

Trabajo Fin de Máster

Caracterización hidráulica y optimización del recurso hídrico de la red de Baja Presión (riego y baldeo) de la ciudad de Valencia.

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

JOSÉ MIGUEL ROJAS SANDOVAL

Tutor:

PEDRO L. IGLESIAS REY

Cotutor/es:

ABEL SOLERA SOLERA

CARMEN SÁNCHEZ BRIONES

SEPTIEMBRE, 2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: *CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA Y OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA RED DE “BAJA PRESIÓN” (RIEGO Y BALDEO) DE LA CIUDAD DE VALENCIA.*

Título del TFM en inglés: HYDRAULIC CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF THE WATER RESOURCE OF THE “LOW PRESSURE” NETWORK (IRRIGATION AND WASHING) OF THE CITY OF VALENCIA.

Título del TFM en Valenciano: *CARACTERITZACIÓ HIDRÀULICA I OPTIMITZACIÓ DEL RECURS HÍDRIC DE LA XARXA DE “BAIXA PRESSIÓ” (REG I AIGUALEIG) DE LA CIUTAT DE VALÈNCIA.*

Alumno: JOSÉ MIGUEL ROJAS SANDOVAL

Tutor: DR. PEDRO L. IGLESIAS REY

Cotutor/es:

DR. ABEL SOLERA SOLERA

CARMEN SÁNCHEZ BRIONES

Director experimental:

Fecha de Lectura: Septiembre, 2024

Resumen

En español

Este trabajo de fin de máster se centra en la caracterización hidráulica y la optimización de la red de "Baja Presión" de la ciudad de Valencia, con el objetivo de mejorar la gestión del recurso hídrico para un uso más sostenible y eficiente. A través de un análisis detallado de la infraestructura y el funcionamiento de la red, se identificaron oportunidades para optimizar el riego de áreas verdes y reducir las pérdidas de agua.

La metodología utilizada incluyó la recopilación exhaustiva de datos proporcionados por Aguas de Valencia, que abarcaban información sobre la longitud, diámetro y material de las tuberías, así como la ubicación y estado de las válvulas y puntos de abonados. Estos datos se integraron en un modelo hidráulico desarrollado con el software EPANET 2 y la extensión QGISRed en QGIS, lo que permitió una simulación detallada del comportamiento de la red.

El modelo hidráulico se calibró y validó utilizando datos reales de caudal y presión, ajustando los parámetros para reflejar con precisión las condiciones operativas de la red. Se implementaron emisores dependientes de la presión para simular fugas y mejorar la capacidad del modelo para representar el comportamiento real del sistema. El análisis de



los patrones de consumo reveló variaciones estacionales y diarias, lo que permitió identificar períodos de mayor y menor demanda.

Se realizó un análisis exhaustivo de los datos obtenidos, incluyendo el comportamiento de caudales y patrones de consumo. Este análisis permitió entender mejor las dinámicas de la red y las necesidades hídricas de los diferentes sectores. Además, se propusieron diversas mejoras para la red con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico, como la implementación de zonas de presión regulada, el ajuste de las jornadas de riego y la evaluación de la eficiencia energética de los sistemas de bombeo.

Como resultado final se espera que este trabajo proporcione una base sólida para futuras investigaciones y proyectos destinados a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la red de "Baja Presión" de Valencia.

Palabras clave español (máximo 5): "Optimización del recurso hídrico", "Modelación hidráulica EPANET" "Red de Baja Presión Valencia" "Balance hídrico"

Palabras clave valenciano (máximo 5): "Optimització del recurs hídric", "Modelatge hidràulic *EPANET" "Xarxa de Baixa Pressió València" "Balanç hídric"

Palabras clave inglés (máximo 5): "Optimization of water resources", "EPANET hydraulic modeling" "Valencia Low Pressure Network" "Water balance"



AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, quiero agradecer a Carolina, mi compañera, mi amor y mi motivación durante esta maravillosa etapa. Sin su apoyo incondicional, su paciencia y su constante aliento, este logro no habría sido posible. Carolina, gracias por estar a mi lado en cada momento, celebrando mis éxitos y brindándome fuerza en los momentos difíciles.

A mi familia que, a pesar de la distancia, siempre estuvieron conmigo y ayudándome en este camino. A mis padres, por su amor incondicional, sus consejos sabios y su ejemplo de perseverancia.

A todos mis amigos que conocí en España, quienes han pasado a formar parte importante de mi vida. Gracias por compartir risas, desafíos y aprendizajes. Su amistad ha sido un pilar fundamental durante este tiempo.

Por último, a cada uno de los profesores de este máster, en especial a mis tutores de la universidad, Pedro y Abel, y a mis tutoras de Aguas de Valencia, Ángela y Carmen, por su apoyo y compromiso. Gracias por su dedicación, por compartir su conocimiento y por guiarme con paciencia y sabiduría.



Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo	2
1.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Ámbito Territorial	3
1.3.1	Características Topográficas y Climatológicas de Valencia.....	3
2	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.	6
2.1	Recopilación de Información	6
2.1.1	Fuentes de Información	6
2.2	Caracterización Hídrica de las Áreas Verdes	7
2.3	Caracterización de la Red de Baja Presión	7
2.4	Modelo Hidráulico	8
2.5	Análisis de Resultados.....	9
3	NECESIDADES HÍDRICAS DE LAS ÁREAS VERDE	10
3.1	Cálculo de las Necesidades Hídricas.....	10
3.1.1	Condiciones Climáticas.....	11
3.1.2	Tipología de Áreas Verdes.....	12
3.2	Demandas Hídrica por Sectores	15
4	CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE BAJA PRESIÓN.....	22
4.1	Funcionamiento y Propósito de la Red	22
4.1.1	Alcances y Zonas de Riego	22
4.2	Pozos y Estaciones de Bombeo	23
1.1.1	Tramo V - Pozos Puente de las Artes 1 y 2.	25
4.3	Características Físicas de la Red de Distribución	26
4.3.1	Diámetros	26
4.3.2	Material	29
4.3.3	Edad de la instalación	30
4.3.4	Válvulas.....	33
4.3.5	Caudalímetros.....	35



4.4	Ramales de abonados	36
4.5	Sectores de la Red.....	38
5	MODELACIÓN DE LA RED	41
5.1	Programas Informáticos para la Modelación	42
5.2	Topología y Características Físicas de la Red.....	42
5.2.1	Materiales	43
5.2.2	Diámetros de la Red.....	44
5.2.3	Rugosidades	44
5.3	Pozos y Estaciones de Bombeo	46
5.3.1	Curvas de Funcionamiento de las Bombas.....	47
5.4	Topografía.....	49
5.5	Nodos de Consumo de la Red	50
5.6	Modelo Preliminar de las Características Físicas de la Red	51
5.7	Simplificación del Modelo.....	52
5.7.1	Depuración de Tuberías no Conectadas.....	52
5.7.2	Agrupación de Tuberías	53
5.7.3	Bombas Simuladas como Embalses.....	53
5.7.4	Nodos de Consumo Depurados.....	55
5.8	Resumen del Modelo Simplificado.....	56
5.9	Demandas de la Red	57
5.9.1	Asignación Demanda Base al Modelo	58
5.10	Patrones de Consumo.....	59
5.11	Caudal Inyectado vs Caudal Registrado.....	61
5.12	Calibración del Modelo con Emisores de Fuga.....	62
5.12.1	Estimación del Coeficiente del Emisor	65
5.12.2	Estimación de curva de modulación.....	65
5.12.3	Procedimiento Aplicado en uno de los Sectores	66
5.12.4	Calibración Sector Campanar	70
5.13	Modelo Final con Emisores de Consumo	75

5.13.1	Caudal Inyectado vs Caudal Registrado en el Modelo Calibrado.....	76
6	ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y RIEGO	78
6.1	Presiones de la Red.....	78
6.2	Patrones de Consumo.....	79
6.3	Rendimientos Hidráulicos por Sectores	82
6.3.1	Envejecimiento de las Tuberías y Zonas de Mayores Fugas	83
6.3.2	Fugas por Longitud de Tubería.....	84
6.4	Rendimientos de Riego por Sectores	87
6.4.1	Evolución Mensual de Necesidad hídrica y Caudal Suministrado.....	89
7	PROPUESTAS DE MEJORAS Y OPTIMIZACION DE LA RED	92
7.1	Propuestas a la Red.....	92
7.1.1	Identificación de Fugas	92
7.1.2	Contadores.....	92
7.1.3	Disminuir Presiones	92
7.1.4	Ajustar Jornadas de Riego	92
7.2	Propuestas al Estudio.....	93
7.2.1	Simulación con Bombas y no Embalses.....	93
7.2.2	Incluir Ramales de Tuberías no Conectados.....	93
7.2.3	Determinación en mayor detalle de las necesidades hídricas.....	93
8	CONCLUSIONES.....	94
9	REFERENCIAS	96
	ANEXOS.....	99

