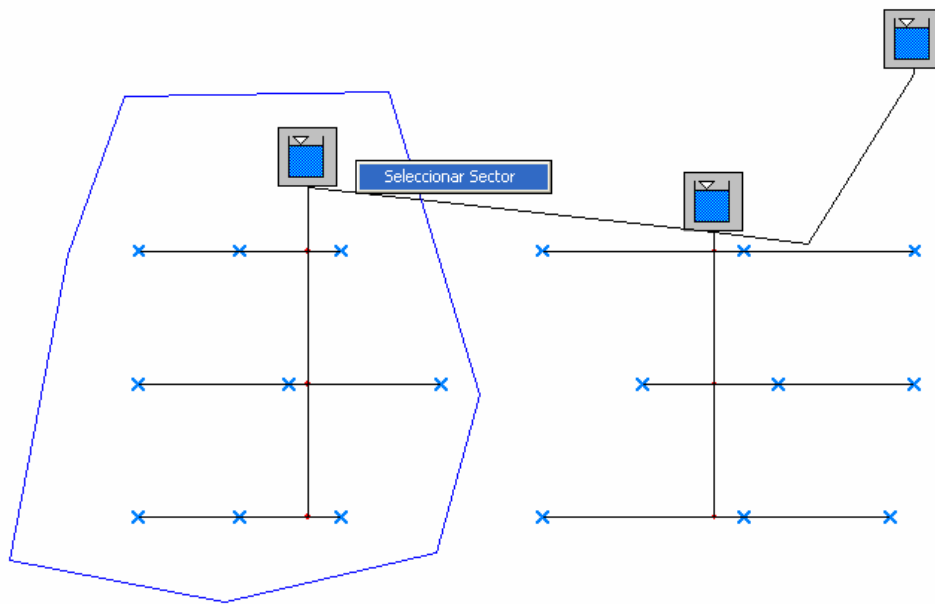
Existe la probabilidad de que surjan mensajes indicativos de que los sentidos de circulación del agua no son correctos. Para solventar este impedimento se deberá presionar el botón *Calcular*  de la barra de herramientas y posteriormente se seleccionará la opción *Sentido de Circulación* del menú *Diseño en Parcela* de la barra de herramientas, y posteriormente intentar realizar el proceso de nuevo.




Tubería	Q Acumula m3/s	Q Línea m3/s	Hid AA	Área AA Ha
TU9	0,0	0,0	1	0,0
TU46	0,0	0,0	2	0,0
TU11	0,0	0,0	1	0,0
TU12	0,0	0,0	1	0,0
TU15	0,0	0,0	9	0,0
TU16	0,0	0,0	9	0,0
TU17	0,0	0,0	9	0,0
TU18	0,0001	0,0001	18	0,0
TU37	0,0	0,0	2	0,0
TU38	0,0	0,0	3	0,0
TU39	0,0	0,0	2	0,0
TU40	0,0	0,0	6	0,0
TU41	0,0	0,0	2	0,0
TU2	0,0	0,0	1	0,0
TU43	0,0	0,0	3	0,0
TU6	0,0	0,0	1	0,0

**FIGURA 22. Tabla de caudales de diseño.**

Los sectores pueden haber sido importados anteriormente, en caso contrario, se procederá al dimensionado de los sectores, en primera instancia, procediendo a la asignación de sectores mediante su icono correspondiente , o mediante la opción *Asignar sector* situada en el menú *diseño en parcela* de la barra de herramientas. Esta herramienta se utilizará definiendo un polígono alrededor de cada sector, pulsando sobre el mapa para definir los vértices de dicho polígono deseado. Para cerrar el polígono, dando por finalizada la asignación del sector, se deberá hacer una pulsación en el botón secundario del ratón como se visualiza en la FIGURA 23.



**FIGURA 23. Asignación de los sectores**

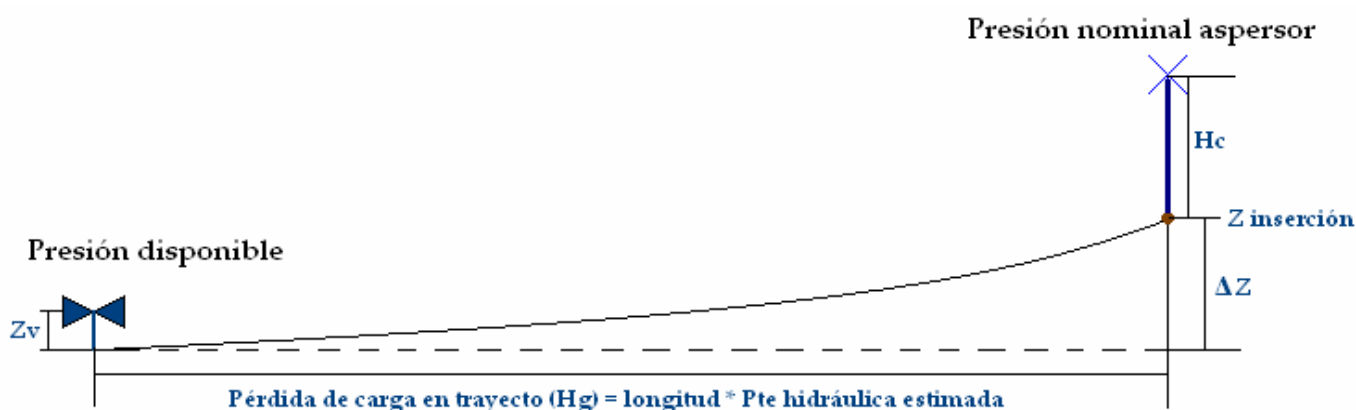
Una vez asignado el sector se deberá seleccionar haciendo clic dentro del polígono asignado con el botón secundario del ratón. Esta acción desplegará un menú contextual en el cual se podrá seleccionar el sector, que permitirá su dimensionado individual mediante la opción *dimensionar sector* del menú de la barra de herramientas *diseño en parcela*, o bien presionando el icono . Esta labor, abrirá una ventana para el dimensionado de sector que viene representada en la FIGURA 24.

**FIGURA 24. Ventana de dimensionado de sector.**

El dimensionado de los sectores tiene en cuenta todos estos criterios de diseño, velocidad máxima y mínima, el caudal nominal de los aspersores, su presión de trabajo, los materiales involucrados, así como la presión de entrada en el módulo. De este modo, esta ventana se divide en cuatro partes según estos parámetros: *Sector*, *Criterios*, *Ramal porta-aspersor* y *tuberías secundarias*, como se detalla a continuación:

- La parte relacionada con el sector, contiene la **presión de la válvula**, que es el parámetro fundamental en el dimensionado e informa de la presión de partida de la válvula a la entrada del sector. Este dato se puede introducir de manera manual en la casilla *Presión válvula* ó realizando una estimación con los parámetros físicos que vienen posteriormente en la ventana. Así tendrá en cuenta parámetros ya definidos previamente como son: *el desnivel máximo*, *la cota de la válvula* y *la pérdida de carga máxima* y otros que se pueden introducir según las características de cada red de riego. En este caso se implanta una red con una *presión del aspersor* de 35 mca, una

*altura de caña* de 2 metros y *una pendiente hidráulica estimada* de 0,035 m/m (Gestar proporciona estos datos por defecto). Con el objetivo de que el programa realice este cálculo estimado la opción denominada como ***Presión entrada calculada*** será marcada realizando un clic con el ratón sobre la casilla de verificación y posteriormente se pulsará el botón *Aplicar* siendo estimada, de esta manera, la presión de entrada. En la FIGURA 25 se puede observar una representación ilustrativa de los factores del cálculo.



**FIGURA 25. Ilustración de los componentes de la fórmula de dimensionado de sector.**

- La parte concerniente a los critérios indica otros factores determinantes en el dimensionado de los sectores como: el ***Incremento presión estática para timbraje*** que, para este ejemplo, se adoptará el valor por defecto 0 mca; la ***Velocidad máxima*** que es la velocidad máxima permisible con el fin de que no existan problemas de erosión, cavitación y transitorios en las conducciones que, en este caso, será en 2,5 m/s y la ***Velocidad mínima*** que indica una limitación mínima de velocidad del agua al ser transportada por las conducciones a dimensionar. Se precisará una velocidad mínima, por defecto de 0,5 m/s.
- La parte relativa a las tuberías terciarias indica una serie de características pertenecientes al ramal porta-aspersor que conformarán la red de riego. En este caso, la aplicación permite al

usuario la elección de un material y proporciona la opción de **forzar material** seleccionado si desea que el material elegido forme parte de la red de riego. El programa ofrece una serie de materiales con sus características que será la opción elegida para este caso.

- La parte referente a las tuberías secundarias indica el material que será definido para dicho conjunto de tuberías con el fin de la obtención del dimensionado óptimo del sector. Para el ejemplo que se trata, se escogerá PVC en la lista de *Materiales Disponibles* y se pulsará la casilla donde aparece una flecha (>) para introducirlo en la lista de materiales a utilizar, dejando su configuración por defecto.
- Se marcará la última opción: **Caudal Entrada Sector Simulado después del Dimensionado** para que cuando se termine de dimensionar el sector, el nodo de presión regulada que representa la entrada en el sector, se transforme en un nodo de demanda conocida, para dimensionar la tubería principal, y se procederá a presionar el botón *Dimensionar*.



#### 4.2.6 DIMENSIONADO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL

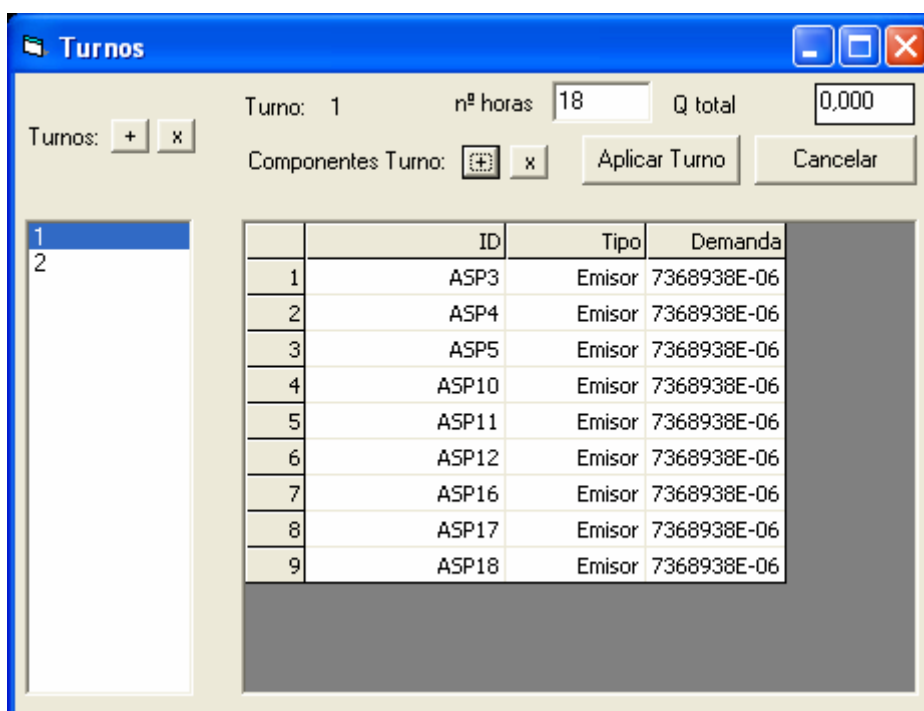
El dimensionado de la tubería principal, se resuelve considerando el funcionamiento a turnos de los sectores de riego dentro de la parcela.

Gestar incorpora herramientas de definición de turnos: especificación del número de turno, duración y definición de aspersores o hidrantes pertenecientes a turnos, planificación y simulación de los mismos... Estas herramientas son aplicables tanto a los turnos de riego dentro de la parcela, como a redes de distribución general con funcionamiento a turnos.


De este modo, la correcta resolución del dimensionado se efectuará estableciendo turnos a los sectores que permiten un dimensionado óptimo y económico de las instalaciones. Esta operación se ejecutará seleccionando con el botón derecho del

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

ratón sobre cada uno de los sectores y presionando el icono , disponible en la barra de herramientas, que dará paso a la ventana de la FIGURA 26, que permitirá al usuario la aplicación de los correspondientes turnos determinados por el usuario. Una vez seleccionado el sector y pulsado el botón  y situados en dicha ventana, se deberá seleccionar uno de los turnos haciendo un clic de ratón sobre el número que lo represente y posteriormente se presionará el símbolo “+” en la opción *Componentes Turno*. Con esta acción se habrán añadido todos los componentes que intervienen en el sector seleccionado. Finalmente, se escogerán las horas en casos de simulaciones con evolución temporal y para simulaciones con patrones y se presionará el botón *Aplicar turno*.

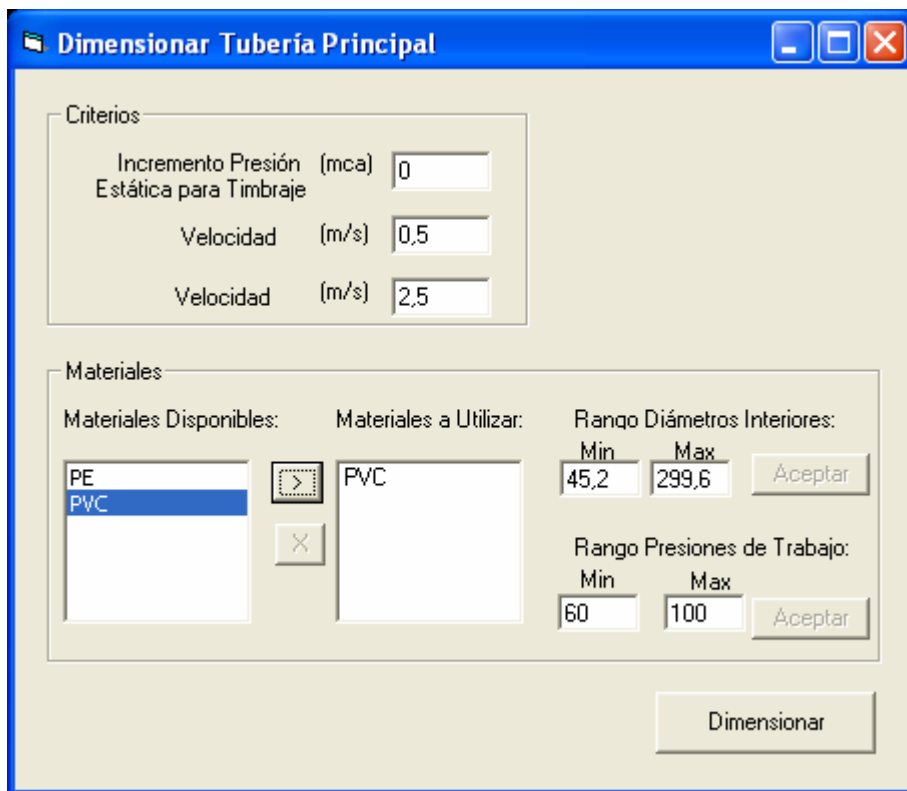


**FIGURA 26. Ventana de asignación de turnos.**

La conducción general, se optimiza partiendo de la presión a la salida del hidrante y garantizando la presión de entrada en los sectores de riego utilizada en el dimensionado de estos para un caudal igual a la suma de los caudales emitidos dependientes de la presión de los aspersores instalados en cada sector (obtenido por simulación del escenario). Para su dimensionado se hará clic en el icono de la barra de herramientas  o en la opción *Dimensionar tubería principal* que viene en el menú

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

*diseño en parcela*, que dará acceso a la ventana de dimensionado de la tubería principal (FIGURA 27), en la cual el usuario escogerá criterios y materiales para proceder al dimensionado.




**FIGURA 27. Ventana de dimensionado de tubería principal.**

- Los *criterios* del dimensionado de la tubería principal son los mismos que para el dimensionado de los sectores expuestos anteriormente: el *Incremento presión estática para timbraje* será del valor por defecto 0 mca; la *Velocidad máxima* será en 2,5 m/s y la *Velocidad mínima* será de 0,5 m/s.
- El comportamiento del apartado de los *materiales* que se deberán asignar al dimensionado de la tubería principal es similar al expuesto anteriormente para las tuberías secundarias, se escogerá PVC en la lista de *Materiales Disponibles* y se pulsará la casilla donde aparece una flecha (>) para introducirlo en la lista de materiales a utilizar, dejando su configuración por defecto. Tras efectuar la selección de

los materiales y sus características que definirán la red de riego se deberá presionar el botón *Dimensionar*.

Al finalizar el proceso de dimensionado de los sectores, la cabecera modelizada como un Nodo de Presión Regulada, se transforma en un Nodo de Demanda Conocida, en el que la presión de consigna es la presión de entrada del sector y la dotación es el caudal acumulado emitido dependiente de la presión de los aspersores instalados en el sector.


Gestar identifica el sector de riego crítico (el nodo cabecera de menor pendiente hidráulica), dimensionando la tubería principal para servir como mínimo, la presión de entrada tenida en cuenta en el proceso anterior. Y considerando el trayecto a este sector, como prioritario. En segundo orden, se dimensionan el resto de conducciones teniendo en cuenta las tuberías del trayecto en común que conduce al sector crítico, permitiendo así, ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión de los módulos no críticos.

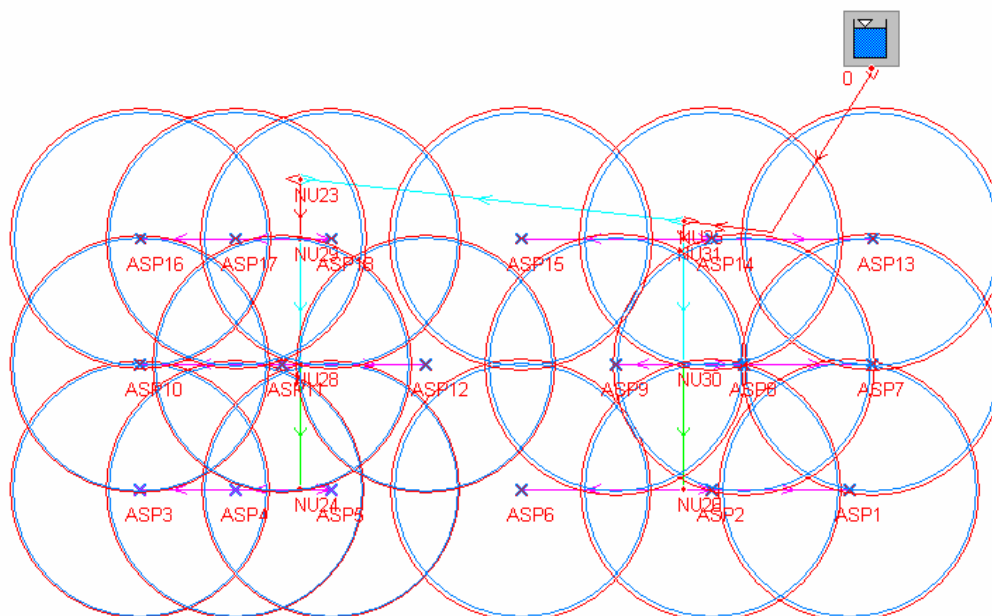
Con las conducciones primarias definidas, se transforman automáticamente los nodos de consumo conocido en válvulas hidráulicas en el momento del dimensionado principal. Estas válvulas se pueden definir pulsando sobre su icono, . Finalmente se procede a simular la presión que finalmente llega a los módulos de riego, y así optimizar recursivamente, si en alguno de ellos disponemos de más energía que la considerada en el primer dimensionado del sector.

#### 4.2.7 ANÁLISIS HIDRÁULICO Y OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

Una vez configurada la parcela al completo; características de los aspersores, materiales, diámetros, elementos reguladores; es posible la simulación completa de cada uno de los turnos de riego dentro de la parcela, analizando así su funcionamiento hidráulico, detectando disfunciones y posibles mejoras en el diseño.




Con el objetivo de conocer el *alcance de los aspersores*, se presionará el icono  de la barra de herramientas que muestra el *alcance nominal de los aspersores* que es la trayectoria teórica del agua desde los aspersores, creando un círculo de color azul alrededor de cada aspersor que indica lo que alcanza el agua en caso de que los aspersores recibiesen exactamente la presión requerida; y asimismo dibuja la trayectoria real o *alcance calculado de los aspersores*, formando así, un círculo de color rojo que expresa el alcance real del agua con los datos introducidos en el ejemplo. Será posible la activación y desactivación de los círculos de alcance señalando en el menú *Diseño en parcela* de la barra de herramientas las opciones *mostrar alcance nominal* y *mostrar alcance calculado*. Esta herramienta permite visualizar el solapamiento de riego y así analizar la calidad o las deficiencias del mismo (FIGURA 28).

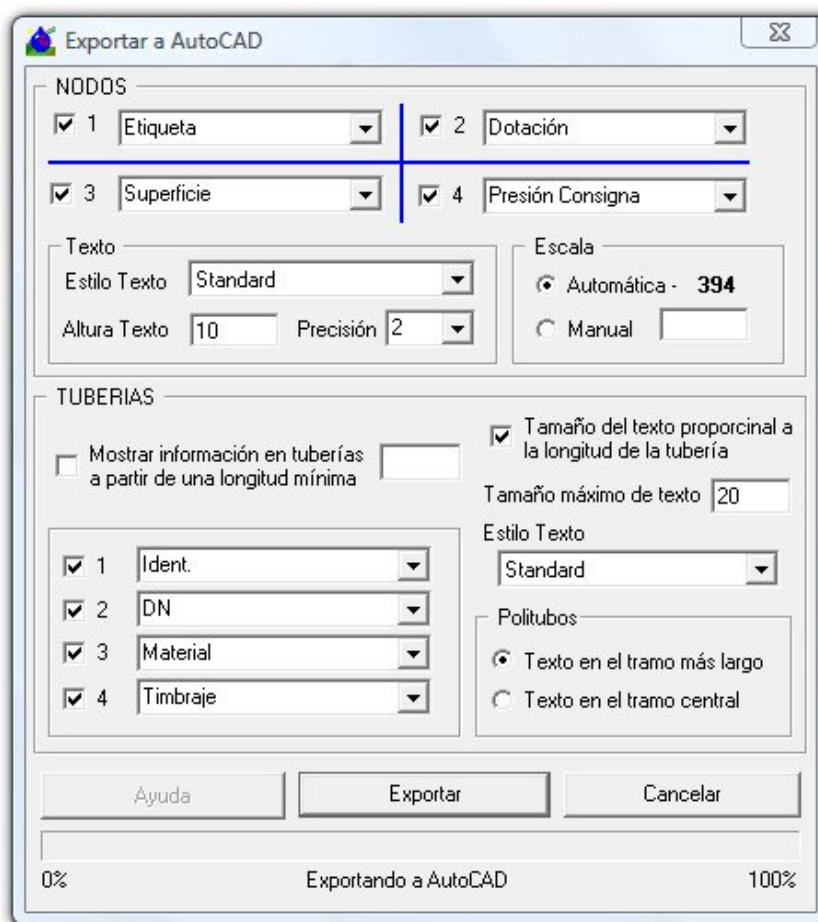


**FIGURA 28. Alcance de los aspersores en una red de riego por aspersión.**

#### 4.2.8 EXPORTACIÓN DE RESULTADOS A AUTOCAD.

Se exportará a AutoCad a través de la opción *Exportar* → *AutoCad* del menú *Archivo* de la barra de herramientas. Gestar, integra herramientas de exportación de los modelos de la parcela a Autocad, permitiendo así generar planos detallados del diseño en este formato.

Cuando desde el programa GESTAR se encuentre una red abierta, mediante el icono , se accede a un nuevo cuadro de diálogo (FIGURA 29). Esta herramienta permite generar el dibujo de la red en AutoCad de manera automática con la información que se considere oportuna acerca de los Nodos y Tuberías que la conforman. Será conveniente previo a la exportación, abrir el programa de AutoCad con un dibujo en blanco, donde GESTAR verterá la topología de la red con las variables requeridas por el usuario.



**FIGURA 29. Exportar red desde AutoCad**

Además, se podrán modificar los siguientes parámetros referentes al aspecto:

- **Estilo de Texto.** El usuario puede elegir el estilo que se asociará a los objetos de texto de entre los definidos en el dibujo de AutoCad abierto.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

- **Altura de Texto.** Valor que habitualmente deberá ajustarse.
- **Precisión.** Permite escoger la precisión numérica con la que solicitan aparezcan los datos (pudiendo elegir entre 0 y 4 decimales).
- **Escala.** En función del tamaño de la red habrá que aplicar un factor de escala a la hora de dibujar los iconos de los Nodos. Este factor de escala aparece automáticamente en la ventana de exportación (FIGURA 29). No obstante, el usuario puede establecer de forma manual el valor de escala que considere conveniente.