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Pendientes topografías de Valencia. Fuente: IDEV.</i>	4
<i>Figura 2: Datos climatológicos de Valencia. (Fuente: AEMET)</i>	5
<i>Figura 3: Metodología aplicada en Estudio.</i>	6
<i>Figura 4: Arboles en las zonas de riego de la red de Baja Presión. Fuente: Ayto. de Valencia.</i>	13
<i>Figura 5: Necesidades Netas Mensuales.</i>	15
<i>Figura 6: Zonas de riego abastecidas por la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.</i>	15
<i>Figura 7: Procesamiento de las Áreas Verdes.</i>	16
<i>Figura 8: Zonas de riego abastecidas Procesadas por la red de Baja Presión.</i>	17
<i>Figura 9: Áreas verdes depuradas regadas con agua de la Red de Baja.</i>	18
<i>Figura 10: Necesidades Hídricas totales de césped según mes.</i>	19
<i>Figura 11 Necesidades Hídricas totales de árboles según mes.</i>	20
<i>Figura 12: Zonas de riego abastecidas por la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.</i>	22
<i>Figura 13: Pozos de la Red. Fuente: AA.VV.</i>	23
<i>Figura 14: Ubicación Pozos Artes 1 y 2. Fuente: AA.VV.</i>	25
<i>Figura 15: Diámetros de las tuberías de la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.</i>	26
<i>Figura 16: Distribución de diámetro de las tuberías de la Red.</i>	28
<i>Figura 17: Material de las tuberías de la red.</i>	29
<i>Figura 18: Distribución de los materiales en la red. Fuente: AA.VV.</i>	30
<i>Figura 19: Evolución de la red de Baja Presión de Valencia Fuente: AA.VV.</i>	31
<i>Figura 20: Red actual de Valencia según año de instalación. Fuente: AA.VV.</i>	32
<i>Figura 21: Distribución de la red según año de instalación de las tuberías. Fuente: AA.VV.</i>	33
<i>Figura 22: Válvulas Manuales de la Red. Fuente: AA.VV.</i>	34
<i>Figura 23: Válvulas en la red Fuente: AA.VV.</i>	35
<i>Figura 24: Ubicación de los Caudalímetros de la red de Valencia. Fuente: AA.VV.</i>	36
<i>Figura 25: Ubicación de ramales de abonados. Fuente: AA.VV.</i>	37
<i>Figura 26: Sectores de la red. Fuente: AA.VV.</i>	38
<i>Figura 27: Elementos de la sectorización. Fuente: AA.VV.</i>	39
<i>Figura 28: Modelo En QGISRED de la RED de Baja Presión de Valencia.</i>	41
<i>Figura 29: Elementos Básicos del Modelo en QGISRED. Fuente: QGISRED.</i>	43
<i>Figura 30: Herramienta para el cálculo del coeficiente de rugosidad. Fuente: QGISRED.</i>	45
<i>Figura 31: Rugosidades iniciales según material. Fuente: QGISRED pagina 19.</i>	45
<i>Figura 32: Importación de Tuberías QGISRED. Fuente: QGISRED.</i>	46
<i>Figura 33: Curva Bomba 1 Pozo las Artes. Fuente QGISRED.</i>	48
<i>Figura 34: MDT de la Ciudad de Valencia. Fuente: Generalitat Valenciana.</i>	49
<i>Figura 35: Ramales de abonados de la red. Fuente : AA.VV.</i>	50
<i>Figura 36: Modelo Preliminar de la Red.</i>	51
<i>Figura 37: Tuberías eliminadas de la red.</i>	52
<i>Figura 38: herramientas de Modelación de QGISRED. Fuente: QGISRED.</i>	53
<i>Figura 39: Esquema EPANET de Funcionamiento de las Bombas.</i>	54
<i>Figura 40: Leyes de control aplicadas en los sectores Campanar y Benimamet.</i>	55
<i>Figura 41: Nodos Eliminados de la red.</i>	56
<i>Figura 42: Modelo depurado y simplificado de la Red.</i>	57
<i>Figura 43: Caudal Inyectado al sector de Pla del real.</i>	59

<i>Figura 44: Curva de Modulación Sector Pla del Real.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 45: Patrón de Consumo del Sector Pla del Real.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 46: Modulo de GISRED con datos de nodos de consumo.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 47: Nodos de Consumo en los diferentes sectores de la red.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 48: Caudal Registrado vs Caudal Epaten Sector Campanar.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 49: Flujograma descriptivo del proceso de calibración. Fuente: Martínez-Solano</i>	<i>66</i>
<i>Figura 50: Polígonos de Voronoi de los Nodos.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 51: Tributación de longitud de tubería en cada Nodo.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 52: Caudales Inyectado Sector Olivereta ordenados por semana.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 53:Caudal Inyectado Procesado Sector Olivereta por semana.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 54:Curvas de modulación.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 55:Modelo en EPANET con emisores.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 56: Caudal Inyectado vs Caudal Registrado en sector Campanar.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 57: Caudal inyectado en toda la red de Valencia en el transcurso del año. Fuente:.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 58:Caudales Inyectado Sector Centro ordenados por semana.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 59: Caudales máximos, mínimo y promedios anuales Inyectados a la red</i>	<i>81</i>
<i>Figura 60: Caudales Inyectados al sector la torre ordenandos por semana.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 61:Necesidades Hídricas V/s Caudales inyectado y facturado del total de la red.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 62:Necesidades Hídricas V/s Caudales inyectado y facturado Sector Centro</i>	<i>91</i>
<i>Figura 63: Ubicación Pozo Tramo IV.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 64: Ubicación del pozo de Calatrava.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 65: Ubicación Pozo Gulliver.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 66: Ubicación Pozo Ayuntamiento nuevo.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 67: Ubicación Pozo Anzuelos.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 68: Ubicación Pozo Parque central</i>	<i>105</i>
<i>Figura 69: Ubicación Pozo Pau.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 70: Ubicación Pozo Benicalap.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 71: Ubicación Pozo Alfahuir.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 72: Ubicación Pozo La Torre.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 73: Ubicación Pozo Benimamet.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 74: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benicalap en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>111</i>
<i>Figura 75: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benicalap en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 76:Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 77:Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 78:Caudales y coeficientes de modulación del sector Bulevar Sur en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>115</i>
<i>Figura 79: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 80:Caudales y coeficientes de modulación del sector Cabañal en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>117</i>

<i>Figura 81: Caudales y coeficientes de modulación del sector Cabañal en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 82: Caudales y coeficientes de modulación del sector Campanar en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 83: Caudales y coeficientes de modulación del sector Campanar en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 84: Caudales y coeficientes de modulación del sector Centro en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 85: Caudales y coeficientes de modulación del sector Centro en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 86: Caudales y coeficientes de modulación del sector La Torre en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>123</i>
<i>Figura 87: Caudales y coeficientes de modulación del sector La torre en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 88: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malvarrosa en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>125</i>
<i>Figura 89: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malvarrosa en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 90: Caudales y coeficientes de modulación del sector Olivereta en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>127</i>
<i>Figura 91: Caudales y coeficientes de modulación del sector Olivereta en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 92: Caudales y coeficientes de modulación del sector Pla del Real en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>129</i>
<i>Figura 93: Caudales y coeficientes de modulación del sector Pla del Real en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 94: Caudales y coeficientes de modulación del sector antiguo cauce del rio en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>131</i>
<i>Figura 95: Caudales y coeficientes de modulación del sector Antiguo Cauce del Rio en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 96: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malilla Sur en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>133</i>
<i>Figura 97: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malilla Sur en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 98: Caudales y coeficientes de modulación de la red completa en un periodo de tiempo de un año.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 99: Caudales y coeficientes de modulación de la red Completa en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.....</i>	<i>136</i>

Índice de Tabas

<i>Tabla 1: Información de la Ciudad de Valencia. Fuente: INE.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 2: Datos climatológicos de Valencia. Fuente: AEMET.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3: Evapotranspiración de referencia de Valencia. Fuente, IVIA.</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 4: Coeficiente de Cultivo.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 5: Necesidades Netas de Césped por hectárea.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 6: Necesidades Netas de Arboles por Hectárea.</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 7: Áreas Verdes por Sector.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 8: Necesidades Hídricas del Áreas de césped por Sector.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 9: Necesidades Hídricas del Áreas de árbol por Sector. Fuente: AA.VV.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 10: Necesidades Hídricas totales por Sector. Fuente: AA.VV.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 11: Necesidades Hídricas de totales según mes y tipología de área verde.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 12:Características Bombas Pozos Artes 1 y 2.Fuente: AA.VV.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 13: Longitud según diámetro de la red. Fuente: AA.VV.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 14: Distribución de Material de la Red. Fuente: AA.VV.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 15: Edad de las tuberías de la red de valencia. Fuente: AA.VV.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 16: Niveles de los Pozos. Fuente: AA.VV.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 17:Curvas de Funcionamiento de las Bombas. Fuente: AA.VV.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 18: Elementos principales de la red.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 19: Elementos principales de la red.</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 20:Volumen de agua Facturado por sector.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 21: Cálculo de Caudales del sector, primeras 12 horas.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 22: Balance Hidráulico.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 23: Cálculo del Coeficiente de emisor Global.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 24: Longitud de las tuberías de la red por sector.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 25: Cálculo del Coeficiente de emisore de cada nodo.</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 26:Balance Hídrico con caudal obtenido con emisores.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 27: Proceso de calibración.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 28:Presiones en los sectores de la Red.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 29:Rendimiento por sector.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 30: Edad de los Sectores.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 31: Fugas en función de la Longitud de tuberías.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 32: Sectores ordenados de menor a mayor rendimiento.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 33: Sectores ordenados de Por antigüedad de la Red.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 34: Sectores ordenados de mayor a menor perdida de m3/m.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 35:Rendimiento de riego por sector caudal inyectado.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 36:Eficiencia en la aplicación Caudal Facturado.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 37: Necesidades hídricas y caudales según mes.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 38:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 39:Características Bombas Pozo Calatrava.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 40:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 41:Características Bombas Pozo.</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 42:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 43:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>105</i>



<i>Tabla 44:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 45:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 46:Características bombas pozo Alfahuir.</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 47:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 48:Características Bombas Pozo Tramo IV.</i>	<i>110</i>

1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y la demanda de recursos hídricos han planteado desafíos significativos para las ciudades modernas. Valencia, una ciudad con un rico patrimonio cultural y una vibrante vida urbana, no es una excepción. En este contexto, la red de "Baja Presión" juega un papel crucial en el suministro de agua no potable para el riego de áreas verdes, el baldeo de calles y otras actividades que no requieren agua potable. La gestión eficiente de esta red es esencial para asegurar el uso sostenible de los recursos hídricos y para mantener la salud y el bienestar de la población urbana.

Este trabajo de fin de máster se centra en la caracterización hidráulica de la red de "Baja Presión" de la ciudad de Valencia. A través de un análisis detallado de su infraestructura y funcionamiento, se busca identificar oportunidades para optimizar el uso del recurso hídrico, mejorar la eficiencia del riego y reducir las pérdidas de agua. La caracterización y el análisis de la red incluyen la evaluación de las características físicas e hidráulicas de sus componentes, la identificación de patrones de consumo y la determinación del rendimiento hidráulico.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron herramientas avanzadas de modelado hidráulico, como EPANET 2 y QGISRed, que permitieron simular y analizar el comportamiento de la red bajo diferentes escenarios operativos. Estos modelos se calibraron y validaron utilizando datos reales proporcionados por Aguas de Valencia, garantizando así la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Además de la caracterización técnica de la red, este trabajo también propone una serie de estrategias y recomendaciones para la optimización del uso del agua en la red de "Baja Presión". Estas propuestas incluyen ajustes en las jornadas de riego, la implementación de tecnologías de monitoreo y control más avanzadas, y la evaluación de la eficiencia energética de los sistemas de bombeo.

Este trabajo pretende contribuir al desarrollo de una gestión más sostenible y eficiente del agua en la ciudad de Valencia, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y proyectos en el campo de la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos. Además, se han identificado oportunidades de mejora en la red de Baja Presión y se han propuesto estrategias que optimizan el uso del agua, estableciendo criterios de referencias aplicables a la red y estudios futuros.

1.1 Objetivo

El objetivo principal del presente estudio es Caracterizar hidráulicamente y proponer mejoras que busquen optimizar el recurso hídrico en la red de "Baja Presión" de la ciudad de Valencia para un uso más sostenible y eficiente del mismo.

1.2 Objetivos Específicos

Para llevar a cabo este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar hidráulicamente la red de "Baja Presión" de la ciudad de Valencia. Esto implica la identificación y documentación detallada de todos los componentes de la red, incluyendo tuberías, válvulas y puntos de abonados.
2. Analizar las características físicas e hídricas de la red. Se evaluarán las propiedades físicas de la red, como la longitud, el diámetro y el material de las tuberías. También se investigarán las condiciones actuales de las infraestructuras, incluyendo el estado y ubicación de las válvulas y los puntos de abonados.
3. Evaluar el consumo actual de agua para riego y baldeo en la ciudad. Esto incluye el análisis de los caudales inyectados y consumidos para determinar el rendimiento hidráulico de la red.
4. Identificar y determinar las áreas verdes regadas con agua de la red de Baja Presión en la ciudad de Valencia. Este objetivo se centra en la identificación precisa de todas las zonas verdes que son regadas por la red de Baja Presión, abarcando parques, jardines, arbolados y otros espacios verdes distribuidos en la ciudad.
5. Calcular las necesidades hídricas de las áreas verdes identificadas. Este objetivo implica la evaluación de las necesidades de agua de cada zona verde determinada, teniendo en cuenta factores como el tipo de vegetación, las condiciones climáticas y la superficie de riego.
6. Determinar las eficiencias de riego en las áreas verdes de Valencia y realizar un balance hídrico detallado. Este balance ayudará a identificar posibles ineficiencias en la distribución del agua y a proponer estrategias para optimizar su uso.
7. Presentar propuestas de mejora basadas en los análisis realizados.

Estos objetivos específicos están orientados a lograr una comprensión detallada del funcionamiento actual de la red e identificar acciones concretas para mejorar la gestión del agua, asegurando un suministro eficiente y sostenible.

1.3 Ámbito Territorial

Valencia es municipio español, capital de la Comunidad Valenciana, situada en la costa este de la península ibérica, a orillas del mar Mediterráneo. Según datos del Instituto Nacional de Estadística (Instituto Nacional de Estadística (INE), 2023) en el año 2023 contaba con una población de 807,693 habitantes. A continuación, se detallan las principales características de la ciudad:

País	España	
Com. Autónoma	Comunidad Valenciana	
Provincia	Valencia	
Comarca	Huerta de Valencia	
Ubicación	UTM: 722000 4372000 30S	
Altitud Media	415 msnm	
Ubicación	38°16'24"N 0°55'39"O	
Superficie	134,65 km ²	
Población	807.693 habitantes (INE 2023)	
Gentilicio	Valenciano	
Pred. ling. oficial	Valenciano y Castellano	
Código Postal	46000-46080	

Tabla 1: Información de la Ciudad de Valencia. Fuente: INE

Valencia se encuentra ubicada en la zona conocida como la Huerta de Valencia, caracterizada por sus fértiles tierras y su clima mediterráneo suave. Situada a aproximadamente 350 kilómetros al este de Madrid, la ciudad se extiende desde las orillas del mar Mediterráneo hasta las proximidades del Parque Natural de la Albufera, enmarcada por un paisaje diverso que incluye playas, huertas y zonas urbanas. Valencia es conocida por su rica historia, arquitectura impresionante, y una vibrante cultura.

1.3.1 Características Topográficas y Climatológicas de Valencia.

La ciudad de Valencia se encuentra ubicada en una llanura costera, con una altitud media de 15 metros sobre el nivel del mar. Su topografía es mayormente plana, lo que facilita su expansión urbana y la distribución de infraestructuras. Sin embargo, presenta algunas elevaciones suaves en su parte sur y oeste, con una ligera inclinación hacia el mar Mediterráneo.