Desde GESTAR se implementan opciones para mejorar la visualización de la información:

- **Mostrar información en tuberías a partir de una longitud mínima.** Activando esta opción, aparecerá la información asociada a Tuberías con una longitud mayor a la definida en la casilla adjunta.
- **Tamaño del texto proporcional a la longitud de la tubería.** Al seleccionar esta opción, el tamaño del texto variará en función de la longitud de la tubería hasta un Tamaño máximo de texto fijado en la casilla correspondiente.
- **Politubos.** En el caso de que existan tuberías formadas por varios tramos con distintas orientaciones, el usuario podrá elegir entre presentar el texto asociado centrado y alineado respecto al tramo más largo del politubo, o bien respecto al tramo central del politubo.
- **Estilo de Texto.** El usuario puede elegir el Estilo que se asociará a los objetos de texto de entre los definidos en el dibujo de AutoCad abierto.

La documentación de esta guía de trabajo pretende mostrar como se efectúa una transformación de una cobertura total de riego por aspersión con un ejemplo básico, con

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

el fin de que el lector y el usuario de GESTAR sepan cual es la metodología seguida para transformar redes de este tipo y puedan conocer la herramienta y llevar a cabo casos con complejidades mayores que seguirán las mismas pautas de trabajo.

## **5 VALIDACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE COBERTURAS TOTALES EN RIEGO POR ASPERSIÓN.**

En este capítulo se muestra el tratamiento de cinco casos reales de redes de riego transformándolos en parcelas con riego por aspersión. Con estos ejemplos, se valida la herramienta implementada y se permite evaluar el resultado del proceso mediante una comparativa entre los resultados que proporciona el método de cálculo de estima utilizado por las empresas de infraestructuras de regadío, y el nuevo método elaborado por el equipo GESTAR, a través del actual proyecto final de carrera.

Con el trabajo del equipo GESTAR I+D+i, ha sido posible la incorporación de una serie de archivos de casos reales de transformaciones de regadío llevadas a cabo por diferentes empresas de infraestructuras de regadío para su tratamiento y transformación con la herramienta GESTAR. Estas empresas dedicadas, entre otras actividades, a la transformación de regadíos han contribuido aportando archivos en formato AutoCad, en los cuales se puede observar la planta de las parcelas y su transformación a diseño en parcela. Asimismo, han incluido datos y resultados de cálculo en formato Excel y en el programa de presupuestos, PRESTO, con lo cual, se tienen informes de los cálculos, presupuestos y procesamiento de datos de dichos proyectos.

Las actuaciones han sido diversas dependiendo de los datos. Así, en el caso de algunas parcelas que no disponen de tablas Excel con los cálculos, han sido de gran utilidad en los numerosos procedimientos de prueba y documentación de errores para la creación y perfeccionamiento de la herramienta. Por otra parte, gran parte de los archivos con datos de cálculo y presupuestos se han utilizado para la transformación en regadío con el programa GESTAR y su posterior análisis.

Concretamente, con el fin de validar y comparar la herramienta creada, se han ejecutado cinco heterogéneos casos de transformación de regadíos con redes de riego a

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

presión con cobertura total en parcela, que se presentan con cinco denominaciones diferentes eventuales, en concreto: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3, Parcela 4, Parcela 5.

Dos de estas parcelas (la Parcela 3 y la Parcela 4) han sido proporcionadas con puntos de nivel que indican la topografía de la parcela. A diferencia de la metodología simple que utilizan las empresas de regadío que trata el desnivel aproximado como un dato más de pérdida de carga, GESTAR permite la importación de cotas desde AutoCad y por tanto, no sólo se han transformado dichas parcelas y se han comparado, sino que se han transformado a riego con una altimetría real. Esto permite comprobar si las presiones que llegan a los hidrantes de las entradas de sector y a los aspersores coinciden con las requeridas según los cálculos de estimación.

Así, no solo ha sido posible el desarrollo de la herramienta, sino la comparativa entre: redes de riego diseñadas por las empresas de regadío, mediante las fórmulas básicas de pérdidas de carga en hojas de cálculo, con un procedimiento al cual se le va a llamar a partir de ahora **método de estima ó dimensionado de estima**; y redes de riego diseñadas con GESTAR, cuyo método va a ser denominado de ahora en adelante como **método GESTAR ó dimensionando GESTAR**. Con esto se pretende dar a conocer la eficacia del algoritmo de cálculo de la aplicación.

## 5.1 PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN

### 5.1.1 DATOS DE PARTIDA, CRITERIOS DE CÁLCULO Y RESULTADOS DEL MÉTODO DE ESTIMA.

En primer lugar, se ha efectuado un tratamiento de la información suministrada por las empresas de transformación de regadíos. Este tratamiento ha requerido de una experiencia tutelada por los técnicos que ejecutan estos proyectos para la comprensión de la información recopilada y del método y criterio de cálculo que utilizan para la resolución de los modelos.

La aportación de información en formato Excel es muy amplia y permite conocer los datos relacionados más destacados: lista de tuberías con precios, longitudes, presiones, diámetros, pérdidas de carga; listas de hidrantes; listas de accesorios y valvulería; cálculos de pérdidas de carga según sectores. Los datos suministrados con el programa de dibujo técnico AutoCad permiten conocer la topografía de la parcela y el resultado obtenido con el trazado de la red, visualizando de este modo, todos los elementos y nodos que se ejecutan. Los archivos proporcionados con la aplicación informática PRESTO sirven para conocer el presupuesto final de la parcela. Todos estos archivos de datos han sido recopilados y sintetizados en un documento a modo de anexo, (ANEXO I) en el cual se presentan de manera ordenada, con los títulos de sus respectivas parcelas y sectores.

Como se ha mencionado anteriormente, se ha requerido de la formación del autor de este documento en la metodología básica para el cálculo con herramientas ofimáticas. Este método de estimación, dispone del desnivel de la parcela, dado de manera simple como pérdidas de carga, en metros, que se producen en los distintos sectores nivelados de la parcela. Además, se tienen los datos del hidrante que suministra la red de riego a presión a dicha parcela, entre los que se encuentran el caudal total del hidrante y la presión del mismo. Simultáneamente, con la práctica y rutina de los técnicos expertos y de los trabajadores del campo se conocen los marcos de riego que se desean disponer, así como de los tipos de aspersores y sus características. Con estos datos teóricos de suministro, se efectúa un cálculo aproximado del número de aspersores que pueden regar la parcela al mismo tiempo, es decir, el número máximo de aspersores que puede tener un mismo sector de riego. Posteriormente, se sectoriza la parcela y se delinea el trazado de tuberías primarias y secundarias por la distribución de aspersores anteriormente situada. La experiencia toma un papel fundamental para conocer el número de aspersores que puede soportar una tubería terciaria de los diámetros usualmente utilizados comercialmente. Una vez trazada la red y delimitados los sectores, se procede al tratamiento de la información, con el fin de conocer la viabilidad de la red, por medio de herramientas ofimáticas. El cálculo consiste en desglosar y sumar las pérdidas de carga acumuladas en cada tramo y punto de la red, desde los aspersores más desfavorables hasta el hidrante principal de alimentación, incluido el desnivel; con el objetivo de aseverar el suministro de suficiente presión a todos los aspersores. El cálculo de las pérdidas de carga es realizado con el uso de la

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

ecuación de Darcy-Weisbach. Este se efectúa introduciendo la fórmula en la herramienta ofimática y luego se prueba tanteando los diámetros comerciales y sus caudales teóricos, teniendo en consideración dos limitaciones generalizadas: no superar una velocidad máxima de 2 m/s y que dos sectores de riego que puedan actuar al mismo tiempo no pueden superar el caudal del hidrante principal de alimentación.

Un aspecto fundamental en el dimensionado y cálculo de las tuberías es el precio. Según el método de estima, este no se tiene en cuenta hasta que no se ha finalizado el dimensionado, momento a partir del cual se efectúan los ajustes ahorrativos necesarios. Los precios de las unidades de obra se estipulan con negociaciones entre las empresas técnicas y las empresas de materiales. En la gran mayoría de los casos, las sociedades consiguen pactos o convenios según sus necesidades, cuyos compromisos son cambiantes en el tiempo. Si bien se ha dispuesto de los presupuestos reales de las parcelas en formato PRESTO, que han servido para conformar una idea presupuestaria, estos son antiguos, están dispuestos con accesorios no útiles en el dimensionado, son variables según parcelas y no vienen detallados en todos los diámetros para todos los materiales. Por tanto, la consiguiente comparativa presupuestaria se ha deducido según la tabla de precios comerciales de la empresa suministradora, Adequa, en el año 2011, y sin la aplicación de precios según convenios o conciertos entre compañías.

Efectivamente, los precios comerciales se han aplicado en los casos reales de transformación de parcelas, tanto en el cálculo presupuestario de las unidades de obra de las tuberías en formato Excel del método de estima, como en las bases de datos que dispone el programa GESTAR para aplicar diversas modalidades de precios según la conveniencia del usuario. La aplicación de estos precios va a resultar en un mayor precio total de las unidades de obra que conforman las tuberías, pero al ser aplicados con ambas metodologías por igual, el resultado final de la comparativa se ve inalterado.

Un resumen de la lista de precios usados en el cómputo global para el cálculo diferenciado entre los dos métodos, proveniente de la lista de precios comerciales de la empresa de suministro Adequa en el año 2011 (ANEXO I), viene en la TABLA 1 que se muestra a continuación:



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>TIPO Y MATERIAL</b>	<b>PRECIO (€/metro)</b>
<b>TUBERÍAS PEAD PN-8 DN-32</b>	0,44
<b>TUBERÍAS PVC-6</b>	
50	1,33
63	1,34
75	2,62
90	2,71
110	3,12
125	3,61
140	4,59
160	5,75
200	10,40
250	12,30
315	18,07
<b>TUBERÍAS PVC-10</b>	
50	2,15
63	3,29
75	4,70
90	6,57
110	7,58
125	9,75
140	12,30
160	16,10
200	24,85
250	38,66
315	61,37

**TABLA 1. Lista con los precios comerciales de la empresa Adequa, en el año 2011.**

## 5.1.2 OBTENCIÓN DEL DIMENSIONADO GESTAR

Se ha denominado **dimensionado GESTAR** a aquel que diseña y calcula las redes de riego con la aplicación informática GESTAR y cuya transformación de parcelas en redes de riego por aspersión ha seguido el proceso coincidente con la 'guía de trabajo', para las cinco parcelas de riego, del apartado 4.2 (página 34) del actual proyecto final de carrera.

Los datos proporcionados para el cálculo varían según las parcelas a transformar, en general para las cinco se ha utilizado el mismo método, sin embargo es conveniente para la comprensión especificar los pasos realizados en todas y cada una de las parcelas para el dimensionado según este resumen:

### Generación de la cobertura.

Este proceso ha sido realizado mediante la comunicación del programa GESTAR y de la aplicación de dibujo AutoCad. Se han introducido los contornos de las parcelas en un archivo AutoCad trazando una polilínea cerrada, se ha introducido un segmento de referencia para que GESTAR comience el trazado de la cobertura, a través de sus herramientas.

Esta cobertura se ha configurado de manera exacta a las exigencias de los métodos de tanteo y siguiendo sus datos. Por tanto, tenemos redes al tresbolillo de 18x18 metros con contornos irregulares, y asimismo, se han introducido aspersores similares con el mismo consumo de 0,5 litros/segundo y un alcance de 12,7 metros.

### Sectorización y trazado de la red completa

Se ha procesado la red instaurando un tejido de tuberías que se conectan mediante líneas y polilíneas, ejecutando las tuberías primarias, tuberías secundarias, tuberías terciarias, emisores y sectores de riego de manera muy similar al que se observa en los resultados topográficos ofrecidos por las empresas de infraestructuras de riego.

Es realmente dificultoso igualar el mismo trazado y algunas longitudes de tubería y número de aspersores varía ligeramente, pero sin alterar los resultados de

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

manera condicional. Además el cálculo en GESTAR no permite, a fecha actual, el cálculo del dimensionado de las tuberías con una configuración mallada, por lo cual, la longitud de las tuberías también difiere entre métodos por este motivo.

#### Levantamiento topográfico.

Las instalaciones de redes de riego en parcelas más comunes disponen de una altimetría irregular con desiguales cotas y pendientes. El levantamiento topográfico se realiza con una aplicación informática especializada para el tratamiento de dicha información. El grupo de trabajo GESTAR ha utilizado, para este proceso, el programa MDT5, de una amplia utilización, aunque no por ello vinculante.

En tres de las cinco parcelas analizadas, no se ha dispuesto de la información real de las cotas, sino de una aproximación en las tablas Excel de datos de partida. Por tanto, este dimensionado GESTAR, se ha gestionado de modo análogo al tipo de dimensionado de estima, contabilizando los datos de desnivel ofrecidos en las tablas. El método de introducción de cotas ha consistido en, una vez importada la red a GESTAR, establecer la cota de referencia del hidrante de cabecera y sector por sector se han introducido las cotas que vienen en los datos de partida de las tablas Excel para cada sector, en todos los nodos de unión, en todos los hidrantes y en todos los aspersores, teniendo en cuenta la altura de la caña. Con esto se ha conseguido que el dimensionado GESTAR sea lo más equivalente posible en datos a los dimensionados de estima, con el fin de realizar una comparativa más ecuánime.

#### Importación de la red al entorno GESTAR.

Se ha realizado un proceso de importación que transfiere la red ramificada desde la aplicación AutoCad hasta el entorno GESTAR, seleccionando el tipo de emisor durante esta operación.

#### Configuración de la red para el dimensionado.

Las redes deben estar estrictamente conformadas por los elementos de riego. Así, se han revisado los tipos de tuberías y sus conexiones y se han instalado los componentes hidráulicos del entramado. La cabecera principal y las entradas a los sectores han sido modelizadas como *Nodos de Presión Conocida*. Los *nodos de presión conocida* no pueden bifurcarse directamente en dos tuberías terciarias. De este modo, se

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

han diseñado collarines en todos los sectores que los han necesitado de las cinco parcelas ejecutadas, a estos se les ha asignado un metro de longitud.

### Dimensionado de sectores.

En un primer lugar se han calculado los caudales de diseño que circulan a través de las tuberías y se han aplicado a la red bajo la hipótesis de que se encuentran todos los emisores en funcionamiento en un mismo instante.

El dimensionado de los sectores tiene en cuenta los criterios de diseño velocidad máxima y mínima, el caudal nominal de los emisores y su presión de trabajo, los materiales involucrados, así como la presión de entrada en el módulo. Por lo tanto, GESTAR impone unas condiciones de presión en la cabecera de los sectores y en los aspersores que se deben cumplir para el cálculo de las dimensiones de las tuberías.

La clave para obtener un dimensionado equitativo y comparable con los métodos habituales consistentes en un cálculo estimado y tanteado de pérdidas de carga, está en equiparar la presión de entrada en el módulo ó presión de la válvula. Para ello se hace necesario explicar, en este punto, el método habitual utilizado formalmente por las administraciones y empresas de riego, en el cual, de manera general, se procura tener suficiente presión en las entradas de los sectores y luego ajustarla en cabecera con una válvula reguladora de presión. En la TABLA 2 se muestra un resumen de los cálculos de los métodos de estima. A partir del tanteo con el diámetro comercial de la tubería principal, los caudales teóricos y las velocidades en las tuberías, con la fórmula de Darcy-Weisbach obtienen una pérdida de carga, para la tubería primaria, que denominan ‘**Pgen**’, que como puede verse es de 4,29 metros para este ejemplo. Sabiendo que la presión del hidrante es de 45 metros, una simple resta nos lleva a la presión de entrada en el sector con la ecuación:

$$\mathbf{P_{sector} = P_{hid} - P_{gen} - H_{vht} - H_{vh} - Desnivel}$$

Siendo:

- **Psector** = La presión requerida en la entrada del sector.
- **Phid** = Es la presión del hidrante de cabecera.
- **Pgen** = Es la pérdida de carga de la tubería principal o primaria.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

- **Hvht** = Es la pérdida de carga de la válvula hidráulica de la toma de riego de la cabecera.
- **Hvh** = Es la pérdida de carga de la válvula hidráulica de la toma de riego del sector.
- **Desnivel** = Son los metros de desnivel existentes entre la válvula hidráulica de cabecera y el aspersor más desfavorable.

Así se obtiene, que la presión de entrada en el Sector 1 de la Parcela 1 es de 38,51 metros.

<b>RESUMEN PÉRDIDAS DE CARGA</b>	
RAMAL PORTAASPERSORES:	4,23
SECUNDARIA:	3,09
GENERAL:	4,29
ALTURA CAÑA:	2,00
VAL HID TOMA (COMPARTIDO)	1,00
VALVULA HIDRAULICA:	3 1,20
DESNIVEL	0,00
TOTAL MODULO:	10,53
<b>TOTAL:</b>	<b>15,82</b>
PHIDRANTE	45,00
PASPERSOR	29,18

**TABLA 2. Resumen de las pérdidas de carga de un sector tipo en los métodos de estima.**

La presión total (**Ptot**) es la suma de todas las pérdidas de carga estimadas (RAMAL PORTAASPERSORES, SECUNDARIA, GENERAL, ALTURA de la CAÑA, las VÁLVULAS y el DESNIVEL al aspersor más desfavorable) y por consiguiente, con la siguiente fórmula, se obtiene la presión que le llega al aspersor más desfavorable, en este caso 29,18 metros:

$$\mathbf{Pasp = Phid - Ptotal}$$

Siendo:

- **Pasp** = La presión sobrante que le llega al aspersor.
- **Phid** = Es la presión del hidrante de cabecera.
- **Ptot** = Es la suma de todas las pérdidas de carga estimadas.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Cabe destacar que, obviamente, existen múltiples posibilidades de cálculo de dimensionados que efectuar si se modifican las presiones de entrada en los dimensionados de los sectores.

En el actual proyecto, con el método GESTAR se ha pretendido conseguir una gran analogía en cuanto a las presiones exigidas por los métodos de cálculo de estima para poder comparar los resultados y validar la herramienta. Por ello, se han utilizado las mismas presiones en los hidrantes de entrada a los sectores y asimismo se ha procurado que las presiones en los aspersores sean aproximadas a las exigidas en dichos cálculos ó a 35 metros si se supera con creces este valor. Para una mayor comprensión en la FIGURA 30 se puede observar la ventana de dimensionado de sectores del programa GESTAR, y el lugar donde se introducen los mencionados valores de presión para la entrada del sector (Presión Válvula) y para los aspersores (Presión en Aspersor) en la parte superior de la figura.

**Dimensionar Sector**

ID Entrada Sector: **NU509**

Sector:

Presión Entrada Calculada:

Cota Válvula: 370,543701      Presión en Aspersor: nca) 29,18

Desnivel Max: 0,1264      Altura Caña: (m) 2

Pérdida Carga Max:      Pendiente Hidráulica Estimada: (m/m) 0,035

Presión válvula: (mca) 38,51

Aplicar

Criterios

Incremento Presión Estática (mca) para Timbraje: 0

Velocidad (m/s): 0,5

Velocidad (m/s): 2,5

Ramal PortaAspersor

Forzar Material

Material	Rugosidad	Timbraje	Presión Máxima	DN	D. INT.	Precio
PE	0,0001	PEAD-8	80	32_(PEAD-8)	28	0,44

Tubería Secundaria

Materiales Disponibles: PE, PVC

Materiales a Utilizar: PE, PVC

Rango Diámetros Interiores: Min 45,2, Max 299,6

Rango Presiones de Trabajo: Min 60, Max 100

Caudal Entrada Sector Nominal       Caudal Entrada Sector Simulado después del Dimensionado

Pérdida de carga en la válvula (mca) 1,2

Dimensionar

**FIGURA 30. Ventana de dimensionado de sectores en el programa GESTAR.**

Este procesamiento realizado con GESTAR ofrece archivos en formato “.pdf” con los resultados de cada sector de la parcela, que están íntegramente disponibles, para cada caso, en el ANEXO II, ordenados por parcelas y sectores de riego de cada parcela.

#### Dimensionado de la tubería principal.

El dimensionado de la tubería principal, se resuelve considerando el funcionamiento a turnos de los sectores de riego dentro de la parcela. Se han especificado los turnos de riego (que vienen en los datos) con la duración requerida de 18 horas. El programa identifica el sector de riego crítico (el nodo cabecera de menor pendiente hidráulica), dimensionando la tubería principal para servir como mínimo, la presión de entrada tenida en cuenta en el proceso anterior y considerando el trayecto a este sector, como prioritario. En segundo orden, se dimensionan el resto de conducciones teniendo en cuenta las tuberías del trayecto en común que conduce al sector crítico, permitiendo así, ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión de los módulos no críticos. El proceso se realiza recursivamente hasta lograr un resultado económicamente atractivo.

Posteriormente, los diámetros de las tuberías se han retocado de manera manual para comprobar si se pueden alcanzar mejores resultados económicos sin disminuir apenas la funcionalidad de la red, comprobando en todo momento que las presiones en el inicio de los sectores son suficientes y contabilizando los aspersores que se tornan deficientes en cuanto a la presión de aplicación ante esa bajada.

#### Análisis hidráulico

En todas las parcelas, se ha realizado una simulación completa de cada uno de los turnos de riego dentro de la parcela, analizando su funcionamiento hidráulico, detectando disfunciones y posibles mejoras en el diseño.

#### Análisis de resultados

El cuadro de mediciones y las alarmas que proporciona el programa para cotejar datos y obtener los resultados económicos de cada parcela han sido las dos herramientas que han permitido llevar a cabo la comparativa entre dimensionados. Simultáneamente a la obtención de las transformaciones en regadío y a la simulación, una labor de anotación de datos ha sido efectuada.

Los datos que se presentan en las tablas de los resultados de los diferentes dimensionados son la información más útil para contrastar los casos. Estos se presentan separados y ordenados según el número de sectores de las parcelas y finalmente se muestra el sumatorio. Se compone de:

**Número de aspersores** → Es el número de aspersores que se ha decidido instalar en cada sector. Entre los dimensionados de estima y los dimensionados GESTAR puede haber ligeras variaciones ya que el método de trazado es diferente y esto hace que en algunos casos la distribución de la red difiera levemente. No obstante, el delineado se ha realizado atendiendo a criterios de similitud y por tanto, las discrepancias son mínimas.

**Presión requerida en la entrada del sector** → Es la presión disponible que se requiere a la entrada de cada sector, según el valor calculado con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{sector}} = P_{\text{hid}} - P_{\text{gen}} - H_{\text{vht}} - H_{\text{vh}} - \text{Desnivel}$$

Siendo:

- **Psector** = La presión requerida en la entrada del sector.
- **Phid** = Es la presión del hidrante de cabecera.
- **Pgen** = Es la pérdida de carga de la tubería principal o primaria.
- **Hvht** = Es la pérdida de carga de la válvula hidráulica de la toma de riego de la cabecera.
- **Hvh** = Es la pérdida de carga de la válvula hidráulica de la toma de riego del sector.
- **Desnivel** = Son los metros de desnivel existentes entre la válvula hidráulica de cabecera y el aspersor más desfavorable.



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Un ejemplo de valores utilizados para este tipo de casos se visualiza en la TABLA 3, que muestra el resumen de las pérdidas de carga en un sector tipo para los métodos de estima ofrecidos como datos de partida, para todos los sectores, en el ANEXO I.

Como vemos, para el método de estima el valor de presión requerida es una resta de las pérdidas de carga estimadas. Para conseguir llevar a cabo una comparación más exacta, se han utilizado los mismos datos de presión requerida en la entrada del sector para la entrada de datos del método GESTAR.

RESUMEN PÉRDIDAS DE CARGA	
RAMAL PORTAASPERSORES:	4,23
SECUNDARIA:	3,09
GENERAL:	4,29
ALTURA CAÑA:	2,00
VAL HID TOMA (COMPARTIDO)	1,00
VALVULA HIDRAULICA:	3 1,20
DESNIVEL	0,00
TOTAL MODULO:	10,53
<b>TOTAL:</b>	<b>15,82</b>
PHIDRANTE	45,00
PASPERSOR	29,18

**TABLA 3. Resumen de las pérdidas de carga de un sector tipo en los métodos de estima.**

**Presión requerida en los aspersores** → Es la presión disponible que se requiere en los aspersores, según el valor calculado con la siguiente ecuación:

$$P_{asp} = P_{hid} - P_{tot}$$

Siendo:

- **Pasp** = La presión sobrante que le llega al aspersor.
- **Phid** = Es la presión del hidrante de cabecera.
- **Ptot** = Es la suma de todas las pérdidas de carga estimadas.