A Continuación, en la Figura 1 se presenta la topografía y pendientes existen en la ciudad de valencia, esta se información se obtuvo desde el IDEV, Infraestructura de Datos Espaciales Valenciana de la Generalitat Valenciana. (Instituto Cartográfico Valenciano (ICV), 2024)

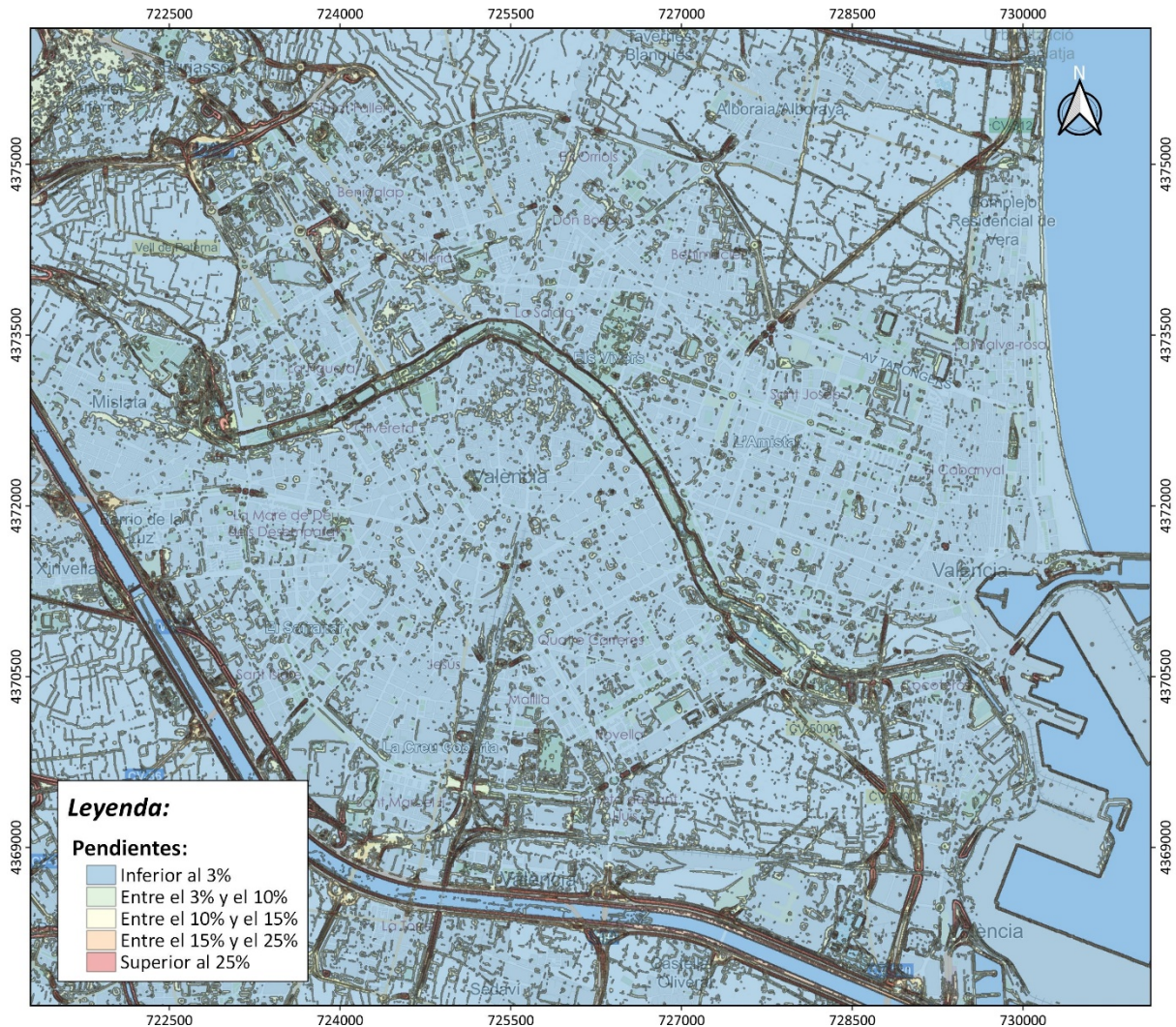


Figura 1: Pendientes topografías de Valencia. Fuente: IDEV.

Como se puede apreciar en la figura anterior, prácticamente en su totalidad, las pendientes existentes en Valencia son inferiores al 3%. Sin embargo, hay excepciones en algunas áreas específicas, como Benimamet y Burjassot, donde las pendientes son notablemente más pronunciadas, variando entre el 3% y el 10%.

Respecto a la climatología, Valencia disfruta de un clima mediterráneo, caracterizado por veranos calurosos e inviernos suaves y húmedos. Los veranos son cálidos y presentan poca presencia de precipitación, con temperaturas medias que oscilan entre los 25 °C y los 30 °C, mientras que los inviernos son suaves, con temperaturas medias alrededor de los 10 °C.

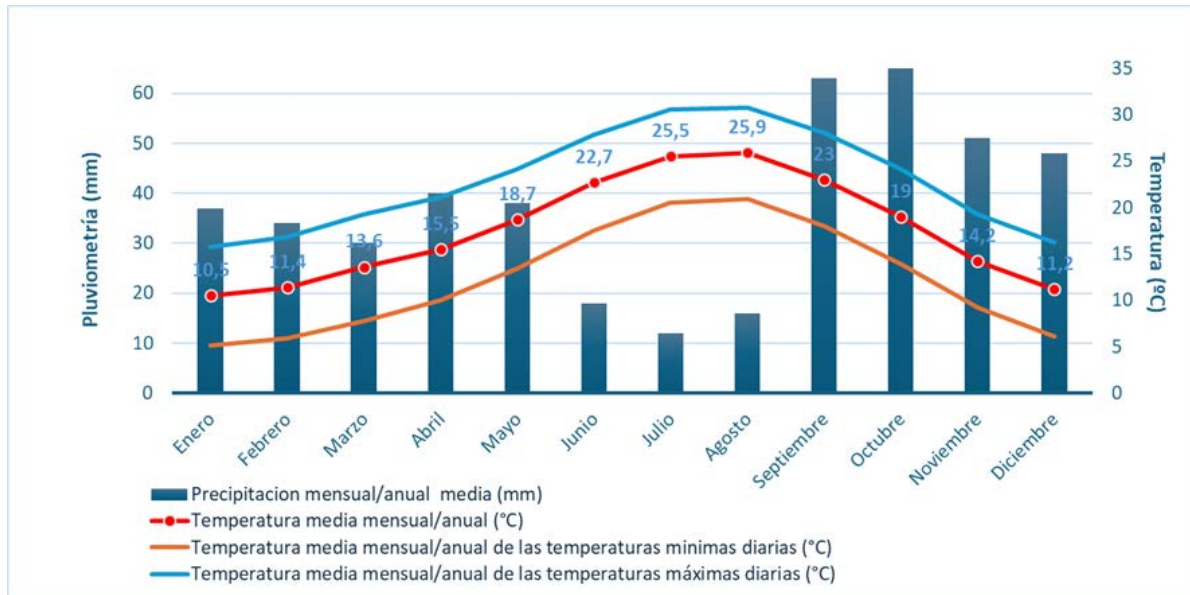


Figura 2: Datos climatológicos de Valencia. (Fuente: AEMET)

Las precipitaciones son moderadas y se concentran principalmente en los meses de otoño y primavera, siendo los meses más secos julio y agosto. La humedad relativa es en general alta, especialmente durante los meses de verano.

2 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

Para llevar a cabo este estudio, se ha diseñado una metodología que abarca varias etapas clave de desarrollo. Estas etapas se enfocan en la recopilación y análisis de datos, el desarrollo de modelos hidráulicos y la evaluación de la eficiencia de la red de "Baja Presión" en la ciudad de Valencia. Cada una de estas fases es fundamental para obtener una comprensión integral del sistema de riego y baldeo, identificar áreas de mejora y proponer soluciones óptimas para la gestión del recurso hídrico. A continuación, se detalla cada una de las etapas de la metodología empleada en este estudio.



Figura 3: Metodología aplicada en Estudio.

2.1 Recopilación de Información

En esta fase se realizó la recopilación de la información básica necesaria para la elaboración del presente estudio. Además, se llevó a cabo un proceso de filtrado y selección de los datos más relevantes para garantizar la calidad y precisión del análisis.

2.1.1 Fuentes de Información

Para la elaboración de esta memoria, se utilizó la información facilitada directamente por Aguas de Valencia. Estos datos, proporcionados en diversos formatos, permitieron una recopilación exhaustiva y precisa, fundamental para el desarrollo del estudio.

Además, se incluyó información adicional obtenida de diversas fuentes para completar el análisis, particularmente en el cálculo de las necesidades hídricas de las áreas verdes de Valencia. Las principales fuentes de información fueron:

- Aguas de Valencia: Datos detallados sobre la red de Baja Presión, incluyendo características físicas, ubicación y estado de tuberías, válvulas y puntos de abonados.
- Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): Datos climáticos de Valencia, necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y la precipitación.

- Red SIAR (Sistema Integrado de Información Agroclimática): Datos de evapotranspiración de referencia utilizados en el análisis.
- Ayuntamiento de Valencia: Información sobre la distribución y clasificación de los árboles en la ciudad.
- IDEV (Infraestructura de Datos Espaciales de Valencia) y Google Earth: Ortofotografías y visualización tridimensional para la identificación y depuración de las áreas verdes.

2.2 Caracterización Hídrica de las Áreas Verdes

Para llevar a cabo una caracterización hídrica detallada de las áreas verdes de riego en la ciudad de Valencia, se siguieron varios pasos que involucraron la recopilación y análisis de datos de diversas fuentes. Primero, se identificaron las áreas verdes que requieren riego, incluyendo parques públicos, jardines privados, zonas verdes en áreas residenciales y comerciales, y áreas de arbolado urbano.

La información recopilada y analizada permitió determinar las necesidades específicas de cada área verde. Este plan tiene como objetivo optimizar el uso del agua, ajustando los horarios y volúmenes de riego para evitar el desperdicio y asegurar que cada área reciba la cantidad adecuada de agua. Asimismo, se busca implementar prácticas de riego sostenibles que contribuyan a la conservación del agua y al mantenimiento de un ecosistema urbano saludable, facilitando una gestión eficiente y una respuesta rápida y eficaz ante cualquier problema o necesidad específica.

2.3 Caracterización de la Red de Baja Presión

En base a los recursos proporcionados por Aguas de Valencia, se llevó a cabo una caracterización detallada de las infraestructuras y redes de distribución de agua de riego existentes. Este proceso incluyó varias etapas y consideraciones para obtener una visión completa y precisa del estado y funcionamiento de la red de Baja Presión. Se realizó un inventario exhaustivo de los componentes físicos de la red. Esto incluyó:

- Pozos de la red: Identificación de las propiedades y ubicación de los pozos de la red.
- Longitud de las Tuberías: Medición precisa de la longitud total de las tuberías en la red.
- Diámetro y Material de las Tuberías: Clasificación de las tuberías según su diámetro y el material de fabricación (fundición, fibrocemento, polietileno, etc.), lo cual es crucial para evaluar la capacidad y resistencia de la red.
- Ubicación y Estado de las Válvulas: Identificación de todas las válvulas manuales y automáticas, así como su ubicación exacta y estado operativo (abiertas, cerradas, en mantenimiento, etc.).

- Puntos de Abonados para Riego y Baldeo: Registro detallado de las conexiones individuales a la red de Baja Presión que suministran agua a usuarios finales para actividades de riego y baldeo.
- Sectores: identificación de todos los sectores de la ciudad, se estudió como se realiza el balance hidráulico de cada uno de ellos, y los elementos de la red

2.4 Modelo Hidráulico

Una vez recopilada y procesada la información de la red, se desarrolló un modelo matemático utilizando los programas QGIS y EPANET 2, complementado con la extensión QGISRed en QGIS. Esta combinación de herramientas permitió una simulación detallada del comportamiento hidráulico de la red.

El proceso comenzó con la importación de los datos geospaciales y de infraestructura desde el Sistema de Información Geográfica (SIG) de Aguas de Valencia a QGISRed. Esta extensión es especialmente útil para el manejo y visualización de datos espaciales, permitiendo una representación precisa de la red de distribución, incluyendo detalles como la ubicación de tuberías, válvulas, bombas, pozos, y otros componentes hidráulicos.

Una vez que los datos fueron importados a QGISRed, se procedió a la creación del modelo hidráulico en EPANET 2. Este software es una herramienta poderosa para el análisis del flujo de agua en redes de tuberías a presión. Permite simular el comportamiento de la red bajo diversas condiciones de operación y demandas, ofreciendo una visión clara de parámetros críticos como presiones, velocidades y caudales en diferentes puntos de la red.

La integración de QGISRed y EPANET 2 facilitó la asignación de características específicas a cada componente de la red, tales como diámetros, longitudes, rugosidades de las tuberías, así como los patrones de demanda y las condiciones de operación de las bombas y válvulas. Esto permitió la creación de un modelo detallado y ajustado a la realidad, capaz de representar con precisión el comportamiento hidráulico de la red.

Además, se llevaron a cabo varias etapas de calibración del modelo. Utilizando datos reales de presión y caudal, se ajustaron los parámetros del modelo para asegurar que las simulaciones reflejaran de manera precisa el comportamiento observado en la red. Este proceso de calibración es crucial para la validación del modelo y para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

El modelo hidráulico desarrollado no solo permitió analizar el estado actual de la red, sino que también facilitó la identificación de posibles mejoras y optimizaciones. Al comprender mejor el comportamiento de la red, fue posible detectar ineficiencias y proponer acciones que pueden mejorar su rendimiento.

2.5 Análisis de Resultados

Finalmente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los rendimientos hidráulicos y de riego con el objetivo de evaluar la eficiencia y efectividad de la red de Baja Presión. Este análisis no solo se centró en identificar las áreas de mejora, sino que también buscó optimizar el uso del recurso hídrico en su totalidad. Los principales objetivos de este análisis fueron:

- **Evaluación de la Eficiencia:** Medir la eficiencia del sistema de riego y su capacidad para distribuir el agua de manera uniforme y suficiente en todas las áreas verdes y zonas de limpieza urbana.
- **Identificación de Áreas de Mejora:** Detectar posibles deficiencias en la red, como fugas, bajas presiones, o zonas con un suministro insuficiente, para implementar soluciones efectivas.
- **Optimización del Uso del Recurso Hídrico:** Proponer estrategias para mejorar la gestión del agua, asegurando que se utilice de manera óptima y sostenible, minimizando el desperdicio y maximizando su disponibilidad.

Este análisis permitió obtener una visión integral del funcionamiento de la red, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de mejoras que contribuyan a una gestión hídrica más eficiente y sostenible.

3 NECESIDADES HÍDRICAS DE LAS ÁREAS VERDE

En el presente apartado se realiza el balance hídrico de las áreas verdes de Valencia y se determina sus necesidades hídricas, ya que determinar las necesidades de agua es un componente esencial para la gestión sostenible del agua en la ciudad. Las áreas verdes que incluyen parques, jardines, arbolados y zonas recreativas, no solo mejoran la calidad de vida de los residentes, sino que también juegan un papel crucial en la mitigación de las temperaturas urbanas y la mejora de la calidad del aire, siendo de un gran impacto social para la ciudad.

3.1 Cálculo de las Necesidades Hídricas

Para calcular las necesidades de riego se utiliza una metodología propuesta por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias- IVIA, la cual se basa en el método propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), detallado en la publicación "Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos" (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), 2024).

Este enfoque proporciona un marco sistemático para estimar con precisión la cantidad de agua que requieren los cultivos, en "donde los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo vienen reflejados en la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y el efecto del cultivo se incorpora en el coeficiente del cultivo K_c " (Allen et al., 1998)

La metodología de la FAO es ampliamente adoptada por su rigor científico y su aplicabilidad práctica en diversas regiones agrícolas alrededor del mundo. El procedimiento, en resumen, calcula las necesidades hídricas a partir de las variables climatológicas que determinan la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia (ET_o) y un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente del cultivo (K_c). (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), 2024)

De este modo, las necesidades hídricas o evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculan con la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c * ET \quad (1)$$

En donde;

- ET_c : Evapotranspiración del cultivo
- K_c : Coeficiente del cultivo
- ET_o : Evapotranspiración de referencia

En la estimación de las necesidades de riego, es esencial considerar el efecto de la lluvia cuando esta se produce. Cuando la precipitación no es suficiente debemos recurrir al riego, y habrá que aportar aquella cantidad de agua que necesita la planta y que no cubre la precipitación (Alocén, 2007). Estos modelos permiten ajustar las estimaciones de riego al tener en cuenta la contribución de la precipitación natural, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad del uso del agua en los cultivos. Con lo anteriormente descrito es posible estimar las necesidades de riego.

$$NR = ET_C - P \quad (2)$$

En donde;

- NR : Necesidades de Riego.
- ET_C : Evapotranspiración del cultivo.
- P : Precipitación.

3.1.1 Condiciones Climáticas

La evapotranspiración de referencia (ET_o), al igual que las precipitaciones se estiman a través de una serie de datos climáticos de la zona. En la Tabla 2 se presentan los valores de las precipitaciones presente en la ciudad de Valencia.