El método de estima obtiene este valor restando la presión del hidrante en cabecera de la suma de todas las pérdidas de carga estimadas al aspersor más

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

desfavorable obteniendo la presión que le llega al aspersor más desfavorable, y por tanto, todos los aspersores deberán disponer como mínimo de este dato de presión. Estos mismos valores se han utilizado en la entrada de datos de GESTAR para igualar lo máximo posible las condiciones de las comparativas.

Un ejemplo de cálculo de estas presiones ha sido detallado con anterioridad en la sección de ‘Dimensionado de Sectores’ en este mismo apartado del actual texto (página 81)

**Coste** → Es la suma de todas las longitudes de las tuberías instaladas (metros) por su precio unitario (precio/metro). Se presenta la suma total de todo el trazado de la red.

**Desnivel en el sector** → Es el desnivel, en metros, desde el hidrante de cabecera hasta el aspersor más desfavorable. Es un dato extraído de las tablas de cálculo del resumen de las pérdidas de carga del método de estima (ANEXO I).

**Hectáreas** → Es la superficie de la parcela según el proyecto y el programa de dibujo AutoCad. Se muestra en una única cifra pues es el tamaño del total de la parcela.

**Presión simulada en la entrada del sector** → Este dato es la presión que está llegando según la simulación realizada con el programa GESTAR, a las entradas de los sectores.

**Margen de presión en los sectores** → La diferencia entre la presión simulada en la entrada de sector y la presión requerida en la entrada del sector es el margen de presión en la entrada del sector. Si este margen es negativo quiere decir que la parcela con el dimensionado simulado es deficiente en presión en el sector donde esto ocurra.

**Número de aspersores con el margen de presión negativa** → Es el número de aspersores cuya presión durante la simulación de un dimensionado no cumple con la presión requerida en los aspersores del sector. Por tanto, es un parámetro que consigue medir el rigor de cálculo de los métodos.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

**Presión simulada en el aspersor más desfavorable**→ Es el valor de presión en el aspersor más desfavorable del sector. Se obtiene simulando el funcionamiento de sector y visualizando el aspersor cuya presión sea la mínima.

**Número de aspersores con presión inferior a la presión nominal (35 metros)**→ El aspersor se instala, según el proyecto, para todos los casos, con una presión nominal de 35 metros. Este parámetro contabiliza el número de aspersores inferior a ese valor.

**Número de aspersores con presión inferior a 30 metros**→ Es el número de aspersores cuya presión es inferior a 30 metros columna de agua. Un valor de presión inferior a 30 metros en los aspersores, puede incurrir en defectos de regadío con el marco de distribución 18 x 18 metros establecido para todas las parcelas.

### 5.1.3 OBTENCIÓN DEL DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL.

En el caso de transformaciones de riego por aspersión con topografía real del terreno, sólo hemos dispuesto de dos parcelas documentadas con puntos de nivel que han servido para generar dos casos con relieve irregular real con el programa GESTAR, concretamente se trata de la Parcela 3 y de la Parcela 4. El procedimiento seguido para la obtención de resultados es coincidente con el anterior apartado (5.1.2), y asimismo, con el apartado 4.2 (página 34) del presente documento, denominado ‘guía de trabajo’, con la obligatoriedad de la utilización de un programa topográfico como puede ser MDT5, para la elevación de entidades, y no introducidas de manera manual como en el resto de los casos.

Específicamente, antes de la importación a GESTAR, se confiere a la parcela de su relieve irregular. En estos dos casos, las cotas de nivel vienen definidas por puntos de nivel en los datos de la parcela con AutoCad que se han unido para formar superficies de nivel con la aplicación especializada. Posteriormente, se ha procedido a un proceso de elevación de entidades para dar cota a todas las líneas, polilíneas y puntos que

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

conforman la cobertura total de riego por aspersión consiguiendo situar cada elemento con su respectiva altimetría exacta. Finalmente, un proceso de de cortes es llevado a cabo entre tuberías con el fin de que las uniones entre tuberías sean las idóneas para su dimensionado.

Tras la importación, el cálculo prosigue con el procedimiento descrito anteriormente.

#### 5.1.4 OBTENCIÓN DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA.

Se realizan modelos hidráulicos de los diseños obtenidos con el dimensionado de estima para los cinco casos de estudio y se simulan con el programa GESTAR. Por defecto, los datos de partida y resultados proporcionados por las empresas de regadío, no disponen de un análisis de su funcionalidad y su funcionamiento. Por tanto, para establecer una comparativa, es necesaria esta simulación, con el fin de conocer todos los parámetros físicos durante la actividad de riego de dichos casos. Así pues, el modelo generado tiene exactamente la configuración de la red, las tuberías, los aspersores y los parámetros de los datos y resultados de partida de los cinco casos de estudio.

De este modo, se examina si los valores simulados, llegan a las presiones requeridas por el proyecto real, tanto en la entrada de los sectores de riego, como en cada uno de los aspersores.

#### 5.1.5 OBTENCIÓN DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON LA TOPOGRAFÍA REAL DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA.

En última instancia, se quiere conocer que sucede, en caso de aplicar al modelo obtenido con el dimensionado de estima la topografía real existente en el terreno de la parcela. Así, se pretende conocer el funcionamiento de las parcelas que disponen de

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

datos de altimetría con puntos de nivel sobre la planta de la parcela (Parcela 3 y Parcela 4) con las tuberías instaladas ejecutadas en proyecto, según el método de tanteo utilizado por las empresas de ejecución de proyectos de regadío.

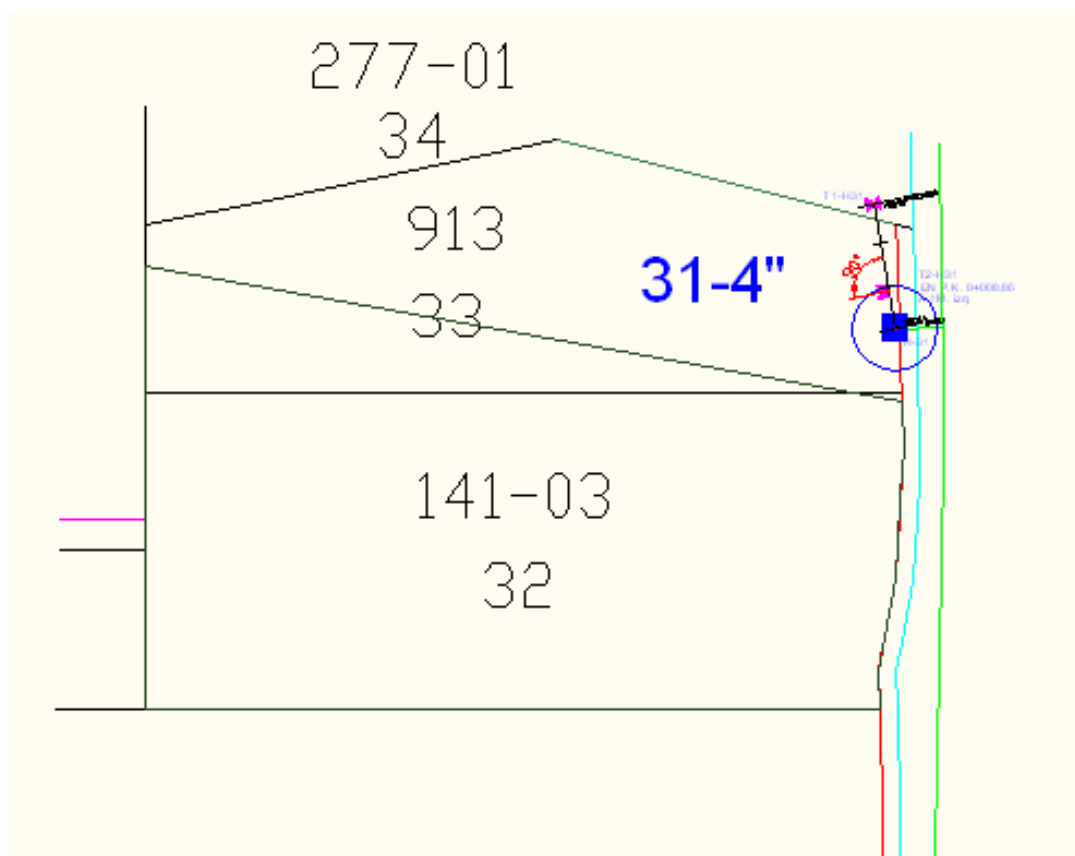
Sobre esta simulación específica se trabaja representando un riego por aspersión con sus turnos por cada sector y observando y analizando las presiones en las cabeceras de los sectores y en los aspersores, en esas dos parcelas, con el fin de comprobar si el no tener en cuenta la topografía, en el dimensionado, incurre en posibles deficiencias de funcionamiento del sistema. Durante la comparativa se indica y se anota en tablas: las presiones de entrada en cada sector, el número de aspersores con presiones diferentes a las requeridas según los datos, obteniendo las características funcionales y si la red funcionaría, como se especifica, con un desnivel de la finca exacto para todos sus componentes.

**Todos los archivos con los datos y resultados de partida, con los resultados obtenidos, la guía de trabajo y el manual de riego por aspersión se adjuntan en formato digital (CD).**

## 5.2 CASO 1: PARCELA 1

### 5.2.1 DATOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 1.

El plano general en planta de la primera finca que se ha transformado en regadío, adaptando como sistema, el riego por aspersión se visualiza en la FIGURA 31. De este plano se obtiene el contorno que delimita la denominada Parcela 1.



**FIGURA 31.** Imagen de la planta de la parcela 1 extraída de AutoCAD.

La Parcela 1 es de tamaño reducido, dispone de una superficie de 1,5373 hectáreas. El proyecto de modernización de regadíos ha instalado en este lugar un hidrante cuyo caudal es de 18 litros por segundo y cuya presión es de 45 metros columna de agua, que suministra agua a todo este terreno totalmente llano. La configuración de la red ha dispuesto de dos sectores: el primero con 37 aspersores; y el segundo con 32 aspersores. Estos aspersores son de 1790 litros/hora el de círculo

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

completo y 1158 litros/hora el aspersor sectorial con una caña porta-aspersor de una altura de 2 metros con un marco de distribución de 18 metros x 18 metros al tresbolillo.

## 5.2.2 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 1.

La empresa de regadío encargada de la transformación de la Parcela 1 utilizando el método de estima descrito en el punto 4.2.1 del actual documento, cuyos cálculos se encuentran en el ANEXO I, han acabado el proyecto con la disposición que se visualiza en la FIGURA 32.

Un resumen de los resultados de funcionamiento y económicos se muestra en la TABLA 4 y en la TABLA 5.

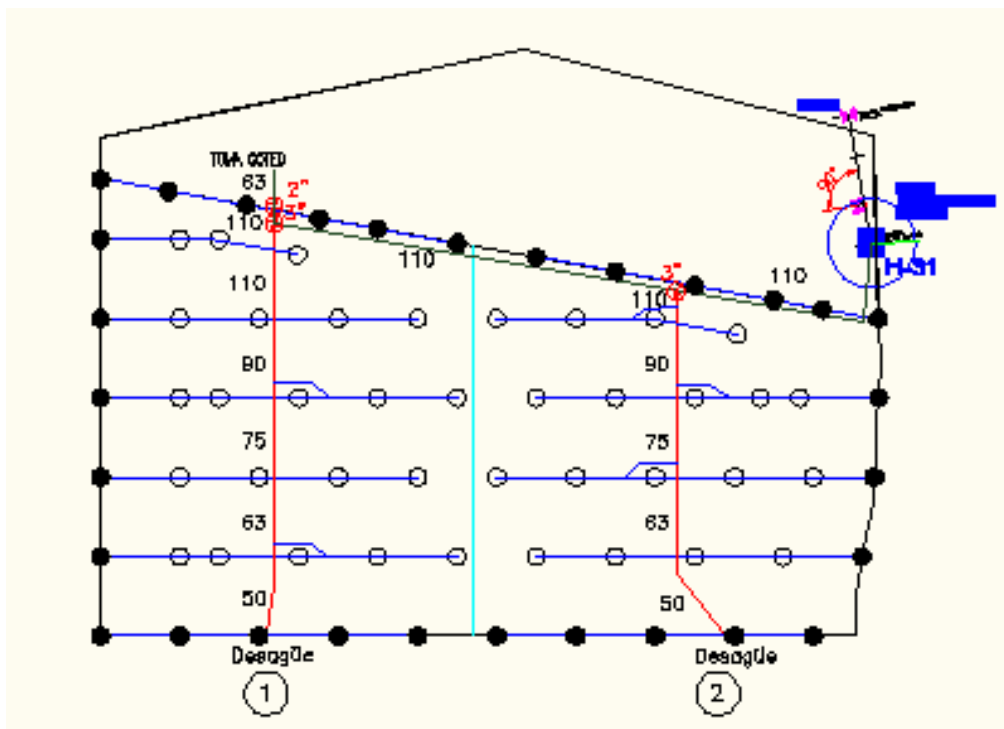


FIGURA 32. Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 1 con el método de estima.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 1 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>			
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	37	32	69
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	38,51	41,29	79,8
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	29,18	32,43	61,61
<b>Hectáreas</b>			1,5373

**TABLA 4.** Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 1.

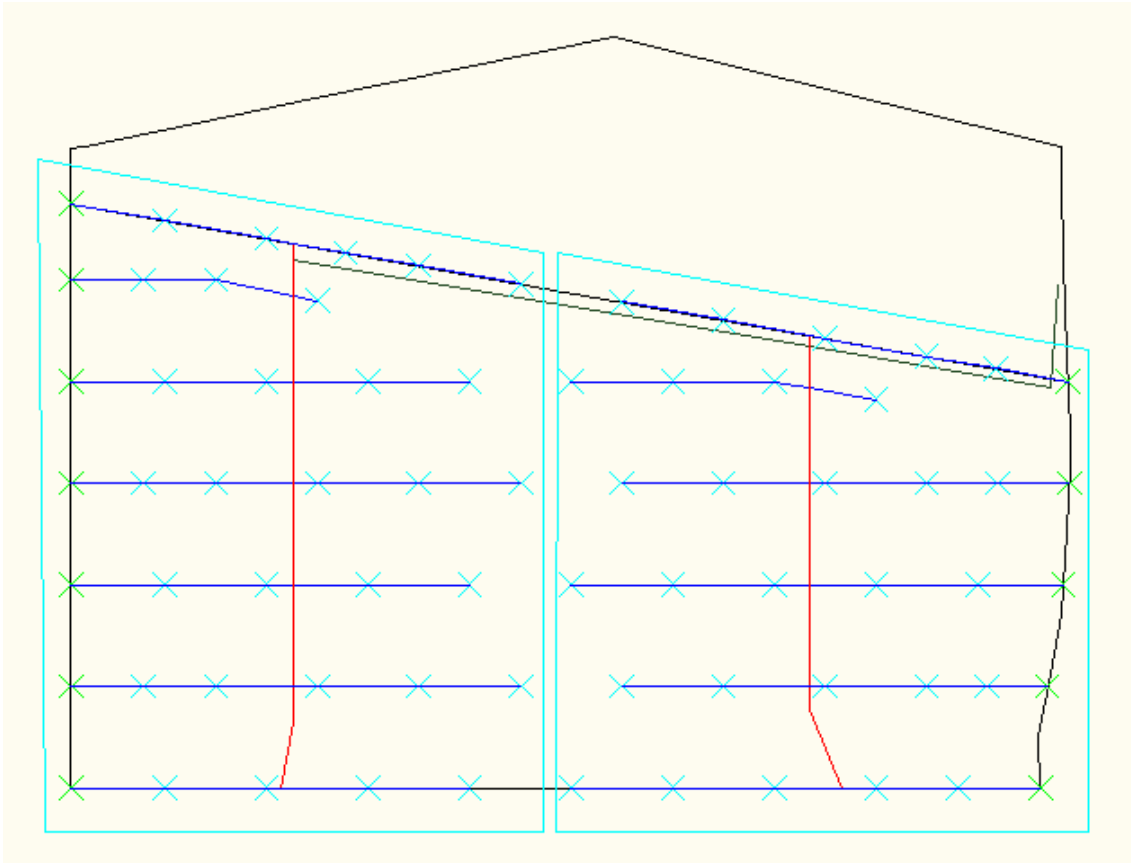
<b>PARCELA 1 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	992	436,48
PVC	PVC-6	50	1,51	42	63,42
PVC	PVC-6	63	2,24	48	107,52
PVC	PVC-6	75	3,1	36	111,6
PVC	PVC-6	90	4,37	36	157,32
PVC	PVC-6	110	4,93	196	966,28
Collarín			14	5	70
					<b>1912,62</b>

**TABLA 5.** Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 1.

### 5.2.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR DE LA PARCELA 1.

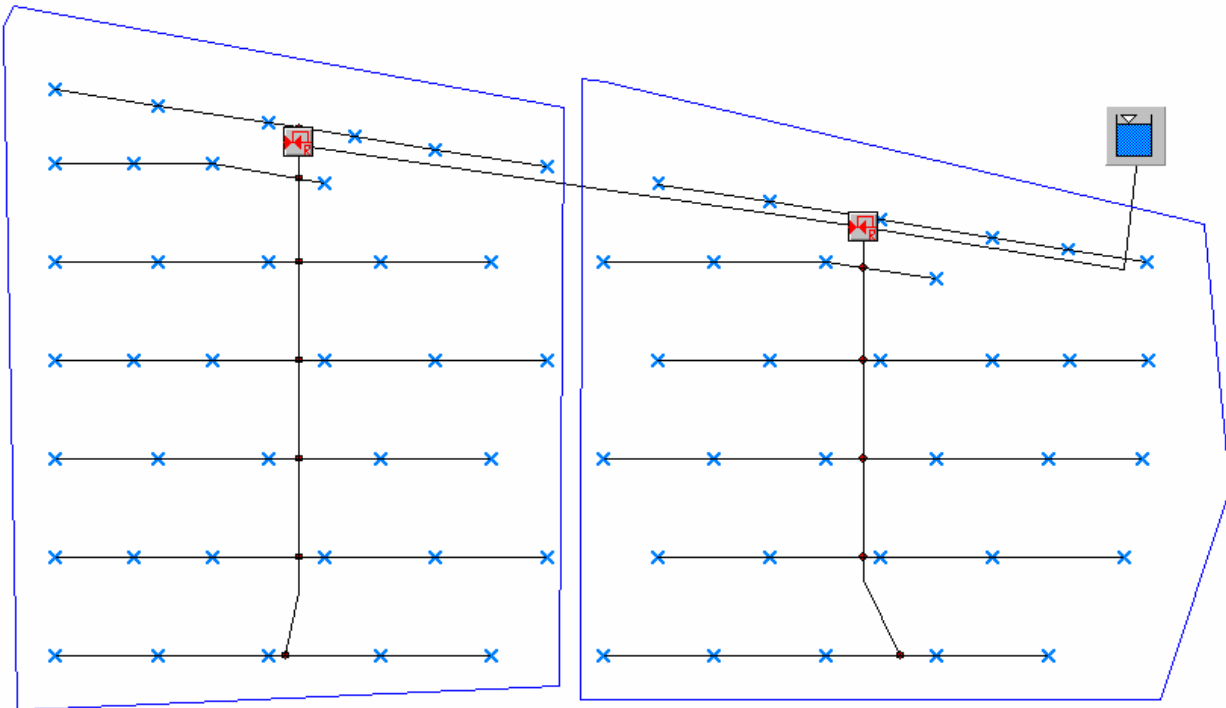
Utilizando el método GESTAR siguiendo las pautas de la ‘guía de trabajo’ del apartado 4.2 (página 34) del presente proyecto final de carrera y basándose en la configuración adoptada por la parcela según los resultados del método de estima, se ha obtenido una distribución de aspersores como la que muestra la FIGURA 33. Este es un caso especial con una parcela muy pequeña, en la cual el número de aspersores es exactamente el mismo y el trazado de la red es muy similar.





**FIGURA 33. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 1 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR.**

Tras configurar la red, esta se ha trasladado a GESTAR (FIGURA 34) donde se han realizado los cálculos del dimensionado obteniendo unos resultados de funcionamiento y económicos como los que se exponen en la TABLA 6 y la TABLA 7. La parcela ha sido retocada desde el dimensionado inicial tanteando recursivamente para obtener el resultado económico más favorable.



**FIGURA 34.** Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 1.

<b>PARCELA 1 DIMENSIONADO GESTAR</b>			
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	37	32	69
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	38,51	41,29	79,8
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	29,18	32,43	61,61
<b>Hectáreas</b>			1,5373
<b>Presión simulada a la entrada de sector</b>	39,29	42,43	81,72
<b>Margen de presión en los sectores</b>	0,78	1,14	1,92
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	30,32	32,98	63,3
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	35	13	48
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0

**TABLA 6.** Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 1

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 1 DIMENSIONADO GESTAR</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	944,51	415,58
PVC	PVC-6	75	3,1	91,24	282,83
PVC	PVC-6	90	4,37	18	78,66
PVC	PVC-6	110	4,93	203,68	1004,13
PVC	PVC-6	50	1,51	20,57	31,07
					<b>1812,27</b>

**TABLA 7. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 1**

Se recuerda en este punto que los datos de las presiones en cada entrada del sector son los mismos que los que las empresas de proyectos de riego obtienen calculando la presión del hidrante en cabecera y restando las pérdidas de carga hasta la principal, de las válvulas y del desnivel. Asimismo, se observa que las diferencias de longitudes en las tuberías entre los métodos de cálculo se deben a que son métodos que distribuyen la configuración de la red de una manera diferente y por tanto, sería una casualidad que coincidiese exactamente.

Los resultados en formato pdf del cálculo del dimensionado de cada sector se recopilan en el ANEXO II.

Los resultados totales del dimensionado GESTAR vienen detallados en el ANEXO II, con los costes por tramo desglosados en el cuadro de mediciones.

**5.2.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 1.**

Con los datos ofrecidos por los resultados que han proporcionado las empresas de regadío se desconocen los parámetros técnicos de presión y caudal en cada punto de la red. Por ello, se han imitado las parcelas que los técnicos han instalado en estos

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

proyectos para comprobar las virtudes o deficiencias de sus cálculos mediante una simulación.

Los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima se resumen en la TABLA 8.

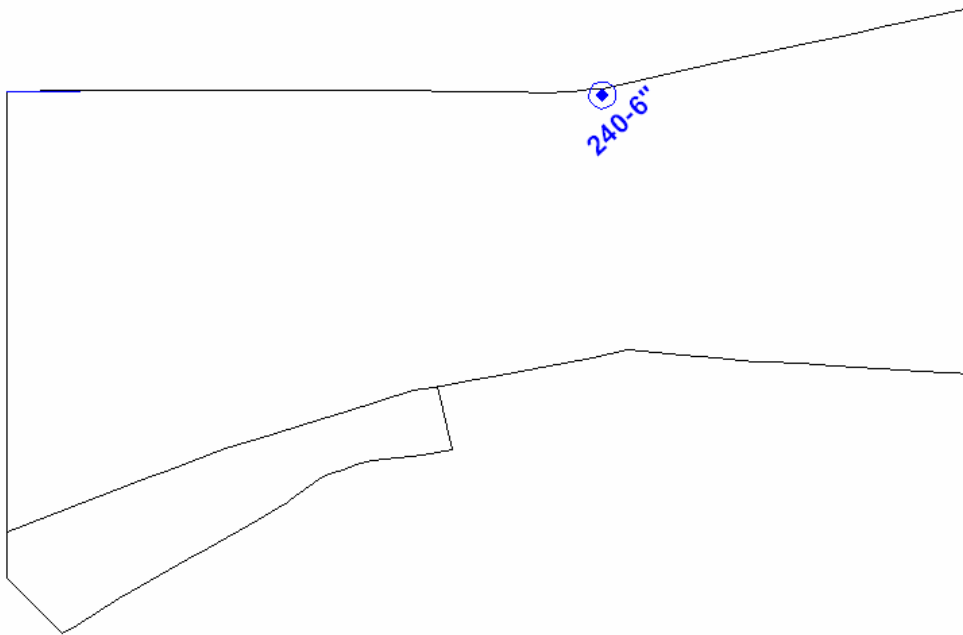
<b>PARCELA 1 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>			
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	37	32	69
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	36,51	39,29	75,8
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	29,18	32,43	61,61
<b>Hectáreas</b>			1,5373
<b>Presión simulada a la entrada de sector</b>	39,42	42,5	81,92
<b>Margen de presión en los sectores</b>	2,91	3,21	6,12
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	4	4
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	29,65	30,157	59,807
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	36	11	47
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	1	0	1

**TABLA 8. Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 1.**

## 5.3 CASO 2: PARCELA 2

### 5.3.1 DATOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 2.

El contorno interior del plano de la finca de la FIGURA 35, delimita la Parcela 2 cuyas obras de modernización la han transformado en una propiedad con regadío por aspersión instalado.



**FIGURA 35.** Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 2.

Se trata de una parcela de 17,36 hectáreas con una superficie de terreno irregular sustentada por un hidrante que aporta 37,4 litros por segundo y cuya presión es de 55 metros columna de agua. Los expertos, han dividido el riego en 16 turnos, unos por cada sector, con un número de aspersores determinado en la TABLA 9. Estos aspersores son de 1790 litros/hora el de círculo completo y 1158 litros/hora el aspersor sectorial con una caña porta-aspersor de una altura de 2 metros con un marco de distribución de 18 metros x 18 metros al tresbolillo. Esto permite una estimación de consumo de 0,5 litros/segundo por cada aspersor. Otra de las características de la parcela es que, la asignación de turnos se realiza de manera que queda por cada turno un sector.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

SECTORES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	Total
<b>NÚMERO DE ASPERSORES</b>	40	39	40	37	39	38	38	39	40	36	38	36	36	36	36	38	<b>606</b>

**TABLA 9. Número de aspersores instalados en la parcela 2 según el método de estima.**

### 5.3.2 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 2.

Los cálculos realizados por los técnicos que ejecutaron esta instalación se pueden observar detalladamente en el ANEXO I. No obstante, a continuación se aporta una figura visual de la distribución de la red (FIGURA 36) y un resumen de los resultados económicos y de funcionamiento en la TABLA 10 y la TABLA 11.

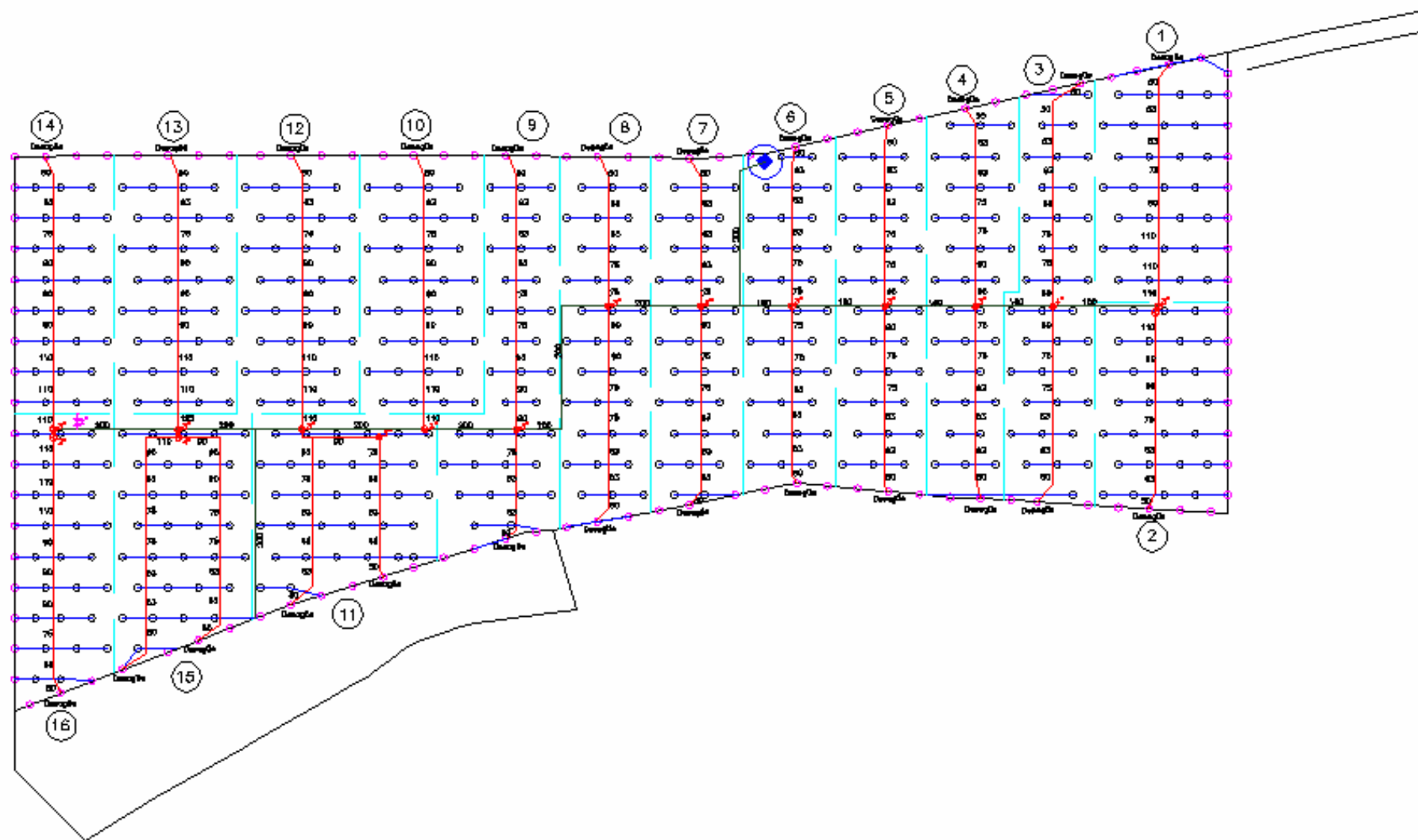


FIGURA 36. Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 2 calculado con el método de estima.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 2 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>																	
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	40	39	40	37	39	38	38	39	40	36	38	36	36	36	36	38	606
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	49,52	49,52	52,04	51,94	52,33	52,51	50,97	49,77	46,97	46,41	43,19	45,06	41,2	39,5	39,4	37,5	
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	41,42	40,72	44,15	45,45	45,82	45,08	43,5	42,77	40,8	38,01	34,88	36,66	34,07	32,51	32,45	31,06	629,35
<b>Desnivel cabeceras</b>	-2	-2	-2,5	-2	-1	0	2	3	5	5	8	6	9	11	11	13	
<b>Hectáreas</b>																	17,36

**TABLA 10.** Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 2.

<b>PARCELA 2 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	7668	3373,92
PVC	PVC-6	50	1,51	512	773,12
PVC	PVC-6	63	2,24	972	2177,28
PVC	PVC-6	75	3,1	720	2232
PVC	PVC-6	90	4,37	720	3146,4
PVC	PVC-6	110	4,93	369	1819,17
PVC	PVC-6	125	6,46	18	116,28
PVC	PVC-6	200	15,98	565	9028,7
PVC	PVC-10	160	16,1	249	4008,9
					<b>26675,77</b>

**TABLA 11.** Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 2.



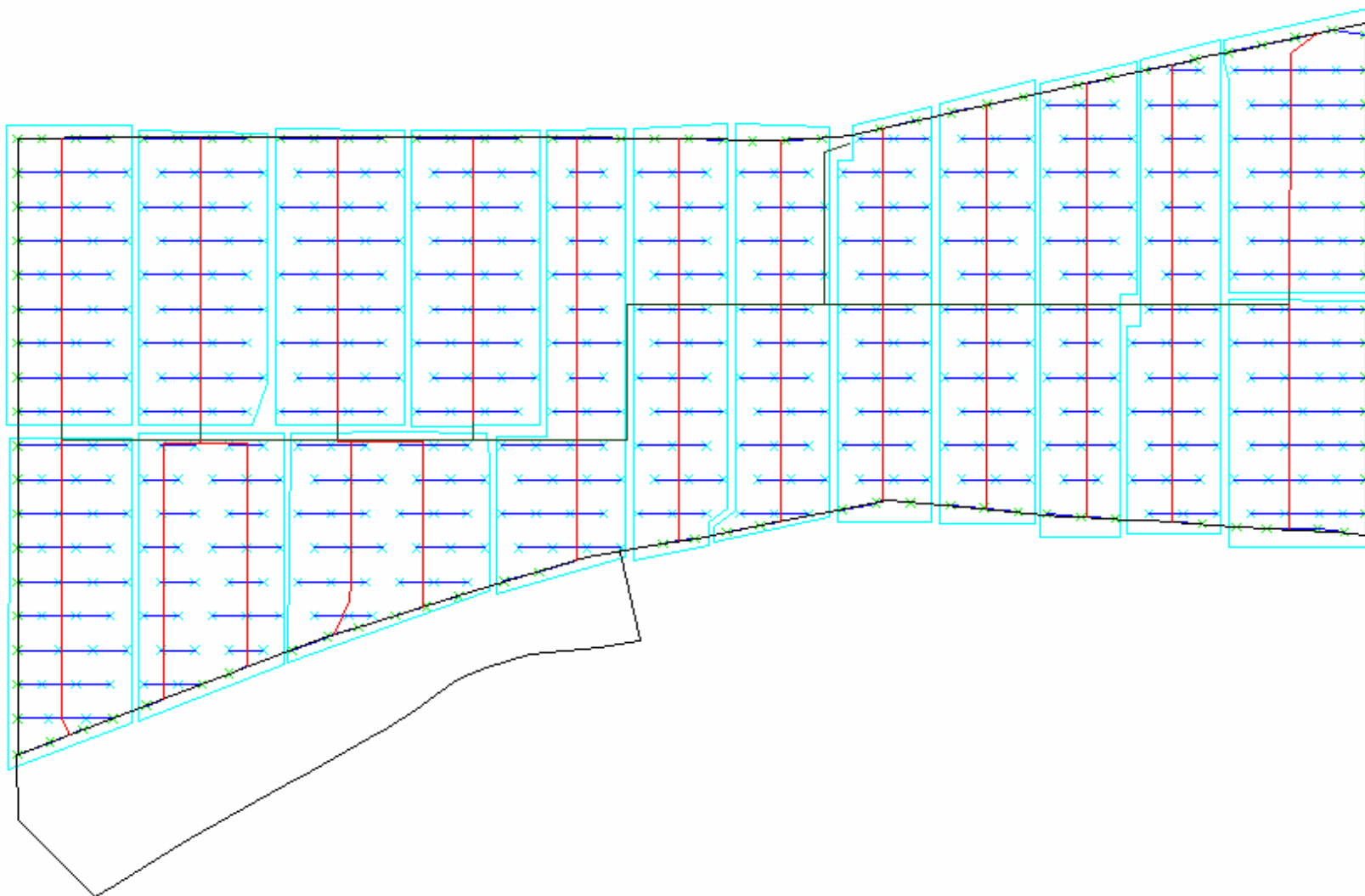
### 5.3.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR DE LA PARCELA 2.

El dimensionado efectuado con el método GESTAR proporciona una distribución de aspersores en formato AutoCad como se puede visualizar en el FIGURA 37. El autor ha configurado la red imitando el estilo del método de estima para poder comparar precios y funcionalidades.

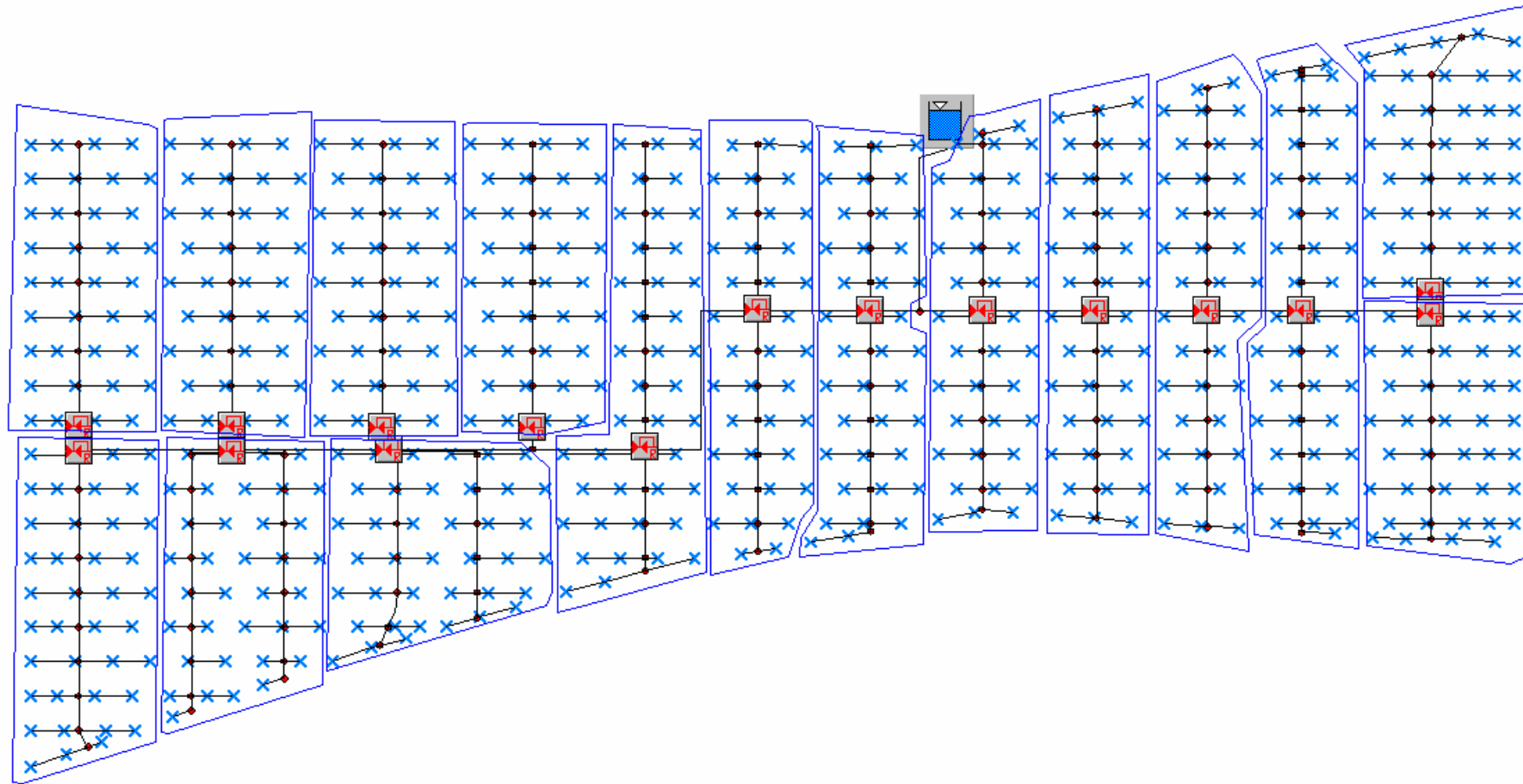
El diseño de la parcela en formato GESTAR, tras la importación de la parcela y la finalización de los cálculos de dimensionado, se puede observar en la FIGURA 38.

El dimensionado de los sectores calculados con el método GESTAR y ofrece archivos en formato “.pdf” con los resultados de cada sector de la parcela que se han recogido en el ANEXO II, así como un cuadro de mediciones con los resultados de la parcela completos y desglosados por tramo.

Una vez obtenido un dimensionado se ha retocado manualmente obteniendo una resultado económico más favorable que el que había originalmente en proyecto sin perder apenas su funcionamiento. Los resultados de funcionamiento y económicos expresados en cifras de la Parcela 2, se resumen a continuación (TABLA 12 y TABLA 13):



**FIGURA 37. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 2 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR.**



**FIGURA 38.** Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 2.

<b>PARCELA 2 DIMENSIONADO GESTAR</b>																	
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	40	39	41	38	39	38	38	38	41	36	37	36	36	36	36	39	608
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	49,52	49,52	52,04	51,94	52,33	52,51	50,97	49,77	46,97	46,41	43,19	45,06	41,2	39,5	39,4	37,5	747,83
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	34,88	35	34,07	32,51	32,45	31,06	549,97
<b>Desnivel en el sector</b>	-2	-2	-2,5	-2	-1	0	2	3	5	5	8	6	9	11	11	13	
<b>Hectáreas</b>																	17,36
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	51,05	51,49	52,81	53,94	54,07	53,91	52,18	50,82	47,81	47,61	43,96	45,9	42,36	39,99	40,86	37,74	766,5
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,53	1,97	0,77	2	1,74	1,4	1,21	1,05	0,84	1,2	0,77	0,84	1,16	0,49	1,46	0,24	18,67
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	36,32	38,86	40,4	39,94	42,31	41,8	37,58	38,97	35,81	35,44	34,92	35,57	34,14	32,86	32,95	31,51	589,398
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	24	29	39	98
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 12.** Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 2.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 2 DIMENSIONADO GESTAR</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	7685,23	3381,5
PE	PEAD-8	40	0,7	7,92	5,54
PVC	PVC-6	50	1,51	653,63	986,98
PVC	PVC-6	63	2,24	757,27	1696,29
PVC	PVC-6	75	3,1	784,85	2433,04
PVC	PVC-6	90	4,37	367,36	1605,38
PVC	PVC-6	110	4,93	500,88	2469,36
PVC	PVC-6	125	6,46	170,18	1099,35
PVC	PVC-6	140	8,1	318,1	2576,6
PVC	PVC-6	160	10,47	353,43	3700,42
					<b>19954,46</b>

**TABLA 13. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 2.**

#### 5.3.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 2.

Los profesionales que han proporcionado los resultados de los proyectos puestos en marcha con regadío por aspersión han asegurado que, a día de hoy, estas redes funcionan en la práctica, sin embargo es posible comprobar las virtudes o deficiencias de sus cálculos mediante una simulación, en la cual con los datos ofrecidos por las empresas de regadío se ha comprobado su funcionamiento con la herramienta de cálculo GESTAR.

Los resultados de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima se resumen en la TABLA 14.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 2 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>																	
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	40	39	41	38	39	38	38	38	41	36	37	36	36	36	36	39	608
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	49,52	49,52	52,04	51,94	52,33	52,51	50,97	49,77	46,97	46,41	43,19	45,06	41,2	39,5	39,4	37,5	747,83
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	41,42	40,72	44,15	45,45	45,82	45,08	43,5	42,77	40,8	38,01	34,88	36,66	34,07	32,51	32,45	31,06	629,35
<b>Desnivel en el sector</b>	-2	-2	-2,5	-2	-1	0	2	3	5	5	8	6	9	11	11	13	
<b>Hectáreas</b>																	17,36
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	54,94	55,09	55,71	55,75	55,1	54,55	52,72	51,59	49,24	48,94	46,1	47,83	44,78	42,98	43,14	40,95	799,41
<b>Margen de presión en los sectores</b>	5,42	5,57	3,67	3,81	2,77	2,04	1,75	1,82	2,27	2,53	2,91	2,77	3,58	3,48	3,74	3,45	51,58
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	19	21	10	12	16	14	10	2	17	2	0	1	5	5	0	7	141
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	34,89	35,91	42,81	43,9	44,06	42,12	41,56	42,55	37,79	37,52	34,92	36,29	33,12	31,92	32,91	30,27	602,519
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	13	24	20	39	98
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 14. Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación del dimensionado de estima de la parcela 2.**



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

por cada aspersor. Concretamente, este proyecto ejecutado dispone según planos de 8 sectores de riego organizados según la TABLA 15.

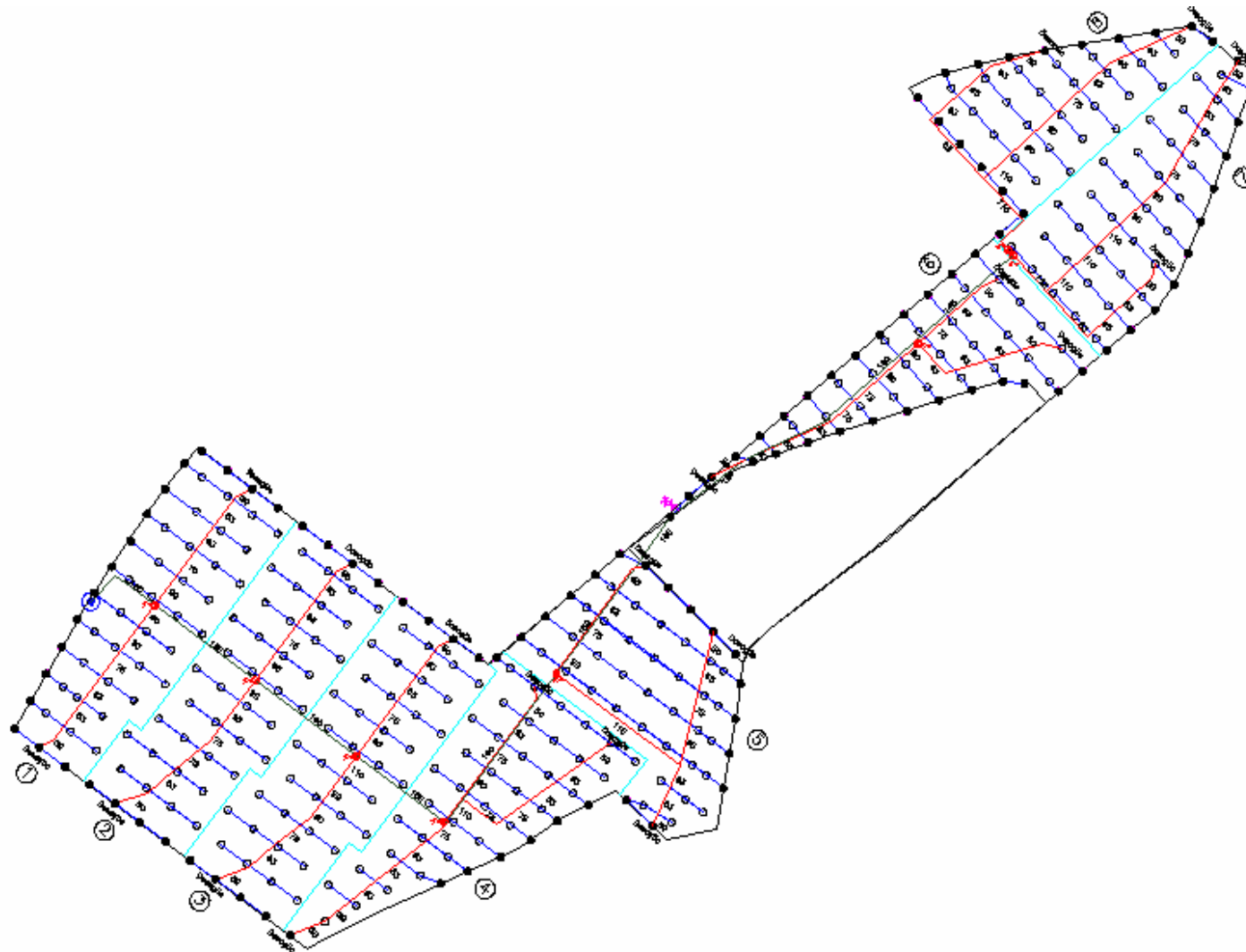
SECTORES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Total
NÚMERO DE ASPERSORES	51	48	48	45	49	50	44	40	375

**TABLA 15. Número de aspersores instalados en la parcela 3 según el método de estima.**

#### 5.4.2 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 3.

Las hojas de cálculo en Excel y el programa de dibujo técnico AutoCad han sido las herramientas de cálculo de este método. Su resultado se puede ver detalladamente en el ANEXO I, donde vienen todos los datos y resultados de partida, ordenados por casos de estudio. Estos resultados económicos y técnicos se resumen en la FIGURA 40 y en la TABLA 16 y la TABLA 17.