Estos valores fueron medidos en la estación meteorológica de Valencia y extraídos de la página de la "Agencia Estatal de Meteorología - AEMET, Gobierno de España" (Meteorología, 2024).

Mes	T Media mensual(°C)	T Media Mensual/anual de las T° máximas diarias (°C)	T Media Mensual/anual de las T° mínimas diarias (°C)	Precipitación mensual Media (mm)
Enero	10,5	15,8	5,1	37
Febrero	11,4	16,8	5,9	34
Marzo	13,6	19,3	7,8	30
Abril	15,5	21,1	10	40
Mayo	18,7	24,1	13,4	38
Junio	22,7	27,8	17,5	18
Julio	25,5	30,6	20,5	12
Agosto	25,9	30,8	20,9	16
Septiembre	23	28	18	63
Octubre	19	24,1	13,9	72
Noviembre	14,2	19,3	9,2	51
Diciembre	11,2	16,2	6,1	48
Año	17,6	22,8	12,4	461

Tabla 2: Datos climatológicos de Valencia. Fuente: AEMET

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se utilizó la información proporcionada por las estaciones meteorológicas integradas en la Red SIAR. En la Tabla 3 se

presenta los datos de La evapotranspiración de referencia (ET_o) y su evolución mensual a lo largo del año.

Municipio	Mes	Total	ET_o media	ET_o máxima	ET_o mínima
Valencia	Enero	37,35	1,21	2,59	0,63
Valencia	Febrero	49,73	1,78	3,42	0,78
Valencia	Marzo	52,13	1,68	3,47	0,49
Valencia	Abril	96,97	3,23	5,93	1,00
Valencia	Mayo	134,80	4,35	6,20	1,00
Valencia	Junio	162,91	5,43	7,23	2,93
Valencia	Julio	168,49	5,44	6,68	3,83
Valencia	Agosto	168,39	5,43	7,29	3,90
Valencia	Septiembre	115,78	3,86	5,54	1,47
Valencia	Octubre	68,12	2,20	3,78	1,30
Valencia	Noviembre	65,62	2,19	3,83	0,86
Valencia	Diciembre	40,56	1,35	2,60	0,60

Tabla 3: Evapotranspiración de referencia de Valencia. Fuente, IVIA.

3.1.2 Tipología de Áreas Verdes

Tal como se mencionó en los apartados anteriores, el coeficiente único del cultivo (K_c) depende de la tipología de área verde a regar. Para este trabajo académico se consideraron dos tipologías de cultivos existente en la ciudad, estas corresponden a césped y arbolado.

Para el cálculo de la K_c del arbolado de Valencia, se procedió a identificar todos los árboles regados con la red de Baja Presión y clasificarlos según su grupo de especie, esta información fue obtenida desde la página de ayuntamiento de Valencia (Ayuntamiento de Valencia, 2024). Se presenta en la Figura 4 la ubicación y la distribución de estos árboles según su especie.

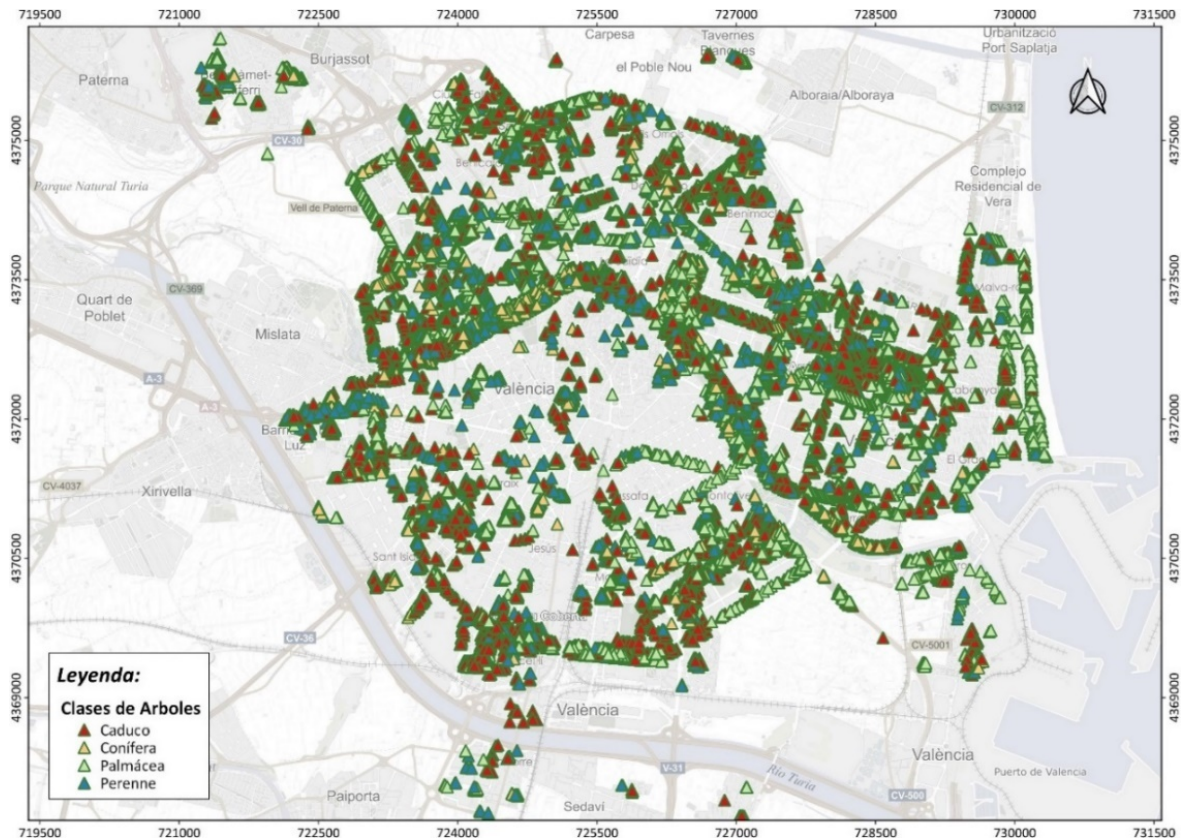


Figura 4: Árboles en las zonas de riego de la red de Baja Presión. Fuente: Ayto. de Valencia.

Los rangos típicos de K_c para estos tipos de árboles y del césped se obtuvieron de los valores indicados en el capítulo 7 del documento Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, los cuales corresponden los siguientes valores:

- **Caduco:** 0,6 – 0,9
- **Perenne:** 0,7 – 0,9
- **Palmera:** 0,8 – 1,0
- **Conífera:** 0,9 – 1,0

Una vez identificados la cantidad de árboles según su grupo de especie se procedió a estimar el K_c ponderado de todas las áreas verde de la ciudad:

Grupo de Árbol	Cantidad	K_c	K_c ponderado Valencia
Caduco	67.732	0,8	0,84
Perenne	34.088	0,85	
Palmera	18.099	0,9	
Conífera	8.497	0,95	

Tabla 4: Coeficiente de Cultivo.

Para las áreas de césped se procedió a estimar su K_c en un valor de 0,85.

Una vez ya obtenidos todos los datos es posible determinar las necesidades netas de riego, la cuales quedan expresadas en cantidad de agua por metro cuadrado

Mes	Etc [mm/mes]	Precipitación [mm/mes]	Necesidades Neta [mm]	Necesidades Neta mensuales [m3/ha]
Enero	31,74	18,50	13,24	132,43
Febrero	42,27	17,00	25,27	252,66
Marzo	44,31	15,00	29,31	293,06
Abril	82,42	20,00	62,42	624,25
Mayo	114,58	12,67	101,91	1019,09
Junio	138,47	0,00	138,47	1384,69
Julio	143,22	0,00	143,22	1432,17
Agosto	143,13	0,00	143,13	1431,32
Septiembre	98,41	21,00	77,41	774,09
Octubre	57,90	36,00	21,90	219,02
Noviembre	55,78	25,50	30,28	302,77
Diciembre	34,47	24,00	10,47	104,72

Tabla 5: Necesidades Netas de Césped por hectárea.