**FIGURA 40.** Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 3 calculado con el método de estima.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>									
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	51	48	48	45	49	50	44	40	375
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	42,06	41,44	40,81	39,78	39,62	41,18	41,68	43,55	330,12
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35,04	34,29	34,06	33,73	35	34,52	34,9	36,5	278,04
<b>Desnivel cabeceras</b>	1	1	1	1	0,5	-2	-3,9	-6	
<b>Hectáreas</b>									9,4788

**TABLA 16. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 3.**

<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	4808	2115,52
PVC	PVC-6	50	1,51	360	543,6
PVC	PVC-6	63	2,24	788	1765,12
PVC	PVC-6	75	3,1	366	1134,6
PVC	PVC-6	90	4,37	328	1433,36
PVC	PVC-6	110	4,93	254	1252,22
PVC	PVC-6	125	6,46	30	193,8
PVC	PVC-6	140	8,1	74	599,4
PVC	PVC-6	160	10,47	652	6826,44
					<b>15864,06</b>

**TABLA 17. Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 3.**

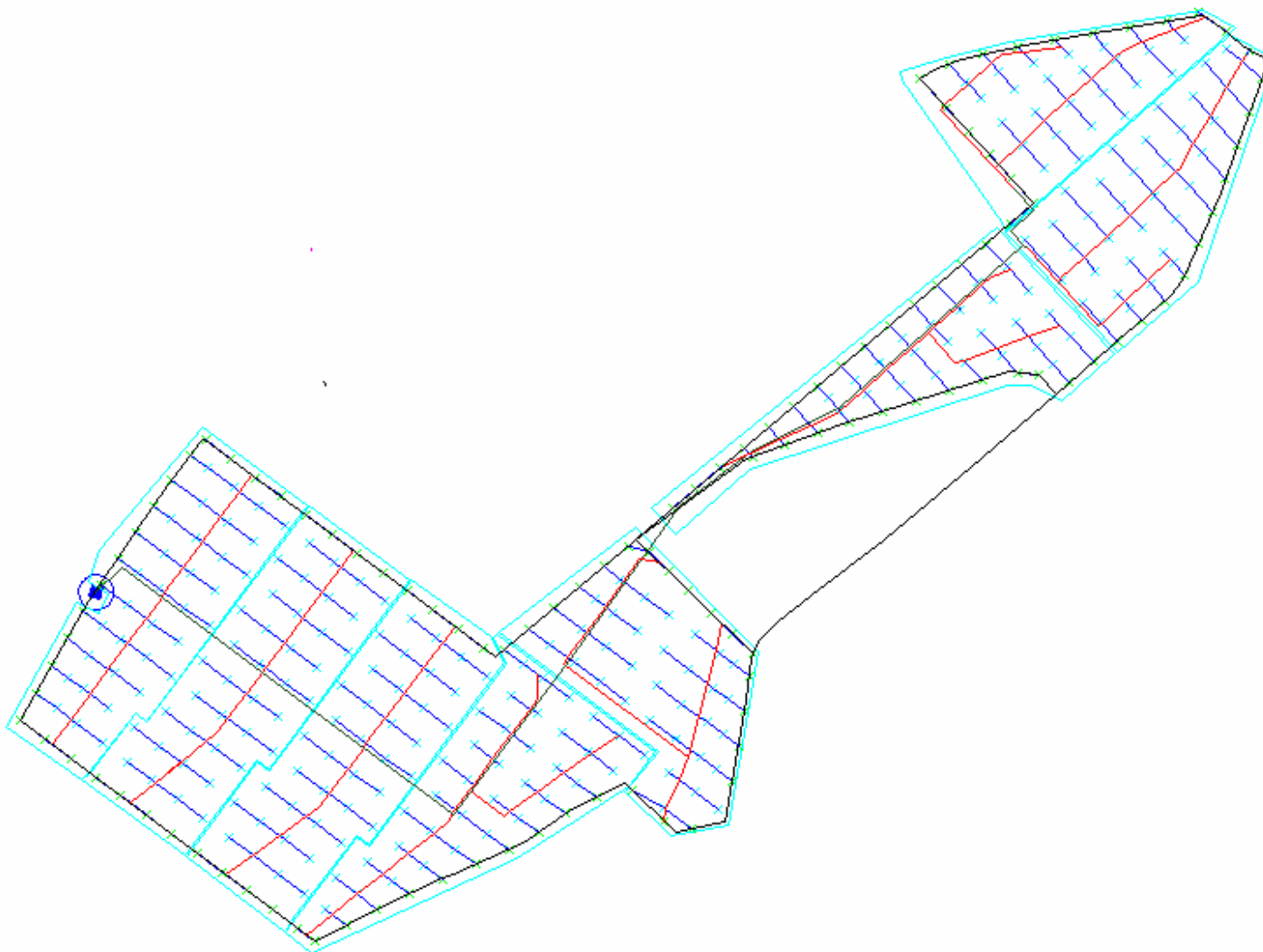
### 5.4.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR DE LA PARCELA 3.

La distribución de aspersores en formato AutoCad que proporciona el método GESTAR se muestra en la FIGURA 41. La red ha sido configurada con el estilo del método de estima para poder realizar una comparativa de precios y funcionalidades.

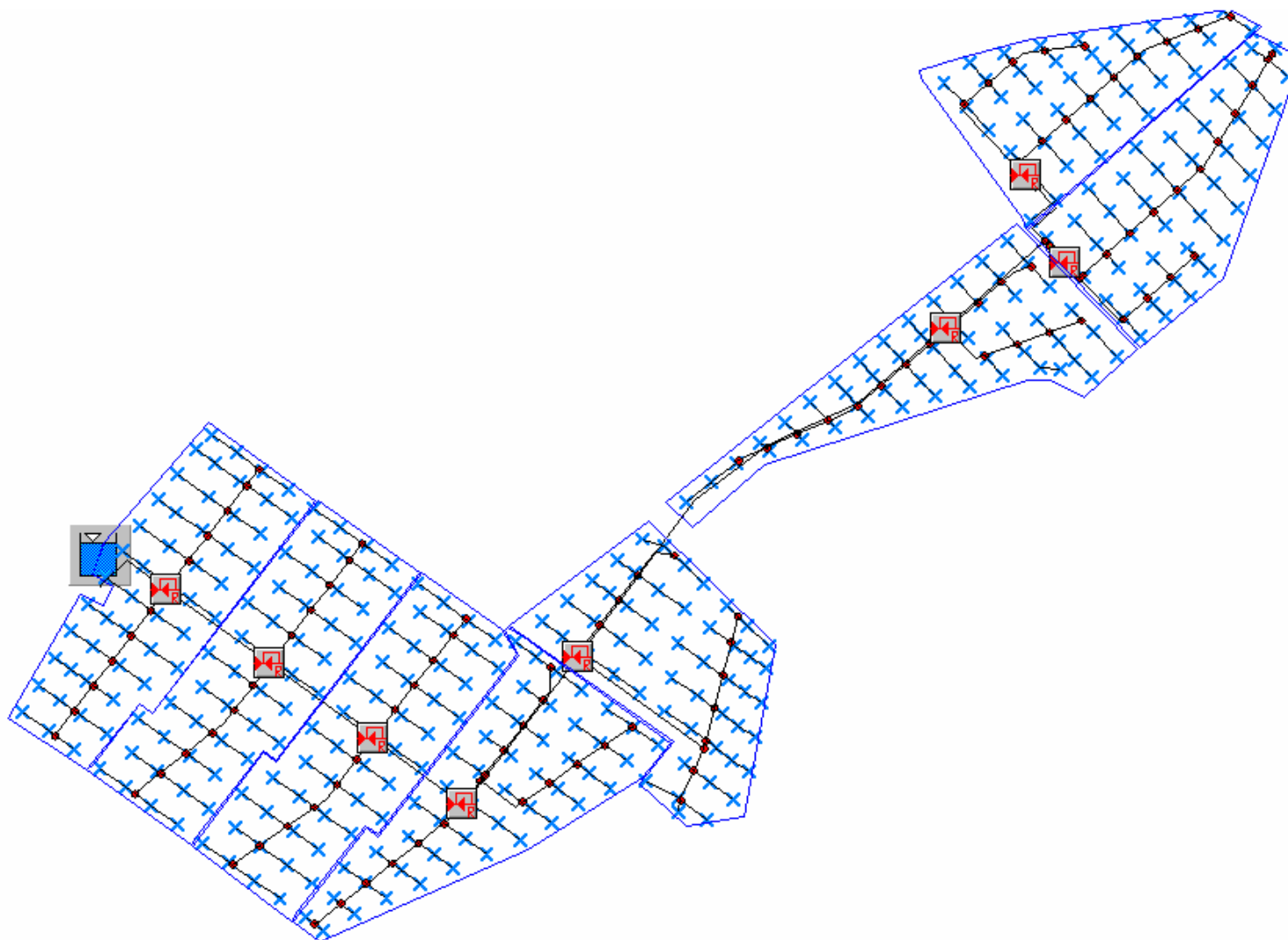
Una vez importada la parcela y con los cálculos finalizados en el entorno GESTAR, la imagen que nos queda es la de la FIGURA 42.

El resultado del dimensionado de los sectores calculados con el método GESTAR ofrece archivos en formato “.pdf” con los resultados de cada sector de la parcela que se han recogido en el ANEXO II.

El retoque manual para conseguir precios propicios sin perder cualidades, arroja los resultados que se muestran en la TABLA 18 y la TABLA 19.



**FIGURA 41. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 3 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR.**



**FIGURA 42.** Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 3.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO GESTAR</b>									
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	51	48	48	49	50	50	46	40	382
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	42,06	41,44	40,81	39,78	39,62	41,18	41,68	43,55	330,12
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	34,29	34,06	33,73	34	34,52	34,9	35	275,5
<b>Desnivel en el sector</b>	1	1	1	1	0,5	-2	-3,9	-6	
<b>Hectáreas</b>									9,4788
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	43,83	43,63	43	42,44	41,89	41,49	42,1	43,95	342,33
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,77	2,19	2,19	2,66	2,27	0,31	0,42	0,4	12,21
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	1	0	0	1	2
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	35,041	34,489	34,162	34,021	33,884	34,58	35,009	34,863	276,049
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	5	8	27	27	2	0	1	70
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 18. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 3.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO GESTAR</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	4509,14	1984,02
PVC	PVC-6	50	1,51	267,4	403,77
PVC	PVC-6	63	2,24	536,93	1202,72
PVC	PVC-6	75	3,1	621,97	1928,12
PVC	PVC-6	90	4,37	183,09	800,11
PVC	PVC-6	110	4,93	346,91	1710,27
PVC	PVC-6	125	6,46	88,15	569,43
PVC	PVC-6	140	8,1	26,71	216,35
PVC	PVC-6	160	10,47	616,55	6455,29
PVC	PVC-6	200	15,98	120,78	1930,06
					<b>17200,14</b>

**TABLA 19. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 3.**

Los resultados totales del dimensionado GESTAR vienen detallados en el ANEXO II, con los costes por tramo desglosados en el cuadro de mediciones.

#### 5.4.4 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL DE LA PARCELA 3.

En este caso, la topografía de la parcela es irregular, y se dispone de la topografía real en la planta en el programa AutoCad, mediante puntos de nivel, por lo cual se puede hacer uso de las herramientas de elevación del terreno para conocer la topografía real de la parcela.

El proceso de elevación de entidades para dar cota a todas las líneas, polilíneas y puntos que conforman la cobertura total de riego por aspersión consiguiendo situar cada elemento con su respectiva altimetría exacta queda más detallado en el manual de usuario de Diseño en Parcela recogido en el ANEXO III . La distribución de aspersores con elevación de entidades de la Parcela 3 en formato AutoCAD queda como muestra la FIGURA 43 y los datos se pueden observar en la TABLA 20 y TABLA 21.

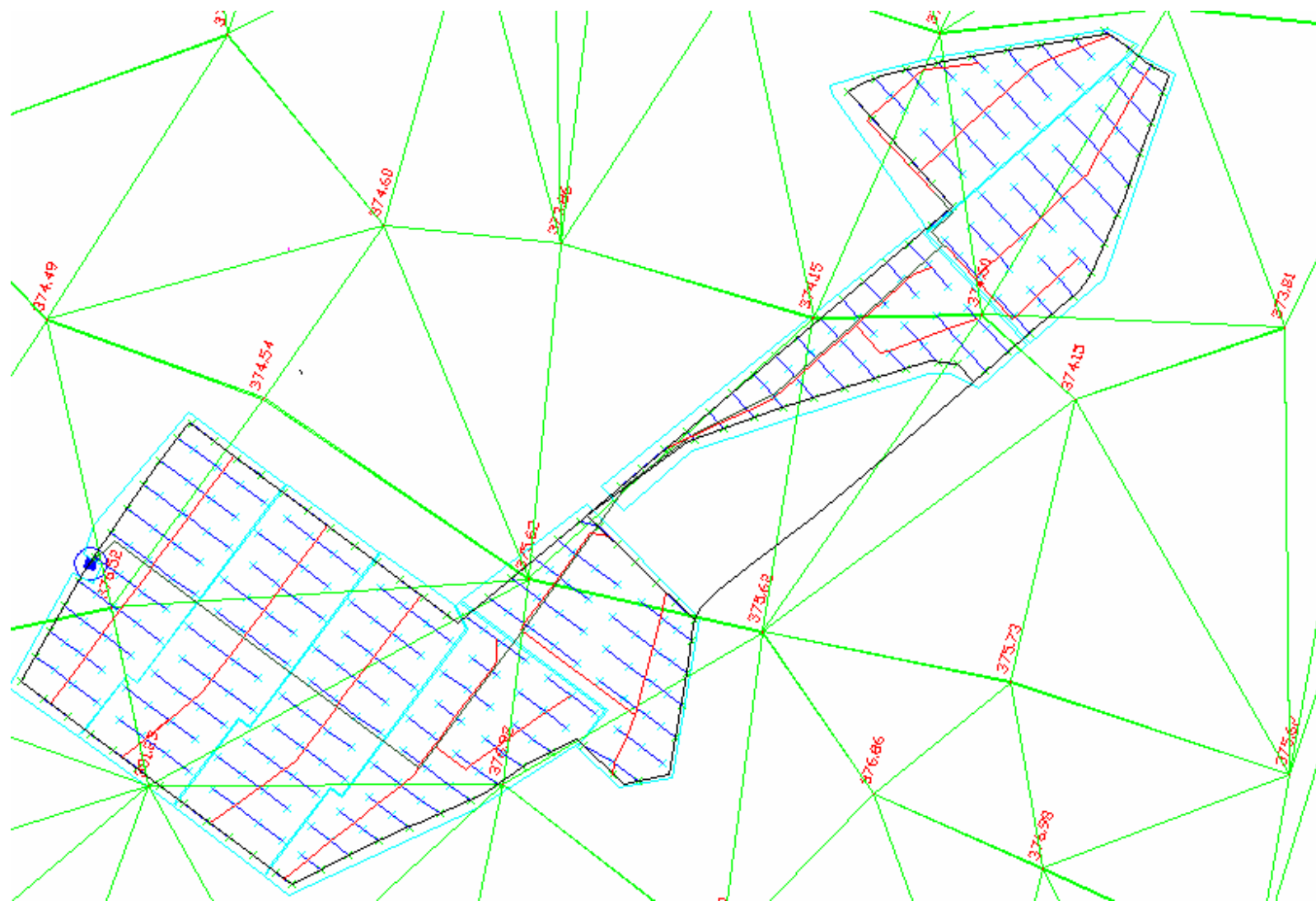


FIGURA 43. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 3 con la distribución de aspersores y la elevación diseñada con GESTAR



<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL</b>									
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	51	48	48	49	50	50	46	40	382
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	42,06	41,44	40,81	39,78	39,62	41,18	41,68	43,55	329,31
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	32,8	34,06	33,73	33	34,52	34,9	35	271,95
<b>Desnivel en el sector</b>	Según la topografía real obtenida con MDT5								
<b>Hectáreas</b>									9,4788
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	44,98	43,42	41,64	42,27	43,58	42,69	42,75	43,8	345,13
<b>Margen de presión en los sectores</b>	2,92	1,98	1,64	2,49	3,96	1,51	1,07	0,25	15,82
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	2	1	0	1	0	0	0	1	5
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	34,916	32,784	33,876	33,655	33,174	34,536	34,926	34,822	272,689
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	2	10	12	20	32	3	2	1	82
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 20. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 3.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 3 DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	4515,53	1986,83
PVC	PVC-6	50	1,51	258,73	390,69
PVC	PVC-6	63	2,24	553,14	1239,04
PVC	PVC-6	90	4,37	123,96	541,69
PE	PEAD-8	40	0,7	11,86	8,3
PVC	PVC-6	75	3,1	399,52	1238,52
PVC	PVC-6	110	4,93	454,78	2242,06
PVC	PVC-6	125	6,46	112,51	726,82
PVC	PVC-6	160	10,47	601,74	6300,21
PVC	PVC-6	140	8,1	36,44	295,17
PVC	PVC-6	200	15,98	255,8	4087,72
					<b>19057,05</b>

**TABLA 21. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 3.**

**5.4.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 3**

Los resultados que se obtienen de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima se resumen en la TABLA 22. Este tipo de simulación es útil para comprobar la integridad de los cálculos de los técnicos que han realizado estos proyectos que confirman que, actualmente, estas redes de riego por aspersión funcionan en la práctica sin problemas.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 3 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>									
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	51	48	48	45	49	50	44	40	375
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	42,06	41,44	40,81	39,78	39,62	41,18	41,68	43,55	330,12
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35,04	34,29	34,06	33,73	34	34,52	34,9	36,5	277,04
<b>Desnivel en el sector</b>	1	1	1	1	0,5	-2	-3,9	-6	
<b>Hectáreas</b>									9,4788
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	43,52	42,94	42,32	42,05	41,33	40,97	42,66	44,13	339,92
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,46	1,5	1,51	2,27	1,71	-0,21	0,98	0,58	9,8
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	<b>No</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	12	6	5	4	21	16	10	18	92
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	33,155	33,641	33,067	33,449	32,4	31,735	34,407	34,496	266,35
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	12	11	17	17	33	21	12	4	127
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 22.** Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 3.

**5.4.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON LA TOPOGRAFÍA REAL DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 3.**

Si a la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima se le supone una topografía real, el funcionamiento y el dimensionado económico de las tuberías se hace imprevisible debido a las variaciones de altitud dentro de la parcela, ya que cada elemento tiene su cota propia. Esta simulación es la que se ha denominado: ‘simulación hidráulica con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima’, cuyos resultados se muestran en la TABLA 23.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

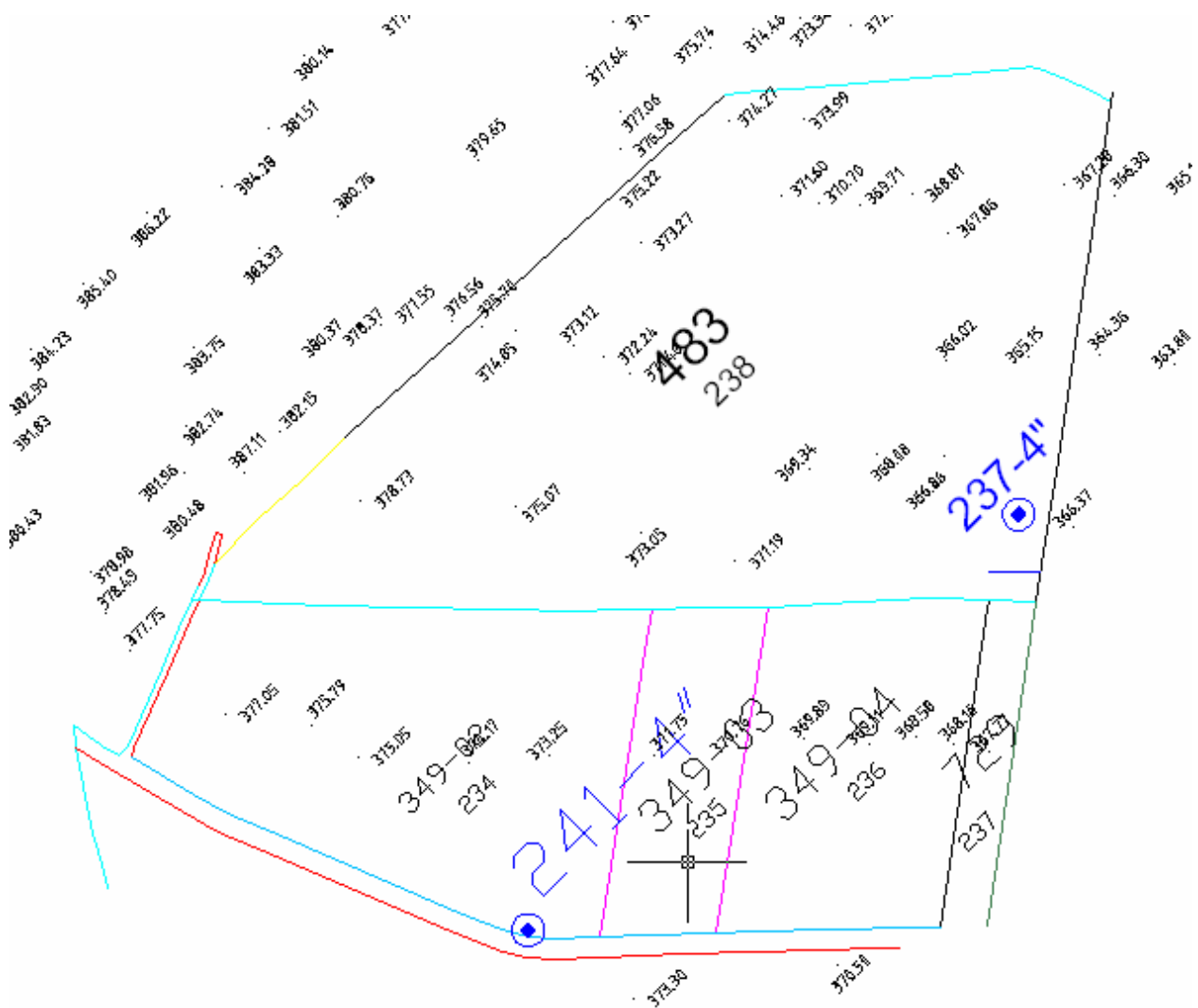
<b>PARCELA 3 SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON TOPOGRAFÍA REAL DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>									
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	51	48	48	45	49	50	44	40	375
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	42,06	41,44	40,81	39,78	39,62	41,18	41,68	43,55	329,31
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35,04	34,29	34,06	33,73	34	34,52	34,9	36,5	277,04
<b>Desnivel en el sector</b>	Según la topografía real obtenida con MDT5								
<b>Hectáreas</b>	9,4788								
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	44,669	42,741	40,55	41,07	42,188	41,277	41,374	41,117	334,986
<b>Margen de presión en los sectores</b>	2,6085	1,301	0,55	1,29	2,5684	0,097	-0,306	-2,433	5,676
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	<b>No</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	16	14	11	4	23	12	1	33	114
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	31,983	29,723	31,62	32,74	31,8	31,123	34,384	32,726	256,099
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	16	18	14	10	34	18	2	19	131
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	1	0	0	0	0	0	0	1

**TABLA 23.** Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 3.

## 5.5 CASO 4: PARCELA 4

### 5.5.1 DATOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 4

Un proyecto de modernización y transformación de regadíos adaptando como sistema de riego la aspersión se ha ejecutado en la Parcela 4 de 12,06 hectáreas de altimetría irregular cuya planta y cotas se muestran en la FIGURA 44.



**FIGURA 44. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4.**

Se trata de una parcela cuya superficie de altimetría irregular es marcada por sus cotas en la planta de la parcela. Asimismo tiene un hidrante que suministra a la red un caudal de 24 litros/segundo y cuya presión es de 55 metros columna de agua. Según el

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

proyecto ejecutado, la parcela ha quedado dividida en 9 sectores de riego organizados con un número de aspersores como se establece en la TABLA 24. Dichos aspersores instalados son de dos tipos, el de círculo completo que consume un caudal de 1790 litros/hora y el aspersor sectorial que necesita un caudal de 1158 litros/hora. La caña porta-aspersores es de 2 metros y con un marco de distribución de 18 metros x 18 metros al tresbolillo. Como consecuencia, se estima un consumo de 0,5 litros/segundo por cada aspersor. Asimismo se conoce que los turnos son individualizados por cada sector, es decir, por cada sector hay un turno.

SECTORES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	Total
NÚMERO DE ASPERSORES	53	45	46	45	47	52	48	50	49	435

**TABLA 24. Número de aspersores instalados en la parcela 4 según el método de estima..**

#### 5.5.2 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 4.

Los resultados económicos y técnicos que han proporcionado los técnicos de las empresas de regadío de esta Parcela 4 se resumen en la FIGURA 45 y en la TABLA 25 y en la TABLA 26. Se ha pormenorizado paso a paso el cálculo de cada uno de sus sectores en el ANEXO I.

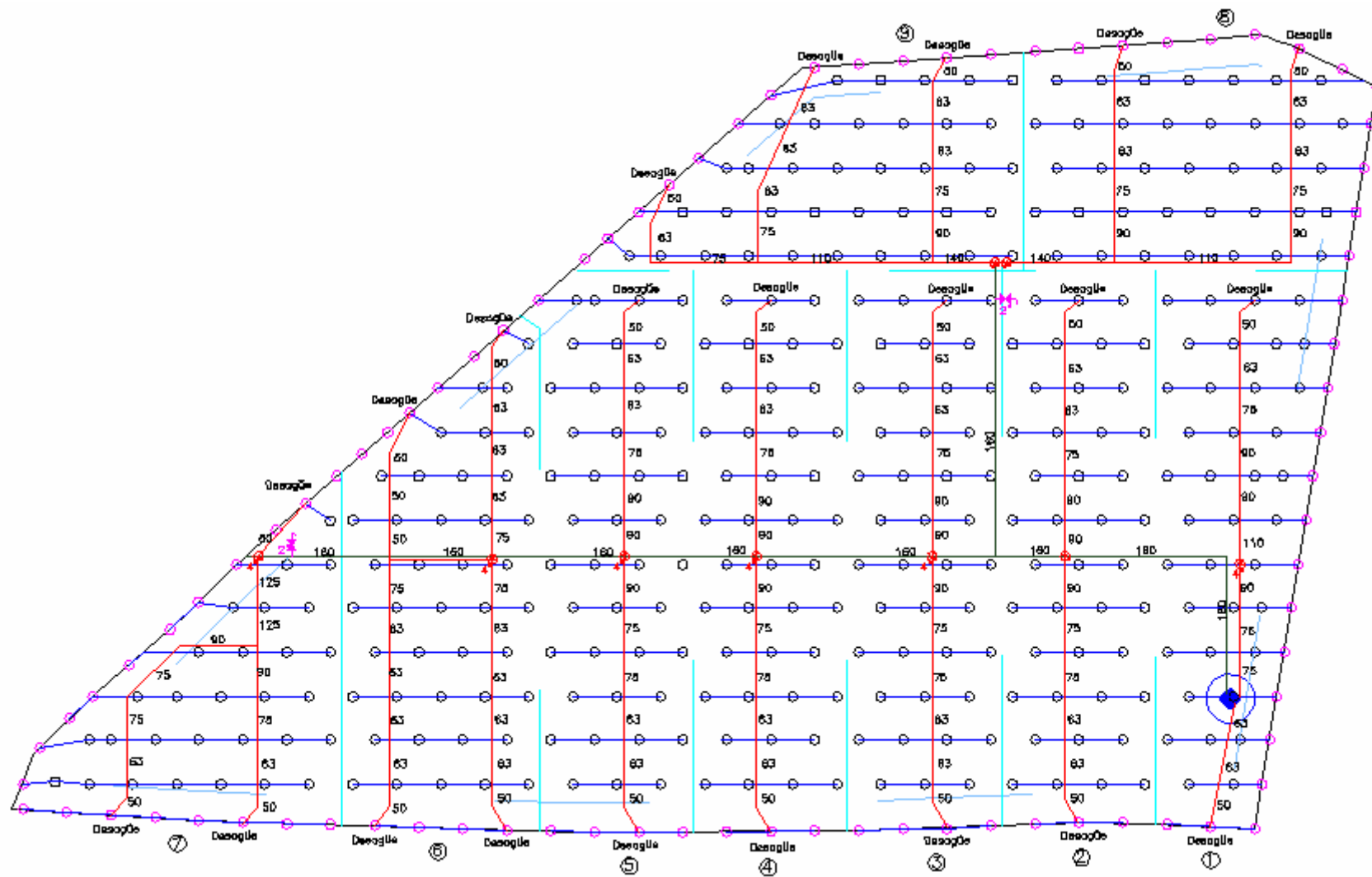


FIGURA 45. Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la parcela 4 calculado con el método de estima.



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>										
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	53	45	46	45	47	52	48	50	49	435
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	52,98	50,94	48,87	44,89	43,83	40,15	37,58	46,2	39,57	405,01
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	45,21	43,56	40,89	37,5	36,16	33,4	28	39,16	34,52	338,4
<b>Desnivel cabeceras</b>	0	2	3	7	7	9	13	3	9	
<b>Hectáreas</b>										12,06

**TABLA 25. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 4.**

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	5850	2574
PVC	PVC-6	50	1,51	498	751,98
PVC	PVC-6	63	2,24	768	1720,32
PVC	PVC-6	75	3,1	486	1506,6
PVC	PVC-6	90	4,37	378	1651,86
PVC	PVC-6	110	4,93	162	798,66
PVC	PVC-6	125	6,46	90	581,4
PVC	PVC-6	140	8,1	72	583,2
PVC	PVC-6	160	10,47	585	6124,95
					<b>16292,97</b>

**TABLA 26. Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 4.**

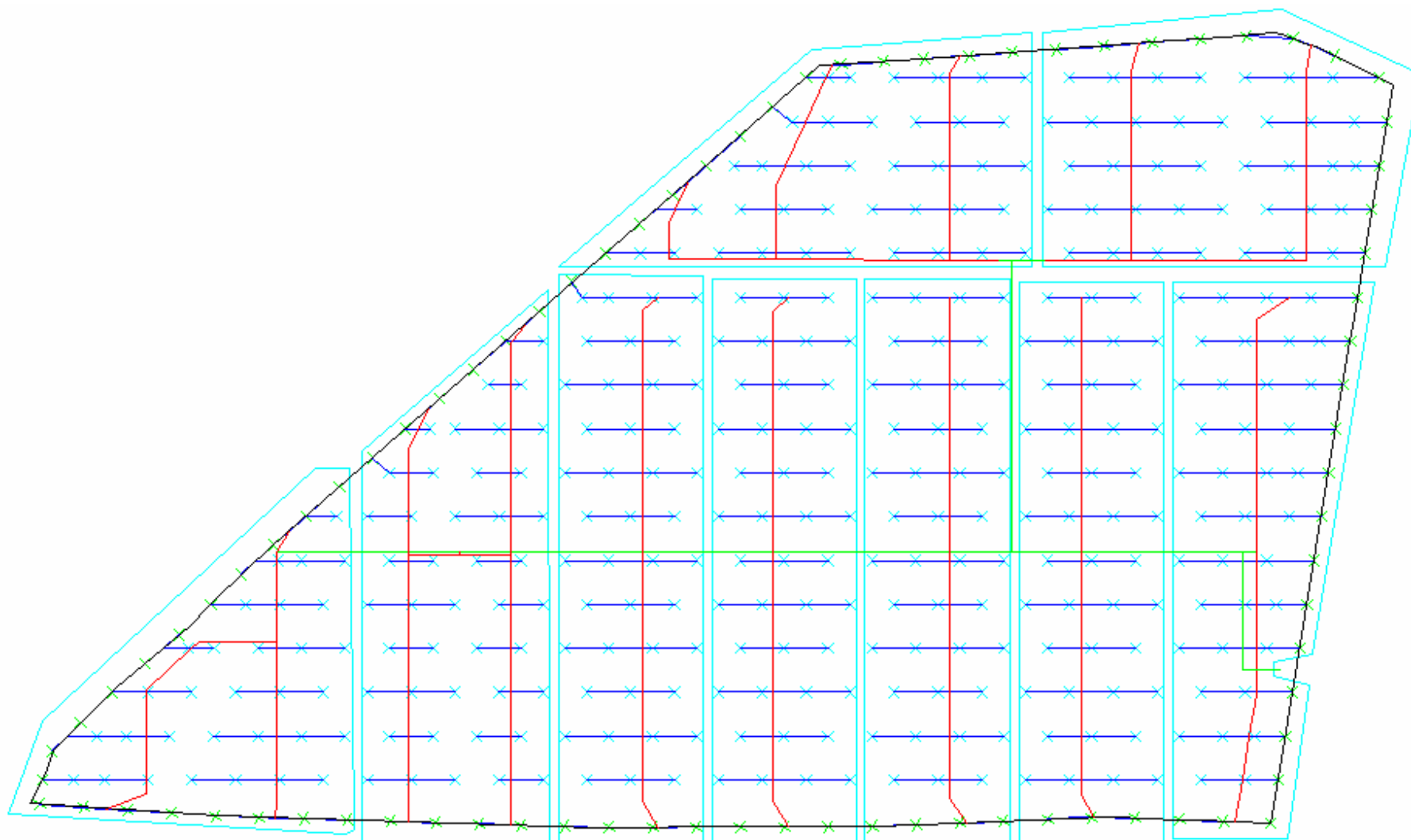
### 5.5.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR DE LA PARCELA 4.

La distribución de aspersores de la Parcela 4 en formato AutoCAD queda como muestra la FIGURA 46 utilizando la herramienta GESTAR.

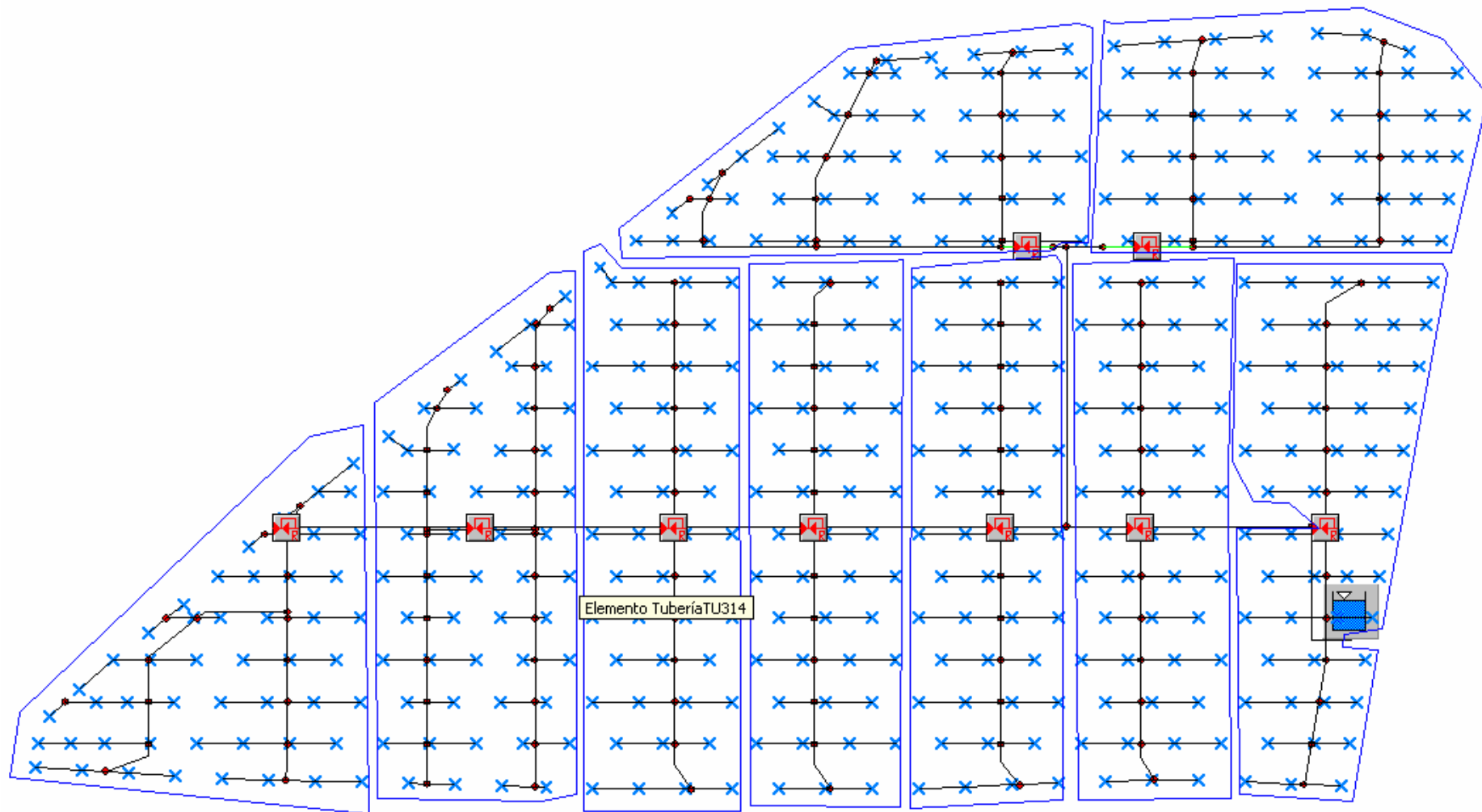
El diseño de la parcela en formato GESTAR, tras la importación de la parcela y la finalización de los cálculos de dimensionado, se puede observar en la FIGURA 47.

El dimensionado de sectores con GESTAR ofrece archivos en formato “.pdf” con los resultados de cada sector de la parcela que viene expuesto en el ANEXO II.

Para conseguir el resultado final tanto económico como técnico, la parcela ha sido retocada desde el dimensionado inicial modificando los diámetros para, sin perder calidad técnica, obtener de un buen resultado económico. Todos estos resultados se muestran en la TABLA 27 y la TABLA 28.



**FIGURA 46. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR.**



**FIGURA 47.** Imagen extraída de GESTAR con la planta de la parcela 4.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO GESTAR</b>										
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	53	45	46	45	47	52	50	50	50	438
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	52,98	50,94	48,87	44,89	43,83	40,15	37,58	46,2	39,57	405,01
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	35	35	35	35	33,4	28	35	33,86	305,26
<b>Desnivel en el sector</b>	0	2	3	7	7	9	13	3	9	
<b>Hectáreas</b>										12,06
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	54,08	51,76	50,26	45,85	45,19	42,2	38,08	47,68	42,32	417,42
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,1	0,82	1,39	0,96	1,36	2,05	0,5	1,48	2,75	12,41
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	39,861	40,68	36,984	35,606	35,213	33,534	29,425	35,093	33,99	320,386
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	0	0	0	0	28	49	0	34	111
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2

**TABLA 27. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 4.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO GESTAR</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	5386,78	2370,18
PVC	PVC-6	63	2,24	593,67	1329,81
PVC	PVC-6	75	3,1	511,31	1585,06
PVC	PVC-6	90	4,37	394,42	1723,61
PVC	PVC-6	50	1,51	472,78	713,9
PVC	PVC-6	125	6,46	146,58	946,93
PVC	PVC-6	110	4,93	228,86	1128,3
PVC	PVC-6	140	8,1	145,21	1176,21
PE	PEAD-8	40	0,7	18,57	13
PVC	PVC-6	160	10,47	465,63	4875,19
					<b>15862,19</b>

**TABLA 28. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 4.**

Los resultados totales del dimensionado GESTAR, vienen detallados en el ANEXO II, con los costes por tramo desglosados en el cuadro de mediciones.

#### 5.5.4 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL DE LA PARCELA 4.

En la Parcela 4 se ha dispuesto de los puntos de nivel en la planta teniendo así la topografía real en el programa AutoCad, por lo cual se puede hacer uso de las aplicaciones de elevación del terreno para conocer la topografía real de la parcela.

El proceso de elevación de entidades para dar cota a todas las líneas, polilíneas y puntos que constituyen la cobertura total de riego por aspersión consiguiendo situar cada nodo y elemento con su altimetría exacta. Este proceso se detalla en el manual de usuario de Diseño en Parcela recogido en el ANEXO III. La distribución de la red con elevación de entidades de la Parcela 4 en formato AutoCad queda como muestra la FIGURA 48 y los datos se pueden observar en la TABLA 29 y TABLA 30.

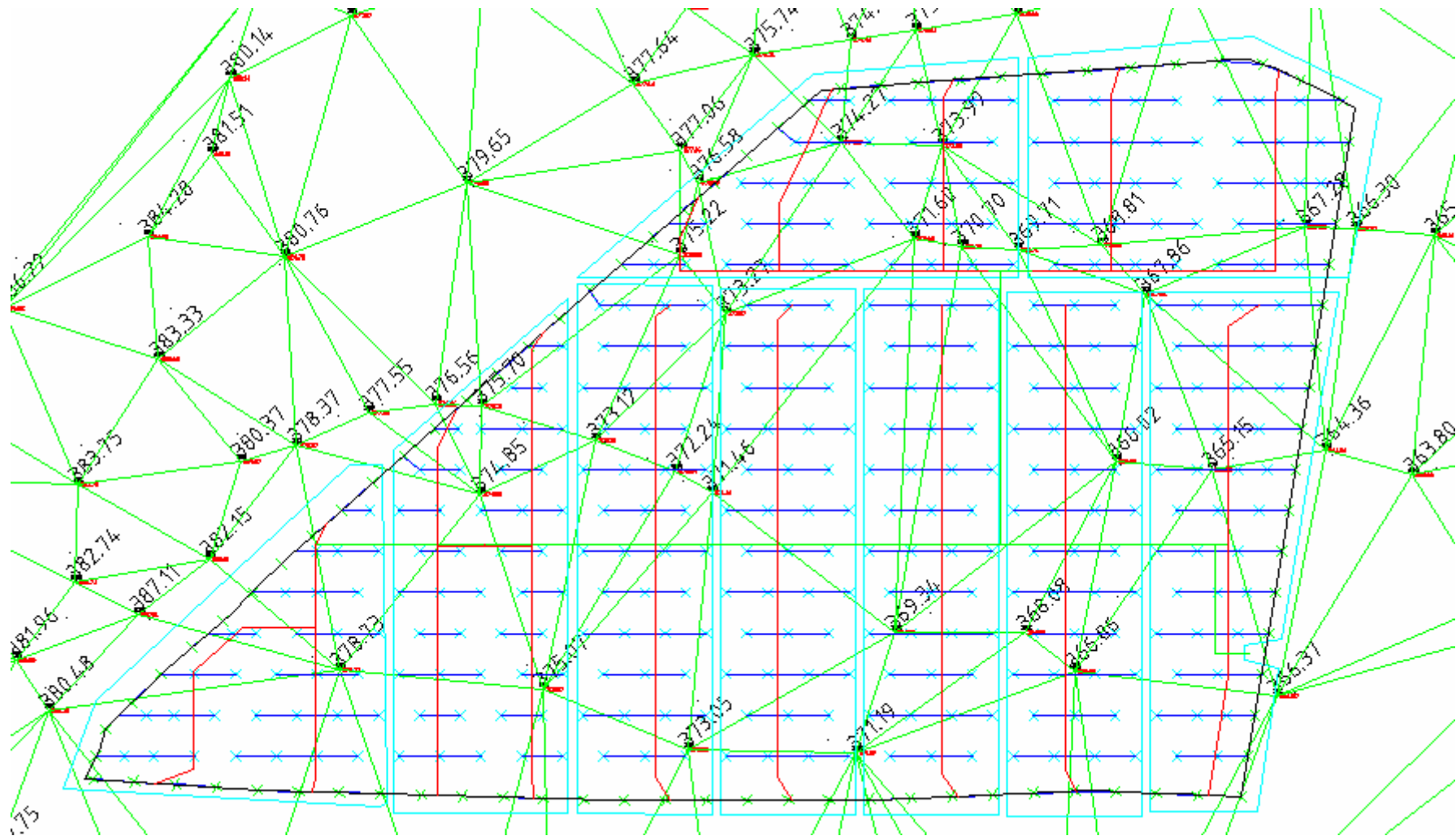


FIGURA 48. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la parcela 4 con la distribución de aspersores y la elevación diseñada con GESTAR

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL</b>											
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>GENERAL</b>	
<b>Número de aspersores</b>	53	45	46	45	47	52	50	50	<b>49</b>	437	
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	52,98	50,94	48,87	44,89	43,83	40,15	37,58	46,2	39,57	405,01	
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	35	35	35	32,2	33,4	28	35	29,7	298,3	
<b>Desnivel en el sector</b>	Según la elevación real del terreno en MDT5										
<b>Hectáreas</b>											12,06
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	54,55	54,88	50,47	48,36	45,75	41,58	37,62	47,49	47,89	428,59	
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,57	3,94	1,6	3,47	1,92	1,43	0,04	1,29	8,32	23,58	
<b>¿Llega la presión?</b>											
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	4	5	
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	38,081	40,091	35,305	35,437	32,692	33,34	28,54	35,008	29,26	307,754	
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	0	0	0	5	30	48	0	46	129	
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	5	0	7	12	

**TABLA 29. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 4.**



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 DIMENSIONADO GESTAR CON TOPOGRAFÍA REAL</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	5362,7	2359,59
PVC	PVC-6	63	2,24	540,26	1210,18
PVC	PVC-6	75	3,1	488,76	1515,15
PVC	PVC-6	90	4,37	365,85	1598,75
PVC	PVC-6	50	1,51	434,5	656,09
PVC	PVC-6	125	6,46	160,08	1034,12
PVC	PVC-6	110	4,93	245,55	1210,55
PVC	PVC-6	160	10,47	310,75	3253,6
PVC	PVC-6	140	8,1	388,45	3146,47
PE	PEAD-8	40	0,7	36,88	25,82
					<b>16010,32</b>

**TABLA 30. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR con topografía real de la parcela 4.**

#### 5.5.5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 4.

La simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima permite comprobar el funcionamiento de la parcela con la herramienta de cálculo GESTAR. Los resultados de esta simulación se resumen en la TABLA 31.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>										
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	53	45	46	45	47	52	48	50	49	435
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	52,98	50,94	48,87	44,89	43,83	40,15	37,58	46,2	39,57	405,01
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	45,21	43,56	40,89	37,5	36,16	33,4	28	39,16	33,86	337,74
<b>Desnivel en el sector</b>	0	2	3	7	7	9	13	3	9	
<b>Hectáreas</b>										12,06
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	54,07	51,75	50,23	45,82	45,25	42,2	38,38	48,86	43,48	420,04
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,09	0,81	1,36	0,93	1,42	2,05	0,8	2,66	3,91	15,03
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	13	15	8	2	7	1	1	27	15	89
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	40,561	41,96	38,216	37,242	32,001	33,363	27,816	36,76	31,655	319,574
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	0	0	0	5	27	48	0	30	110
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7

**TABLA 31. Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 4.**

**5.5.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON TOPOGRAFÍA REAL DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 4.**

Estas redes han sido instaladas en proyectos reales de modernización de regadíos y se supone que trabajan sin problemas. Aún así el método de cálculo de estima es incierto y no permite simulaciones que comprueben la integridad del funcionamiento de las mismas. A estas simulaciones se les ha añadido la topografía real del terreno para conocer, el poco predecible resultado de las presiones en cada punto debido a una conformación irregular.