También se determinan las necesidades netas para las zonas de árboles, las cuales se presentan a continuación :

Mes	Etc [mm/mes]	Precipitación [mm/mes]	Necesidades Neta [mm]	Necesidades Neta mensuales [m3/ha]
Enero	31,00	18,50	12,50	124,96
Febrero	41,27	17,00	24,27	242,72
Marzo	43,26	15,00	28,26	282,64
Abril	80,49	20,00	60,49	604,85
Mayo	111,88	12,67	99,21	992,13
Junio	135,21	0,00	135,21	1352,11
Julio	139,85	0,00	139,85	1398,47
Agosto	139,76	0,00	139,76	1397,64
Septiembre	96,09	21,00	75,09	750,93
Octubre	56,54	36,00	20,54	205,40
Noviembre	54,46	25,50	28,96	289,65
Diciembre	33,66	24,00	9,66	96,61

Tabla 6: Necesidades Netas de Arboles por Hectárea.

A continuación, en la Figura 5, se presentan las necesidades netas de agua y su evolución a lo largo del año, proporcionando una visión detallada de cómo varían las demandas hídricas en diferentes en los diferentes meses del año:

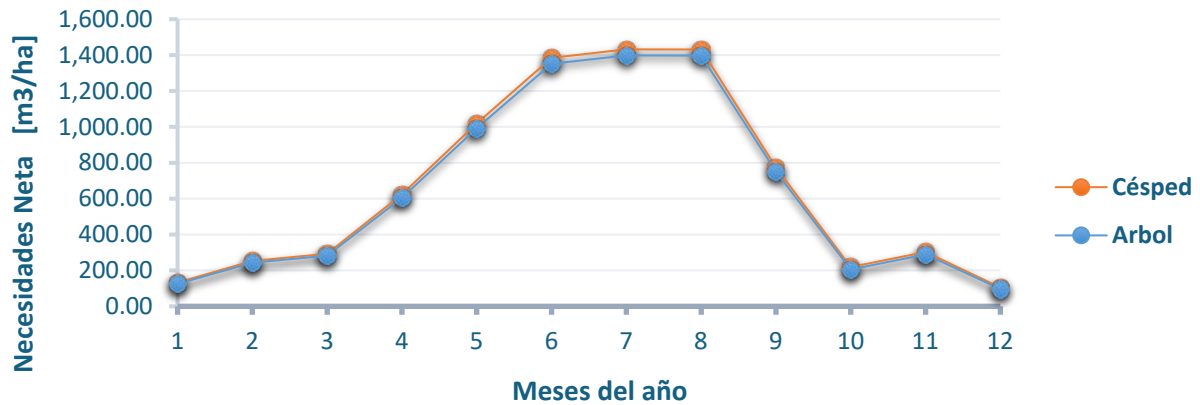


Figura 5: Necesidades Netas Mensuales.

3.2 Demandas Hídrica por Sectores

Una vez determinadas las necesidades hídricas netas por unidad de superficie de la ciudad de Valencia, se procede a determinar las necesidades hídricas de las diferentes zonas verdes de la ciudad regadas con la red de bajas. Para ello es necesario identificar todas las zonas de jardines y parques de la ciudad y que calcular su superficie. En la siguiente figura se presentan las zonas de riego abastecidas por la red de Baja Presión y su respectivo sector.

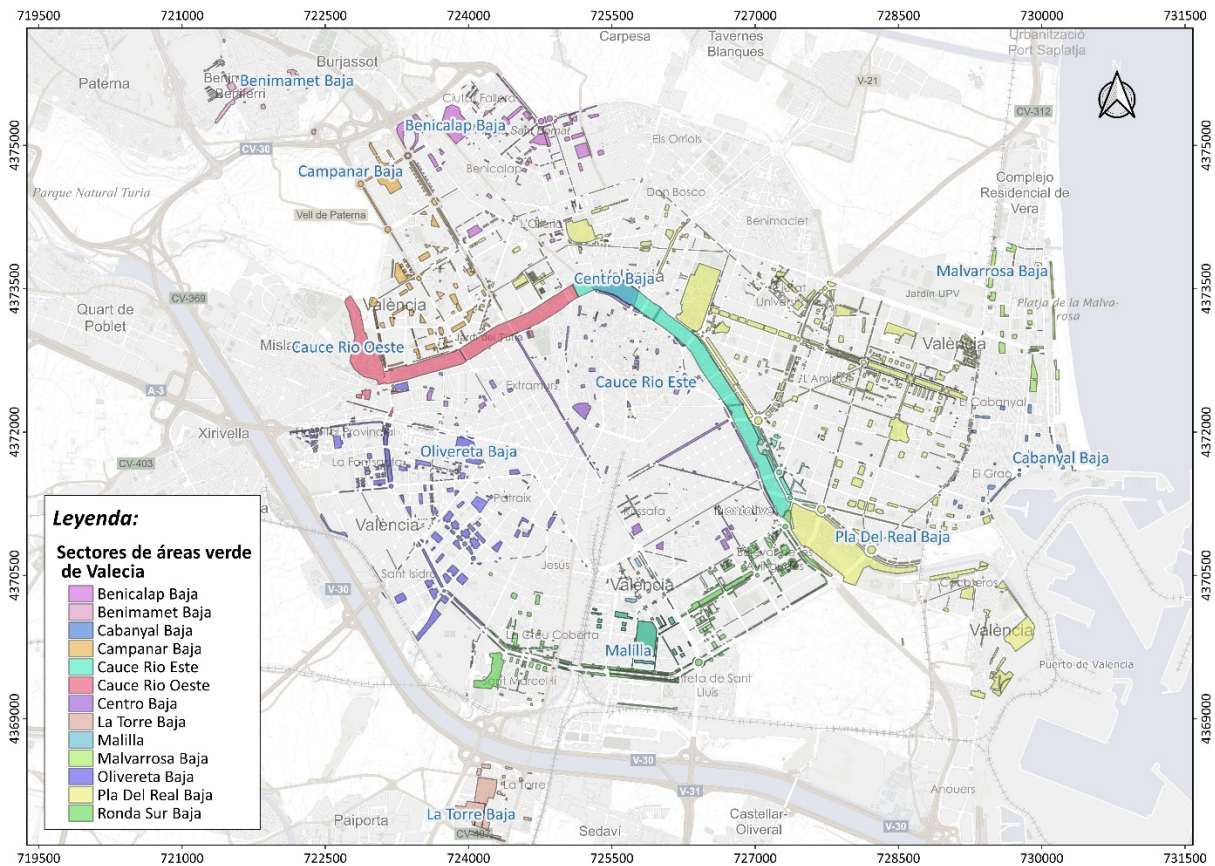


Figura 6: Zonas de riego abastecidas por la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.

Una vez identificadas las áreas verdes, jardines y parques que forman parte de la red de riego de Baja Presión en la ciudad de Valencia, se procedió a realizar un trabajo de depuración. Este proceso tuvo como objetivo eliminar todas aquellas zonas que no representan o no requieren riego, asegurando así la precisión y eficiencia en el uso del recurso hídrico. Para llevar a cabo esta depuración, se emplearon diversas herramientas y fuentes de información.

En primer lugar, se utilizaron ortofotografías de alta resolución del IDEV (Generalitat Valenciana, 2024), que permitieron obtener una visión detallada y precisa del terreno. Estas imágenes aéreas, corregidas geoméricamente, ofrecieron una base exacta para identificar y delimitar las áreas efectivas de riego. Complementariamente, se hizo uso de Google Earth, que proporcionó una visualización tridimensional y actualizada de las zonas en estudio, facilitando la identificación de características específicas del terreno y el análisis de cambios recientes en el uso del suelo.



Figura 7: Procesamiento de las Áreas Verdes.

Además, se consultaron registros de usos de suelo disponibles en las bases de datos municipales y los datos señalados en el Visor cartogràfic de la Generalitat Valenciana (Generalitat, 2024). Estos registros aportaron información crucial sobre la clasificación y utilización de diferentes áreas dentro de la ciudad, permitiendo distinguir entre zonas verdes

que requieren riego y otras áreas urbanas que no necesitan este recurso, como superficies pavimentadas, edificios y superficies duras.

El trabajo de depuración también incluyó unas visitas de campo y la colaboración del personal de Aguas de Valencia, en donde se revisaron en terreno zonas regadas por la red de Baja Presión. Como resultado de este proceso, se obtuvo un mapa depurado de las áreas verdes que realmente necesitan riego dentro de la red de Baja Presión de Valencia. La Figura 8 muestra un ejemplo de las áreas depuradas, donde se pueden observar claramente los sectores de Centro Baja, Pla del Real Baja, Cauce Río Este y Ronda Sur Baja, con una representación precisa de las zonas efectivas de riego.