Los resultados de la simulación del dimensionado de estima con topografía real se resumen en la TABLA 32.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 4 SIMULACIÓN HIDRÁULICA CON LA TOPOGRAFÍA REAL DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>										
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	53	45	46	45	47	52	48	50	49	435
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	52,98	50,94	48,87	44,89	43,83	40,15	37,58	46,2	39,57	405,01
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	45,21	43,56	40,89	37,5	36,16	33,4	28	39,16	33,86	337,74
<b>Desnivel en el sector</b>	Según la elevación real del terreno en MDT5									
<b>Hectáreas</b>	12,06									
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	54,704	52,86	50,45	48,35	45,825	42,316	39,084	48,702	48,916	431,2074
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,724	1,92	1,58	3,46	1,995	2,1664	1,504	2,502	9,346	26,1974
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	<b>Si</b>
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	22	16	16	15	15	16	5	19	43	167
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	38,773	41,615	36,43	35,787	29,136	31,713	27,034	34,374	27,143	302,005
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal (35m)</b>	0	0	0	0	7	28	48	1	47	131
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	2	0	11	0	19	32

**TABLA 32. Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica con la topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 4.**



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

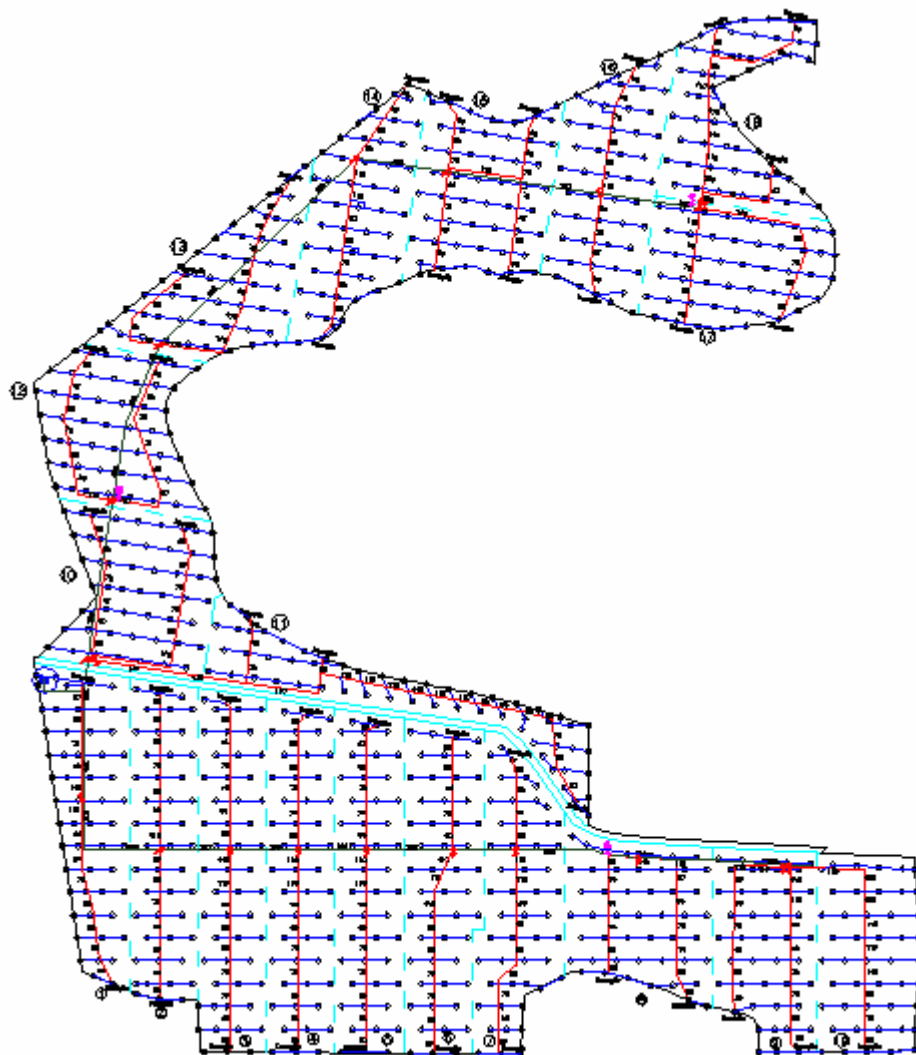
riego, con un número de aspersores por sector establecido por la TABLA 33. Estos aspersores han sido seleccionados de dos tipos, los de círculo completo que aportan 1790 litros/hora, y los tipos de aspersor sectorial que suministran 1158 litros/hora añadida una caña porta-aspersor de una altura de 2 metros situados con un marco de distribución de 18 metros x 18 metros al tresbolillo. Esto permite una estimación de consumo de 0,5 litros/segundo por cada aspersor.

SECTORES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
NÚMERO DE ASPERSORES	54	46	52	48	47	50	50	48	43	52	56	52	50	50	52	51	48	53	46

**TABLA 33. Número de aspersores instalados en la parcela 5 según el método de estima.**

## 5.6.2 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 5.

Los técnicos de las empresas de regadío han proporcionado los resultados económicos y técnicos para la Parcela 5 que se muestran en la FIGURA 50 y en la TABLA 34 y la TABLA 35. Para un análisis minucioso se recomienda observar los datos y resultados generales de partida que se muestran en el ANEXO I. En el caso de esta parcela de tamaño relativamente importante, los turnos de riego ya no son individualizados por sectores y cabe destacar que con los datos ofrecidos por las empresas de regadío se desconoce su resolución.



**FIGURA 50.** Imagen extraída de AutoCad con el resultado de la Parcela 5 calculado con el método de estima.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 5 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>																				
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>S17</b>	<b>S18</b>	<b>S19</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	54	46	52	48	47	50	50	48	43	52	56	52	50	50	52	51	48	53	46	948
<b>Presión requerida a la entrada del sector</b>	47,21	46,41	46,03	45,21	42,13	41,9	40,42	39,61	38,8	46,54	42,39	46,49	44,02	43,88	40,26	38,52	42,75	42,63	38,1	813,3
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	39,87	38,87	38,21	37,57	34,49	35,34	33,82	32,44	32,56	38,72	33,89	38,22	35,87	36,56	34,53	31,89	37,95	36,89	31,25	678,94
<b>Desnivel cabeceras Hectáreas</b>	0	0,5	1,5	2	2	2	2,5	3	4	1,5	3	0	1,5	1	1	3	3	2	4,5	25,34

**TABLA 34. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado de estima de la parcela 5.**



<b>PARCELA 5 DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>						
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m) ó Unidad</b>	<b>Coste (€)</b>	
PE	PEAD-8	32	0,44	12503	5501,32	
PVC	PVC-6	50	1,51	772	1165,72	
PVC	PVC-6	63	2,24	1016	2275,84	
PVC	PVC-6	75	3,1	1010	3131	
PVC	PVC-6	90	4,37	1072	4684,64	
PVC	PVC-6	110	4,93	1174	5787,82	
PVC	PVC-6	125	6,46	156	1007,76	
PVC	PVC-6	140	8,1	130	1053	
PVC	PVC-6	200	15,98	1455	23250,9	
Collarines			14	3	42	
					<b>47900</b>	

**TABLA 35.** Tabla con los resultados económicos del dimensionado de estima de la parcela 5.

### 5.6.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONADO GESTAR DE LA PARCELA 5.

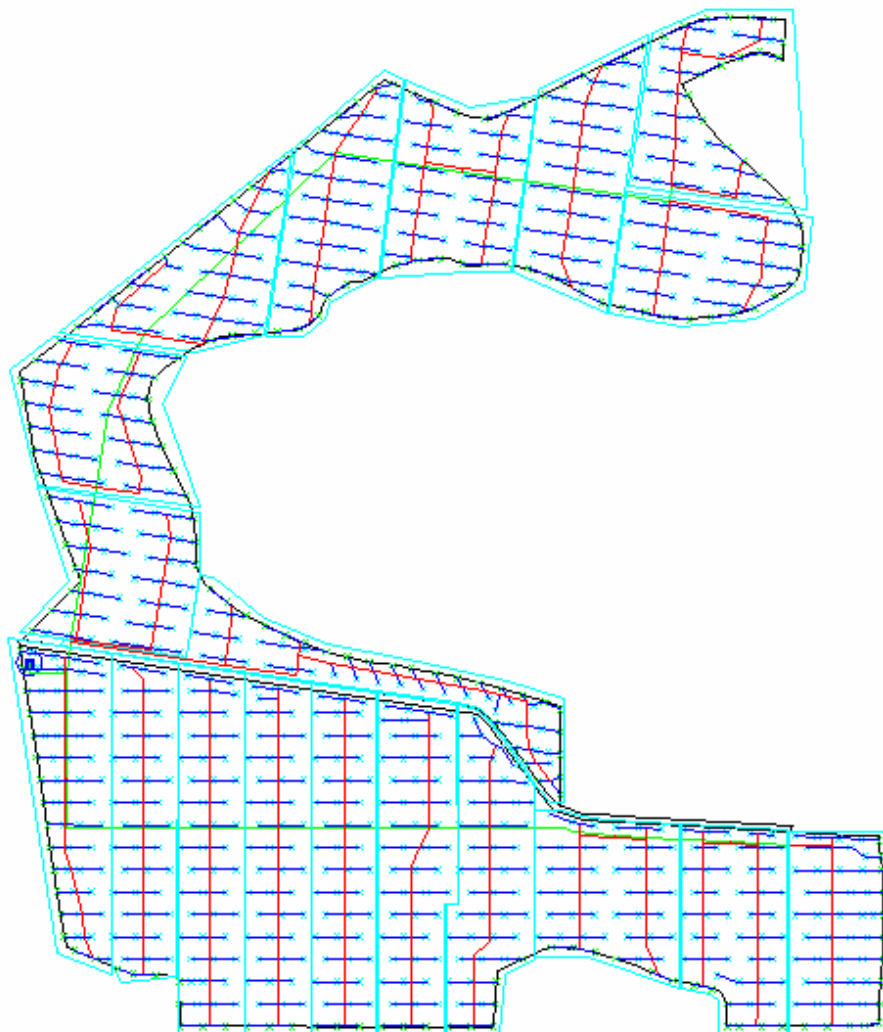
El método GESTAR descrito en la guía de trabajo del presente proyecto final de carrera, apartado 4.2 (página 34) permite la resolución de casos de riego por aspersión. En el caso de la Parcela 5, la distribución de la red, en formato AutoCad, queda como muestra la FIGURA 51.

La parcela 5 no tiene establecidos los turnos de riego sector por sector, debido a su tamaño y complejidad, existen 2 sectores por cada turno de riego exceptuando un sector que queda libre. La agrupación de turnos se ha resuelto según dotaciones, agrupándolos de manera que el caudal que pasa por las tuberías no este sobredimensionado para unos turnos y poco dimensionado para otros. Finalmente, quedan dispuestos como se establece en la TABLA 36.

TURNOS	SECTORES
1	1+2
2	9+11
3	15+19
4	8+10
5	5+12
6	4+16
7	3+17
8	6+14
9	7+13
10	18

**TABLA 36. Tabla con la disposición de turnos según sectores en la parcela 5.**

Una vez importada la parcela, calculados los dimensionados GESTAR y efectuados los retoques para favorecer el resultado económico, sin variar las cualidades técnicas de la parcela, el diseño de la parcela en formato GESTAR se expone en la FIGURA 52. Los resultados de dimensionado y económicos expresados en cifras se pueden observar en la TABLA 37 y TABLA 38.



**FIGURA 51. Imagen extraída de AutoCAD con la planta de la Parcela 5 con la distribución de aspersores diseñada con GESTAR.**



**FIGURA 52.** Imagen extraída de GESTAR con la planta de la Parcela 5.

	<b>PARCELA 5 DIMENSIONADO GESTAR</b>																			
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>S17</b>	<b>S18</b>	<b>S19</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	54	45	52	49	47	51	50	47	46	52	56	53	51	51	52	51	48	53	46	954
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	47,21	46,41	46,03	45,21	42,13	41,9	40,42	39,61	38,8	46,54	42,39	46,49	44,02	43,88	40,26	38,52	42,75	42,63	38,1	813,3
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	35	35	35	34,49	35	33,82	32,44	32,56	35	33,89	35	35	35	34,53	31,89	35	35	31,25	649,87
<b>Desnivel en el sector</b>	0	0,5	1,5	2	2	2	2,5	3	4	1,5	3	0	1,5	1	1	3	3	2	4,5	
<b>Hectáreas</b>																				25,34
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	48,78	47,42	46,31	45,56	45,59	44,22	43,47	42,33	41,18	48,24	46,75	49,27	47,36	47,15	46,82	44,2	43,26	43,71	40,43	862,0528
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,57	1,01	0,28	0,35	3,46	2,32	3,05	2,72	2,38	1,702	4,358	2,78	3,34	3,27	6,56	5,68	0,51	1,083	2,33	48,7528
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	35,94	36,07	35,35	35,1	34,51	35,07	33,96	35,19	32,8	35,03	33,9	35,1	35,12	35,16	34,56	32,15	35,89	35,06	31,17	657,111
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal</b>	0	0	0	0	4	0	10	0	33	0	11	0	0	0	8	48	0	0	43	157
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 37. Tabla con los resultados de funcionamiento del dimensionado GESTAR de la parcela 5.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 5 DIMENSIONADO GESTAR</b>					
<b>Material</b>	<b>PN</b>	<b>DN</b>	<b>Precio (€/m)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Coste (€)</b>
PE	PEAD-8	32	0,44	11599,44	5103,76
PVC	PVC-6	50	1,51	829,97	1253,25
PVC	PVC-6	110	4,93	788,39	3886,77
PVC	PVC-6	63	2,24	998,99	2237,74
PVC	PVC-6	75	3,1	1129,92	3502,76
PVC	PVC-6	90	4,37	565,45	2471,02
PVC	PVC-6	125	6,46	387,28	2501,86
PVC	PVC-6	200	15,98	683,09	10915,76
PVC	PVC-6	160	10,47	1173,5	12286,5
PVC	PVC-6	140	8,1	77,82	630,31
PE	PEAD-8	40	0,7	34,4	24,08
PVC	PVC-6	250	25,32	38,91	985,28
Collarines			14	12	168
					<b>45967,09</b>

**TABLA 38. Tabla con los resultados económicos del dimensionado GESTAR de la parcela 5.**

Los resultados totales del dimensionado GESTAR vienen detallados en el ANEXO II, con los costes por tramo desglosados en el cuadro de mediciones.

#### 5.6.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA DE LA PARCELA 5.

Los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima, que permite conocer la integridad técnica de la Parcela 5 se resumen en la TABLA 39.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

<b>PARCELA 5 SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL DISEÑO OBTENIDO CON EL DIMENSIONADO DE ESTIMA</b>																				
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>S9</b>	<b>S10</b>	<b>S11</b>	<b>S12</b>	<b>S13</b>	<b>S14</b>	<b>S15</b>	<b>S16</b>	<b>S17</b>	<b>S18</b>	<b>S19</b>	<b>GENERAL</b>
<b>Número de aspersores</b>	54	45	52	49	47	51	50	47	46	52	56	53	51	51	52	51	48	53	46	954
<b>Presión requerida en la entrada del sector</b>	47,21	46,41	46,03	45,21	42,13	41,9	40,42	39,61	38,8	46,54	42,39	46,49	44,02	43,88	40,26	38,52	42,75	42,63	38,1	813,3
<b>Presión requerida en los aspersores</b>	35	35	35	35	34,49	35	33,82	32,44	32,56	35	33,89	35	35	35	34,53	31,89	35	35	31,25	649,87
<b>Desnivel en el sector</b>	0	0,5	1,5	2	2	2	2,5	3	4	1,5	3	0	1,5	1	1	3	3	2	4,5	
<b>Hectáreas</b>																				25,34
<b>Presión simulada en la entrada del sector</b>	48,78	47,42	46,31	45,56	45,59	44,22	43,47	42,33	41,18	48,24	46,75	49,27	47,36	47,15	46,82	44,2	43,26	43,71	40,43	862,0528
<b>Margen de presión en los sectores</b>	1,57	1,01	0,28	0,35	3,46	2,32	3,05	2,72	2,38	1,702	4,358	2,78	3,34	3,27	6,56	5,68	0,51	1,083	2,33	48,7528
<b>¿Llega la presión?</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Número de aspersores con el margen de presión negativa</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<b>Presión simulada en el aspersor más desfavorable</b>	35,94	36,07	35,35	35,1	34,51	35,07	33,96	35,19	32,8	35,03	33,9	35,1	35,12	35,16	34,56	32,15	35,89	35,06	31,17	657,111
<b>Número de aspersores con presión inferior a la nominal</b>	0	0	0	0	4	0	10	0	33	0	11	0	0	0	8	48	0	0	43	157
<b>Número de aspersores con presión inferior a 30 metros</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**TABLA 39. Tabla con los resultados de funcionamiento de la simulación hidráulica del diseño obtenido con el dimensionado de estima de la parcela 5.**

## 5.7 COMPARATIVA DE RESULTADOS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS

La comparativa conjunta en este tipo de ejercicios es dificultosa y delicada. Se presentan dos metodologías diferentes de cálculo para redes de riego por aspersión: la metodología de estima empleada por las empresas de transformación de regadío mediante cálculos de tanteo con la nueva metodología automática de GESTAR creada a través del actual proyecto final de carrera.

Se han combinado todos los resultados económicos y técnicos de los casos individuales expuestos obteniendo dos tablas conjuntas (TABLA 40 y TABLA 41) con el fin de poder contrastar los métodos utilizados en el estudio. En dichas tablas se muestran los costes y diferentes parámetros de los cinco casos de estudio dividido en cuatro columnas. Estas cuatro columnas diferencian los tipos de simulaciones de dimensionados realizadas:

**DE ESTIMA →** Es el resultado obtenido a través del cálculo mediante el método de tanteo con tablas Excel. El apartado económico ha sido directamente extraído de los resultados proporcionados por las empresas de regadío, mientras que el apartado técnico ha sido obtenido de las simulaciones hidráulicas de los diseños obtenidos con los dimensionados de estima, que imitan la disposición de la red y la dimensión de las tuberías de los dimensionados de estima, en el entorno GESTAR.

**GESTAR →** Es el resultado del dimensionado y simulación con el método GESTAR. Los parámetros de cálculo utilizados han sido los requeridos por el dimensionado de estima con una revisión posterior de los resultados para ajustar algunos diámetros. Así, tanto los resultados técnicos como económicos provienen del tratamiento con GESTAR.

**GESTAR TOPOGRAFÍA REAL →** Es el resultado del dimensionado y de la simulación hidráulica con el método GESTAR con la topografía real, para las Parcelas 3 y 4 en las cuales, debido a que se ha dispuesto de los puntos de nivel, previo al



Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

dimensionado, se ha efectuado un levantamiento topográfico situando todos sus nodos y elementos en cota real.

**DE ESTIMA TOPOGRAFÍA REAL** → Es el resultado de la simulación hidráulica del diseño construido con el modelo de los resultados del método de estima e introduciendo las cotas obtenidas con un levantamiento topográfico (MDT5) para las Parcelas 3 y 4, situando todos sus nodos y elementos en cota real.

Los parámetros que se estudian en la TABLA 40 y la TABLA 41 indican características de las parcelas de manera conjunta en todos los sectores y se resumen de la siguiente manera:

- ◆ **Coste** → Es el coste económico total de la red
- ◆ **Coste por hectárea** → Es el coste económico por hectárea de la red
- ◆ **Número de aspersores** → Es el número de aspersores que se ha decidido instalar en toda la parcela.
- ◆ **Presión requerida en todos los sectores** → Es un parámetro que indica a través de la afirmación ‘Si’ y la negación ‘No’ si la presión requerida llega a la cabecera de todos los sectores simulados.
- ◆ **Número de aspersores con el margen de presión negativa** → Hay aspersores cuya presión durante la simulación no alcanzan la presión requerida en los aspersores del sector, es decir, el aspersor trabaja por debajo de las condiciones dispuestas en el proyecto. Este dato resume el número de aspersores con dificultades en alcanzar dicha presión.
- ◆ **Número de aspersores con presión inferior a la presión nominal (35 metros)** → Según el catálogo del tipo de aspersor seleccionado y utilizado en la resolución de los casos, la presión nominal del aspersor es de 35 metros. Este parámetro contabiliza el número de aspersores inferior a ese valor.
- ◆ **Número de aspersores con presión inferior a 30 metros** → Es el número de aspersores cuya presión es inferior a 30 metros columna de agua. Según los

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

técnicos de los proyectos que se analizan, un valor de presión inferior a 30 metros en los aspersores puede incurrir en defectos de regadío con el marco de distribución 18 x 18 metros establecido en todas las parcelas. Por tanto, 30 metros es el valor límite; por debajo se considera funcionamiento precario.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

	<u>DIMENSIONADO DE ESTIMA</u>		<u>DIMENSIONADO GESTAR</u>		<u>DIMENSIONADO GESTAR TOPOGRAFÍA REAL</u>	
	Costes (€)	Costes por hectárea (€/ha)	Costes (€)	Costes por hectárea (€/ha)	Costes (€)	Costes por hectárea (€/ha)
<b>PARCELA 1</b>	1912,06	1243,78	1812,27	1178,87	-	-
<b>PARCELA 2</b>	26675,77	1536,62	19954,46	1149,45	-	-
<b>PARCELA 3</b>	15864,06	1673,64	17200,14	1814,59	19057,05	2010,49
<b>PARCELA 4</b>	16292,97	1350,99	15862,19	1315,27	16010,32	1327,56
<b>PARCELA 5</b>	47900	1890,29	45967,09	1814,01	-	-

**TABLA 40. Tabla conjunta de resultados económicos de todas las parcelas.**

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

	<u>DE ESTIMA</u>	<u>GESTAR</u>	<u>GESTAR TOPOGRAFÍA REAL</u>	<u>DE ESTIMA TOPOGRAFÍA REAL</u>
<b>P1</b>	Número de aspersores	69	69	-
	Presión requerida en todos los sectores	Si	Si	-
	Número de aspersores con margen de presión negativa	4	0	-
	Número de aspersores con presión menor de la nominal (35m)	47	48	-
	Número de aspersores con presión menor de 30 metros	1	0	-
<b>P2</b>	Número de aspersores	606	608	-
	Presión requerida en todos los sectores	Si	Si	-
	Número de aspersores con margen de presión negativa	141	0	-
	Número de aspersores con presión menor de la nominal (35m)	98	98	-
	Número de aspersores con presión menor de 30 metros	0	0	-
<b>P3</b>	Número de aspersores	375	382	382
	Presión requerida en todos los sectores	No	Si	Si
	Número de aspersores con margen de presión negativa	92	2	5
	Número de aspersores con presión menor de la nominal (35m)	127	70	82
	Número de aspersores con presión menor de 30 metros	0	0	0
<b>P4</b>	Número de aspersores	435	438	438
	Presión requerida en todos los sectores	Si	Si	Si
	Número de aspersores con margen de presión negativa	89	0	5
	Número de aspersores con presión menor de la nominal (35m)	110	111	129
	Número de aspersores con presión menor de 30 metros	7	2	12
<b>P5</b>	Número de aspersores	948	954	-
	Presión requerida en todos los sectores	Si	Si	-
	Número de aspersores con margen de presión negativa	181	1	-
	Número de aspersores con presión menor de la nominal (35m)	216	157	-
	Número de aspersores con presión menor de 30 metros	21	0	-

**TABLA 41. Tabla conjunta de resultados de las funcionalidades de todas las parcelas.**

### 5.7.1 ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS UTILIZADAS

En primer lugar, se procede a un simple análisis primordial de las metodologías utilizadas en el dimensionado de las tuberías de redes de riego en parcela con coberturas totales por aspersión.

Partiendo del análisis de la metodología práctica básica de las empresas dedicadas a las transformaciones de riegos, se observa que la adaptación de estas metodologías, incurren en posibles sobredimensionados, ya que sistematiza un cálculo poco preciso. Además al no disponer de algoritmos de dimensionado, estos proyectos conllevan una labor de tanteo tediosa y larga, pese a que su puesta en marcha en diversas obras ha sido correcta y bienvenida para la automatización de regadíos y para el ahorro del agua. El sistema de estima con tablas de cálculo adolece de una carencia de automatización de cálculos que hace del método de las tablas Excel, pesado y lento por el elevado número de sectores y sub-sectores que suelen existir en este tipo de parcelas. En este aspecto, el módulo de cálculo de GESTAR es más exacto, eficiente y robusto, pudiéndose exigir condiciones de presión en aspersores y en la cabecera gracias al algoritmo de dimensionado y facilitando la tarea del proyectista. Por otra parte, el método de estima no dispone de herramientas para la predicción de disfunciones de las redes de riego, y por tanto no permite conocer, hasta que no se ejecuta sobre el terreno, el funcionamiento de los parámetros calculados, siendo, en general, los cálculos de tuberías efectuados de una manera u otra por motivos de pérdidas de carga y económicos, sin además poder llevar a cabo ninguna técnica de optimización en este campo, sino el simple tanteo y posterior reducción de diámetros. Si bien, la automatización de los cálculos, el algoritmo de dimensionado y la simulación son los factores más ventajosos del sistema GESTAR, no sólo se observa una mejoría en estos apartados, sino que en todo el proceso, existen ligeras ventajas como se expone a continuación para documentar estas afirmaciones:

**Automatización del trazado de la red** → El método de estima de las empresas de riego sigue un trazado de la red lento y metódico, en el cual todos los elementos son situados en parcela, uno por uno, dentro de una aplicación informática de dibujo

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

seleccionada por estas compañías, en este caso AutoCad. En el equipo GESTAR, desde un primer momento se ha trabajado en la conexión del programa GESTAR con AutoCad para que el delineado de la red, sea trazado en un programa de dibujo profesional y altamente sofisticado como es AutoCad. Este trabajo unido a un proceso de automatización del trazado de la red, permite al usuario elegir unos parámetros de marco de riego, tipo de distribución, radio de los aspersores y tipo de contorno, tras lo cual se genera de manera automática una malla de tuberías terciarias y aspersores que servirá como cobertura de riego. Posteriormente y atendiendo a las características que conformarán la red, el resto de componentes (tuberías primarias, tuberías secundarias y sectores) es delineado y trazado de forma precisa en AutoCad.

**Posibilidad de un levantamiento topográfico exacto** → El modelo básico de cálculo de las sociedades de regadío intuía con los puntos o curvas de nivel, el desnivel desde el hidrante de cabecera hasta el aspersor más desfavorable, con un método escueto, que trasladaba dicho desnivel a modo de pérdidas de carga al cálculo mediante las tablas Excel. Los avances actuales de GESTAR y de la misma herramienta AutoCad con la incorporación opcional del programa topográfico MDT5, han permitido poder ejecutar una elevación de entidades de dibujo con la referencia de unas curvas o puntos de nivel. Es decir, con la topografía real del terreno sobre el mapa, el programa sitúa todas las tuberías, aspersores y puntos de unión ó cortes en la cota que realmente tienen, alcanzado una rigurosidad en el cálculo de una mayor envergadura, puesto que se asemeja mucho más a la realidad con diferentes cotas en la parcela, y no sólo con una cota única a nivel de tanteo.

**Importación de la red** → Con el fin de trasladar la red, con o sin altimetría irregular, al programa de cálculo GESTAR, existe un proceso de importación desde AutoCad hasta GESTAR, en el cual su principal ventaja es la introducción del tipo de aspersor que va a disponer la parcela, sin embargo, también es posible cambiarlos una vez importada la misma.

**Algoritmo de cálculo** → El dimensionado de estima con hojas de cálculo, establece un tanteo de diámetros atendiendo a criterios de caudal en cabecera y de velocidad en las tuberías y aplicando la fórmula de pérdidas de carga de Darcy-Weisbach, para todos los tramos. Así, se realiza un cálculo de las pérdidas de carga en

la caña portaaspersor, en las tuberías terciarias, en las tuberías secundarias, en las tuberías primarias, en la válvula y añadiendo el supuesto desnivel. Una vez sumadas todas las pérdidas de carga, se le restan a la presión total en el hidrante obteniendo que presión, supuestamente, llegará al aspersor. Por el contrario, GESTAR utiliza un algoritmo de dimensionado más preciso, conocido como Método de la Serie Económica Mejorado (González Cebollada et al, 2003), y posteriormente adaptado para la optimización de redes de riego presurizadas ramificadas considerando el funcionamiento a turnos de sectores de riego dentro de una parcela (García Asín et al, 2011). Este método se ha explicado más detalladamente en el apartado 2.2 (página 24) del actual proyecto fin de carrera y consta de dos procesos diferenciados: el cálculo de las primarias y el de las tuberías de dentro de los sectores. De manera muy básica, en primer lugar se dimensionan los sectores estableciendo una serie de parámetros como el tipo de aspersor, la presión en dichos aspersores, la presión en la entrada de los hidrantes de cada sector, el tipo de tuberías a instalar, para efectuar el cálculo de una multitud de dimensionados según las características que se quieran fijar. En segundo lugar, el dimensionado de la tubería primaria consiste en establecer unos parámetros de definición de turnos. Así pues, se dimensiona a turnos como redes independientes con caudal de diseño igual a las dotaciones instaladas aguas abajo, para posteriormente, tomar como turno crítico, el turno cuya senda crítica tenga menor pendiente. Esta senda crítica de menor pendiente de todos los turnos, pasa a considerarse la senda prioritaria. Tras esto, para esta senda prioritaria, se toma como primera solución los resultados del dimensionado del turno crítico quedando el resto de conducciones sin asignar los diámetros, entrando como incógnitas en las siguientes optimizaciones turno a turno, puesto que sucesivamente, se dimensionan de nuevo todos los turnos, forzando los diámetros de los tramos en común y ajustando todos los diámetros hasta que todas las conducciones han sido fijadas. Como se puede observar, ‘a priori’, la integridad y rigor de este método parece mayor. Finalmente, existe un cuadro de mediciones, que permite conocer los resultados económicos desglosados por tuberías, sectores, turnos, visualizando los metros y precios finales utilizados en el total de la red, en cada uno de los diámetros ó en cada uno de los timbrajes instalados.

**Análisis hidráulico** → Una vez finalizados los cálculos, en el método de estima no existe la posibilidad de comprobar el funcionamiento y la funcionalidad de la red hasta que no está instalada en campo. Sin embargo, GESTAR permite a través de los

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

resultados, simular las redes con el fin de conocer la magnitud de todos sus parámetros: presiones, velocidades, diámetros, caudales, precios... en todos los puntos de la red. Asimismo, un análisis de las redes permite redefinir algunos de los dimensionados, de manera que si se quieren modificar las exigencias se puede recalcular de manera rápida y precisa, cuantas veces el usuario desee. Otras de las novedades que aporta este análisis es un anillo visual con el alcance, en metros, de todos los aspersores para conocer donde se ha alcanzado a la presión requerida en estos dispositivos y donde puede haber deficiencias para subsanarlas (esto también se puede realizar activando las ‘alarmas’).

**Exportación de la red** → La gran mayoría de los proyectos se presenta en formatos con aplicaciones de dibujo, como AutoCad, en el caso, de los métodos de estima que utilizan las empresas de riegos, deben dibujar todas las tuberías y etiquetarlas desde el resultado de las tablas Excel, de modo que en cada tubería salga su dimensión. En este caso, GESTAR, permite exportar el resultado a la aplicación informática de dibujo técnico AutoCad, pudiéndose trasladar de manera automática los parámetros más importantes que se deseen visualizar en el entorno AutoCad como presiones, caudales, diámetros, entre otros, quedando como resultado directo un proyecto comprensible.

#### 5.7.2 INFLUENCIA DE LOS DIMENSIONADOS SOBRE LOS COSTES DE LAS REDES.

En la TABLA 40, que agrupa los resultados económicos de las parcelas transformadas, se puede observar que un 4 de las 5 redes tiene un resultado más económico con el método GESTAR que con el método de estima de las empresas de regadío.

No se ha podido constatar un ahorro por hectárea sistemático, sino que este no es predecible con el número de casos calculados. Se debe destacar que los dimensionados de GESTAR están generados imitando la disposición de tuberías de las redes ejecutadas con el método de estima, y por ello, existen ligeras variaciones en la longitud de las tuberías, pero no son significativas. Así, con el cálculo de los Euros por hectárea se ha



podido constatar que una media de 40€/ha se debe a este factor, mientras que una diferencia de 109 €/ha de media se debe a la eficacia del algoritmo de cálculo. En este último aspecto, gracias a las pruebas realizadas, se sabe que la optimización de los costes es directamente proporcional con el ajuste técnico de las parcelas. Es decir, si se baja la presión en algunos aspersores, el resultado económico es inferior y por tanto más favorable. Este es el caso de la Parcela 3, en cuyo análisis técnico se ha constatado que la presión requerida no llega a la entrada de los sectores produciendo un riego con funcionamiento precario, según lo establecido. Con el dimensionado GESTAR en esa Parcela 3, si que se llega a las presiones requeridas y por ello, es necesario un diámetro general de tubería mayor en la parte de la cabecera que encarece la tubería 1300 € en total.

Teniendo en cuenta el dato de 109€/ha de ahorro gracias al dimensionado GESTAR, se ha podido ahorrar en las parcelas con resultado positivo y gracias a la robustez de la herramienta una media de 6125 € netos, mientras que el total de ahorro de todas las parcelas debido a la diferencia de longitudes y el algoritmo de dimensionado es de 7848,71 €

En el caso de las dos parcelas con topografía real, se constata que al disponer de una topografía real del terreno, es necesario en varios grupos de sectores con cota ligeramente mayor disponer de requerimientos más exigentes de presión, y por tanto, de mayores diámetros en la instalación de las tuberías con un aumento, con respecto del dimensionado GESTAR normal, de 2000 € netos. En este caso, se debe destacar que la Parcela 3 tiene unas irregularidades de terreno mayores y por tanto, el coste de la instalación es mayor, mientras que el relieve de la Parcela 4 es más suave y pese a que hay un aumento de precio, este es muy ligero. Este aumento de precio es indispensable para un buen funcionamiento de la red, porque como se ve en el siguiente apartado 5.7.3, el tener en cuenta la topografía real se incurre en funcionamientos de la instalación impredecibles. Estas irregularidades de funcionamiento, que GESTAR elimina con el dimensionado mediante el levantamiento de entidades, se acentúan con parcelas con relieves más complejos.

### 5.7.3 INFLUENCIA DE LOS DIMENSIONADOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES.

En la tabla 41, se muestran los parámetros de funcionamiento de las redes. Aquí se han combinado los resultados técnicos de los cuatro tipos de simulación hidráulica.

En cuanto al número de aspersores, en todos los dimensionados con el método GESTAR se han instalado igual o mayor número de aspersores, que aunque no es un factor clave para las redes, si que demuestra que las condiciones de GESTAR han sido como mínimo igual de exigentes en el riego. En total se han instalado 18 aspersores más que en los dimensionados de estima.

Para una misma parcela, en los cuatro tipos de simulación, se ha exigido la misma presión requerida en la entrada de los sectores. Examinando la presión que finalmente en las simulaciones obtenemos en la entrada de los sectores, se puede afirmar que en el tipo de dimensionado de estima y en el tipo de dimensionado de estima con la topografía real, una de las parcelas, en concreto la Parcela 3, de menor precio, no dispone de la presión requerida en alguno de los sectores de riego y por tanto, el total del sector problemático es deficiente en presiones. En el resto de las parcelas, todas las simulaciones hidráulicas indican que se alcanzan las presiones requeridas en los sectores.

Según el método de cálculo de estima, la presión teórica que le llega al aspersor se obtiene de contabilizar las pérdidas de carga hasta el aspersor más desfavorable. Durante las simulaciones, se ha analizado si estos valores que se han calculado son correctos, y por tanto, los aspersores tienen las presiones requeridas en proyecto. Los aspersores que no llegan a la presión requerida, se han marcado como que tienen el margen de presión negativo y se han contabilizado. Este parámetro es el que muestra en mayor medida la rigurosidad del cálculo, y no la calidad del riego, y por tanto se va a describir parcela por parcela:

- ◆ Parcela 1 → En la simulación del dimensionado GESTAR no hay ningún aspersor por debajo de la presión requerida mientras en la simulación del

dimensionado de estima hay 4 aspersores por debajo de la presión requerida de los 69 aspersores instalados. Concretamente, el caso más desfavorable se produce en la simulación hidráulica obtenida con el dimensionado de estima: en el sector 2, se esperaba una presión mínima en el aspersor de de 32,43 metros y se ha obtenido un aspersor desfavorable con 30,16 metros; si bien, una diferencia de 2 metros no se considera significativa.

- ◆ Parcela 2 → En la simulación del dimensionado GESTAR no hay ningún aspersor por debajo de la presión requerida mientras que en la simulación del diseño obtenida con el dimensionado de estima hay 141 aspersores por debajo de la presión requerida. Esto supone un 23% de los aspersores con las presiones menores a la indicada. En concreto, en la simulación del dimensionado de estima, en el sector 1, el aspersor más desfavorable ha tenido 6,5 metros menos de lo que se requería.
- ◆ Parcela 3 → En la simulación del dimensionado GESTAR hay dos aspersores por debajo de la presión requerida, debido al ajuste de diámetros para abaratar los costes. Sin embargo, en la simulación del dimensionado de estima hay 92 aspersores por debajo de la presión requerida, que comparado con el total hacen un 24,5% de los aspersores sin llegar a la presión. Si al dimensionado GESTAR se le añade la topografía real, un 1,3% de los aspersores no dispone de lo exigido; pero si se le añade la topografía real al dimensionado de estima obtenemos que el 30% de los aspersores no cumplen con los requerimientos. Una cifra de 4,57 metros de error en el cálculo se obtiene en la simulación del dimensionado de estima con topografía real, en el sector 2, pues se asevera en el aspersor más desfavorable una presión de 34,29 metros y tan sólo se llega en la simulación a 29,72 metros,
- ◆ Parcela 4 → En la simulación del dimensionado GESTAR no hay ningún aspersor por debajo de la presión requerida mientras que en la simulación del diseño obtenida con el dimensionado de estima hay 89 aspersores por debajo de la presión requerida, es decir un 20% de los aspersores no tienen la presión requerida. El dimensionado GESTAR con topografía real exige más a algunos

de sus aspersores, por lo cual 5 aspersores se quedan sin la presión requerida, pero esa exigencia mayor aumenta en la simulación del diseño obtenida con el dimensionado de estima, con un 38% de los aspersores con presiones menores a la establecida por el cálculo. Es destacable el caso de la simulación con la topografía real del diseño obtenida del dimensionado de estima, en el cual en el sector 5 de la parcela, el método calcula una presión mínima en el aspersor de 36,16 metros, obteniéndose en la simulación 29,136 metros en uno de los aspersores, que hacen un total de 7 metros menos de presión de lo previsto en el aspersor más desfavorable.

- ◆ Parcela 5 → El abaratamiento de costes en el dimensionado GESTAR ha hecho que 1 aspersor este por debajo de la presión requerida, mientras en la simulación del diseño obtenido con el dimensionado de estima hay 181 aspersores por debajo que forman un total del 19% de los aspersores con presiones deficientes. Concretamente, el caso más desfavorable se produce en la simulación del dimensionado de estima, en el sector 11 se esperaba una presión mínima en el aspersor de 33,89 metros y se ha obtenido un aspersor con 27,78 metros, dando lugar a una diferencia de presión de 6 metros.

En resumen, con el dimensionado calculado con GESTAR, no hay ningún aspersor que baje del parámetro que se introduce como dato en la presión requerida de aspersores. Por el contrario, los cálculos del dimensionado de estima de las empresas de riego no son precisos, pues muestran que 1 de cada 5 aspersores tienen una presión menor a la requerida. Además, se constata que hay unas desviaciones máximas entre las presiones requeridas y las existentes de entre 2 y 7 metros, por lo cual la uniformidad en el riego se prevé baja.

El método utilizado por las empresas de regadío asigna como valor nominal de presión en los aspersores 35 metros y, asimismo, constata que unos valores de presión en aspersor menores de 30 metros conllevan a un funcionamiento precario en el riego en parcela. Mediante las simulaciones, se ha analizado y contabilizado el número de aspersores por debajo de la presión nominal de 35 metros y el número de aspersores por debajo de 30 metros que incurrirá en una mala uniformidad de regadío, si existe mucha

variación de presiones. Este parámetro es el que muestra en mayor medida la calidad del riego:

- ◆ Parcela 1 → No existen apenas diferencias porque los valores de presión requeridos son en general menores de 35 y por tanto, los dos dimensionados muestran un número de aspersores, que no llegan a 30 ó 35 metros, muy similares.
- ◆ Parcela 2 → No existen apenas diferencias. No existe ningún aspersor con menos de 30 metros y el número de aspersores con una presión inferior a la nominal es el mismo, 98 aspersores.
- ◆ Parcela 3 → En esta red si que existen diferencias según el método utilizado. En el dimensionado GESTAR y en el dimensionado GESTAR con topografía real hay alrededor de un 20% de los aspersores con una presión inferior a la nominal. El número de aspersores con una presión inferior a 35 metros asciende, para las simulaciones hidráulicas del diseño obtenido con los dimensionados de estima y para las simulaciones con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima, hasta un 33,5%. En cuanto a los aspersores con deficiencias se ha obtenido que tan sólo hay un caso aislado de aspersor que con el método de estima, estableciendo los datos de cota reales haya saltado por debajo de los 30 metros.
- ◆ Parcela 4 → El cuarto caso muestra que independientemente de si la simulación utilizada haya sido del modelo del dimensionado de estima ó del dimensionado de GESTAR, el factor que afecta a la presión de los aspersores es la cota, ya que se obtienen 2 aspersores con una presión inferior a 30 metros en el caso del dimensionado GESTAR sin topografía real y 32 aspersores con una presión inferior a 30 metros, que conlleva una mala distribución del agua para la simulación con topografía real del diseño obtenido con el dimensionado de estima, en cuyo caso, más de 7 de cada 100 aspersores riegan mal.

- ◆ Parcela 5 → Un 20% de los aspersores tiene una presión menor de 35 metros con la simulación del dimensionado GESTAR, pero tan sólo 2 incurren en un funcionamiento malo inferior a 30 metros, mientras que con la simulación del diseño obtenido con el dimensionado de estima hay un 25% de los aspersores con una presión inferior a la nominal y 29 aspersores con una presión que baja de los 30 metros, que hace que 1,2 aspersores de cada 100 funcione incorrectamente.

En resumen, la calidad de riego es como mínimo igual en los resultados de las simulaciones de los dimensionados GESTAR que en las simulaciones de los dimensionados de estima, dándose funcionamientos peores con este último tipo de dimensionado en un 60% de las parcelas analizadas. Asimismo, se constata que la adición de la topografía real, hace que surjan resultados variables que con el método de dimensionado de estima no se pueden predecir.

## 6 CONCLUSIONES

Este proyecto final de carrera ha sobrellevado múltiples labores y tareas, entre las que se encuentran: la ideación, la concepción, la estructuración, la definición, el manejo, la revisión, la depuración y la validación de las funcionalidades, los recursos operativos, y las herramientas del programa GESTAR correspondientes al diseño hidráulico de redes de riego por aspersión. Así como la documentación, resolución y comparación de casos reales de cálculo de redes de riego a presión por aspersión. Todas ellas han contribuido al engrandecimiento del programa y han permitido:

- El establecimiento de una distribución automática de la malla de aspersores y tuberías terciarias en parcelas con límites irregulares ó con zonas aisladas en el entorno Autocad, en comunicación con GESTAR.
- La creación de un elemento aspersor circular y aspersor sectorial con múltiples propiedades adecuadas para el análisis.
- La implantación de una importación y una exportación de los elementos de aspersión de GESTAR, en comunicación con el programa de dibujo AutoCad, adaptada para los componentes de riego específicos con la posibilidad de elevar todas las entidades del dibujo y sus conexiones a su altimetría real.
- La generación de la posibilidad de delimitar la parcela en diversos sectores de riego, dimensionar los sectores de manera individual y automática, asignándoles turnos de riego.
- La introducción de un sistema de dimensionado de tuberías primarias, secundarias y terciarias con criterios de optimización mediante un algoritmo de cálculo avanzado.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

- La incorporación de válvulas hidráulicas reguladoras de presión en la entrada de los sectores.
- La posibilidad de un análisis del dimensionado con cuadros de mediciones con presupuestos globales y parciales, que permitir desglosar: los costes por tramo, por sector, por tipo de tubería y por tipo de aspersor.
- La simplificación de operaciones y definición de nuevos menús, botones de herramientas y nuevas opciones a través de la ideación, testeo, prueba y revisión de todos los avances.
- La resolución de cinco casos de transformación de parcelas con redes de riego por aspersión con topografías variables cuyos resultados económicos y de funcionamiento han sido satisfactorios, con una buena automatización, precisión y eficacia de los cálculos.
- La documentación de un protocolo de dimensionado asociado a las características del diseño en parcela con un caso guiado de trabajo, y la documentación de toda la operativa y funcionalidad de la herramienta, con el algoritmo de cálculo utilizado.

En definitiva, todos estos avances del programa GESTAR y mejoras que consolidan al programa como tecnología informática e hidráulica de gran nivel en el riego por aspersión, puesto que definitivamente resulta una estructura completa, rigurosa y efectiva para ayudar al técnico a efectuar unos cálculos hidráulicos de manera rápida y segura y con una mayor optimización, han culminado consiguiendo los cuatro objetivos primordiales y significativos:

1. El diseño conceptual, la concepción y la definición de las funcionalidades y las operaciones de la aplicación GESTAR para el diseño de redes a presión para parcelas con cobertura total en riego por aspersión.
2. La implantación definitiva del diseño hidráulico de coberturas totales de redes de riego con aspersión mediante la aplicación informática GESTAR.



3. La puesta en marcha de una operativa del programa relacionada con la aspersión, funcional, rápida y atractiva para el usuario, con menús configurados específicamente para el riego en parcela.
4. La validación y depuración del programa GESTAR en el área de diseño hidráulico de redes de riego por aspersión implantado, mediante los resultados positivos de cinco casos reales de aplicación.

La metodología que engloba las nuevas herramientas presentadas es fundamental para conseguir el diseño de redes de riego a presión con cobertura total por aspersión de manera completa, estricta y sencilla, que tendrá absoluta aplicación futura en las ingenierías dedicadas a proyectos de puesta en marcha y transformación de regadíos tanto en el ámbito regional, nacional, como posiblemente internacional.

Así, la ejecución del presente trabajo final de carrera contribuye en la extensión de la aplicación informática, aportando al programa una mayor capacidad técnica, competitividad y solidez. Y asimismo, conlleva una mejora, progreso e impulso de dicho proyecto que continuará en desarrollo.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- CASTAÑÓN G. (2000): *“Ingeniería del riego. Utilización racional del agua”* Paraninfo, Thomson learning. International Thomson editores Spain Paraninfo. Madrid.
- EPANET. [en línea], (2010) *“Drinking Water Software, EPANET”*. U.S Environmental Protection Agency. [Ref de 15 de Diciembre de 2010]. Disponible en página web: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>
- ESTRADA, C. (2000): *“Técnicas robustas y generalizadas para la simulación hidráulica de redes de riego a presión con aplicaciones a diseño y gestión”*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, Diciembre 2000.
- ESTRADA, C., GONZÁLEZ, C., ALIOD, R., PAÑO, J. (2009) *“Improved pressurized pipe network hydraulic solver for applications in irrigation systems”*. Journal of irrigation and drainage engineering (ASCE) vol.8.
- FUENTES YAGÜE J L. (1998): *“Técnicas de riego”* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa Libros, S.A. Madrid
- GARCÍA ASÍN S. (2009): *“Herramientas y metodologías avanzadas en Gestar 2008 para el diseño hidráulico integral de redes de riego a presión con bombeo directo” Proyecto Fin de Carrera*. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.
- GARCÍA ASÍN, S., RUIZ CEBOLLADA, R., ALIOD, R., PAÑO, J., SERAL, P., FACI, E. (2011) *“Nueva herramienta implementada en GESTAR2010 para el dimensionado de tuberías principales en redes de distribución en parcela y redes de distribución general a turnos”*. Acta del congreso (Córdoba) de riegos.
- GONZALEZ CEBOLLADA, C. (2006) *“Diseño hidráulico avanzado de sistemas de riego presurizado mediante técnicas de simulación y optimización”*. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

Grupo GESTAR I+D+i [CD-ROM] (2010) “*Manual de Usuario GESTAR2010*”. Área de Mecánica de Fluidos. Universidad de Zaragoza.

IrriCAD, AEI Software (2010). “*Irrigation Design Software*”. Lincoln Ventures Limited. [Ref de 16 de diciembre de 2010]. Disponible en la página web: <http://www.irricad.mcgrafx.com/>

KYPIPE LLC [en línea], (2009). “*Water Supply Design Software. Pipe2010*”. [Ref de 16 de Diciembre de 2010]. Disponible en web: <http://www.kypipe.com/kypipe>

LOSADA A. (2005): “*El Riego II. Fundamentos de su hidrología y de su práctica*” Ediciones Mundi-prensa. Madrid.

Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino [en línea] (2002): “*Plan Nacional de Regadíos, Horizonte 2008*”. [Ref. de 24 de noviembre de 2010]. Disponible en web: <http://www.mapa.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm>

Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino [en línea] (2009): “*Documento de inicio para consulta sobre evaluación ambiental de la Estrategia Nacional para la Modernización Sostenible de los Regadíos, Horizonte 2015*”. [Ref. de 28 de Enero de 2011]. Disponible en web: [http://www.mma.es/secciones/participacion\\_publica/eval\\_amb/pdf/2009P019docinicialplanregadios.pdf](http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/eval_amb/pdf/2009P019docinicialplanregadios.pdf)

PERNA E. (2007): “*Apuntes de la asignatura planificación de regadíos*”. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

SERRETA A. (2003) “*GestarCAD, una aplicación para el diseño, análisis y simulación de redes de riego a presión*”. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

TARJUELO J M. (2005): “*El riego por aspersión y su tecnología*”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Desarrollos, metodologías y protocolos avanzados en GESTAR 2010 para el diseño hidráulico de redes de riego y coberturas por aspersión.

WCADI. [en línea], (2002-2005) “*Irrigation Design Software, Irrigation Design, Irrigation System Design*”. Brinkster Site Statistics Corp. [Ref. de 13 de Diciembre de 2010]. Disponible en página web: <http://www.wcadi.org/>