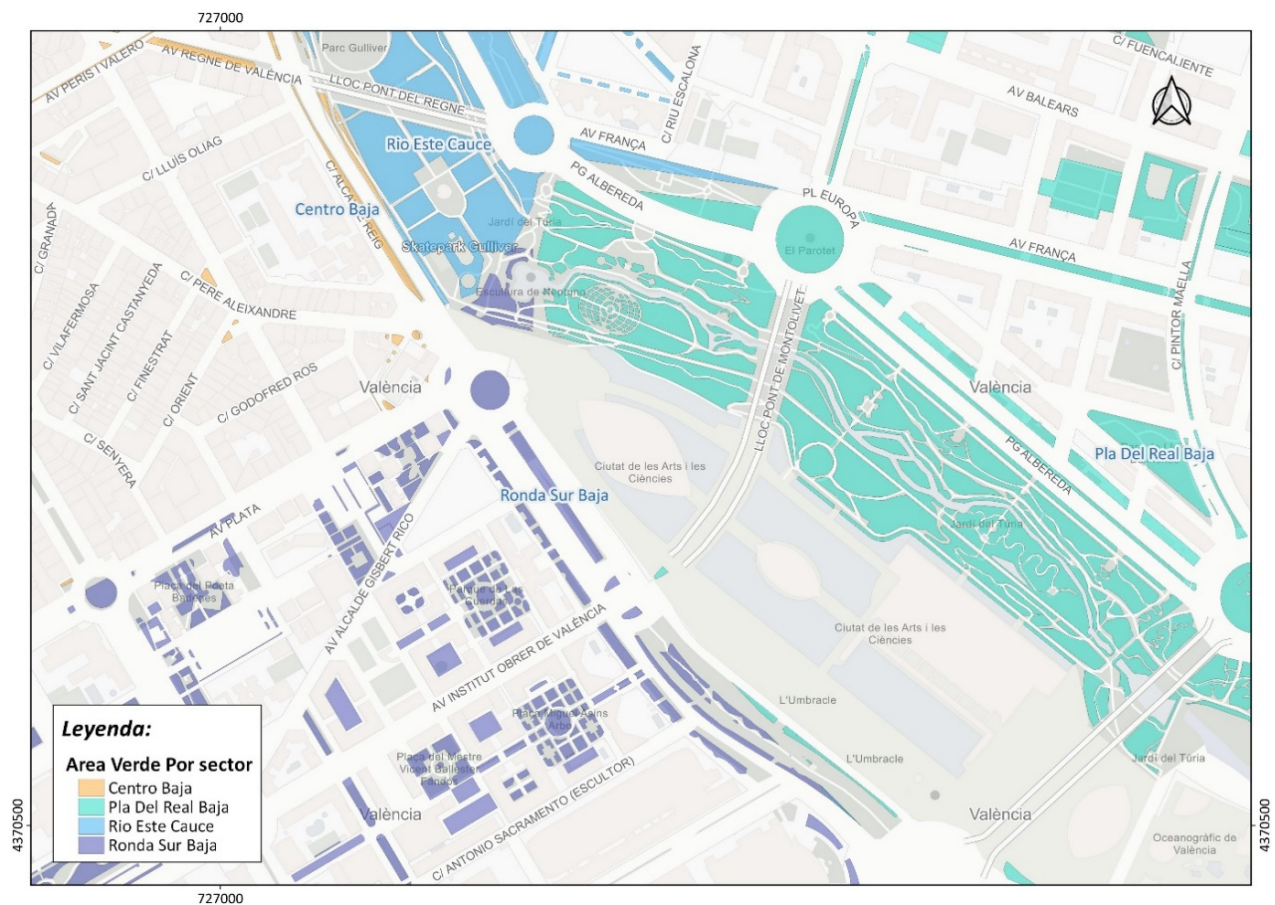


Figura 8: Zonas de riego abastecidas Procesadas por la red de Baja Presión.

Esta depuración es fundamental para determinar las necesidades netas reales de cada sector de y así poder optimizar la gestión del recurso hídrico, garantizando que el agua se distribuya únicamente en las áreas que lo requieren. En la Figura 9 se puede apreciar todos los sectores de la ciudad con sus áreas depuradas, en donde se puede observar claramente el trabajo realizado.

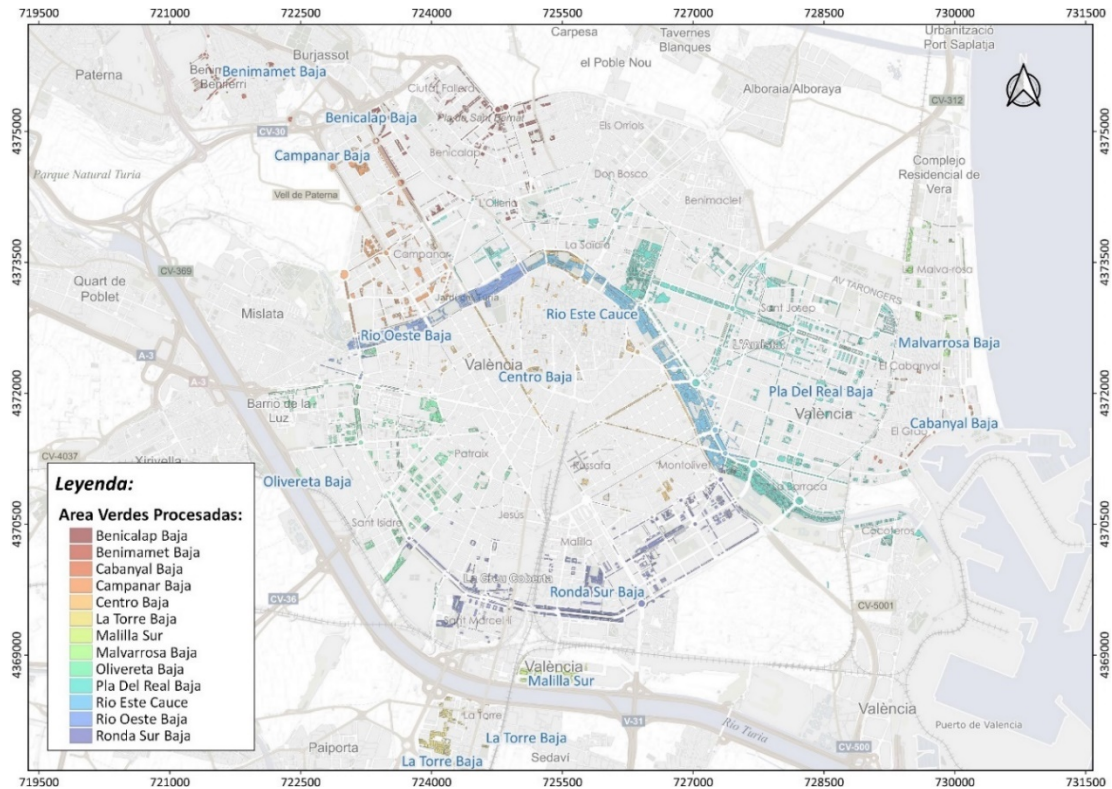


Figura 9: Áreas verdes depuradas regadas con agua de la Red de Baja.

Con las áreas procesadas, se estimaron las hectáreas de áreas verdes por sector, considerando que el 30% corresponde a arbolado y el 70% a césped. A continuación, se presentan las áreas procesadas por sector:

Sectores	Área Tota l[m2]	Área Verde Total [He]	Áreas Césped [Hectárea]	Área Árbol [Hectárea]
Benicalap	137.782	13,8	9,6	4,1
Benimamet	39.941	4	2,8	1,2
Bulevar Sur	339.505	34	23,8	10,2
Cabañal	22.286	2,2	1,6	0,7
Campanar	176.894	17,7	12,4	5,3
Centro	156.779	15,7	11	4,7
La Torre	62.479	6,2	4,4	1,9
Malvarrosa	50.769	5,1	3,6	1,5
Olivereta	214.309	21,4	15	6,4
Pla Del Real	757.474	75,7	53	22,7
Cauce Rio	480.431	48	33,6	14,4
Malilla Sur	42.318	4,2	3	1,3
Total	2.480.967	248,1	173,7	74,4

Tabla 7: Áreas Verdes por Sector.

Una vez definidas las áreas totales de riego, se determinaron las necesidades netas mensuales en función de las necesidades hídricas y la superficie total de áreas verdes. A continuación, se muestran las necesidades hídricas y su evolución mensual por sector.

Necesidades Hídricas de Césped sectores y por mes:

Sectores	Áreas [Ha]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Benicalap	9,60	1.277,30	2.436,90	2.826,50	6.020,70	9.828,90	13.355,00	13.812,90	13.804,70	7.465,90	2.112,40	2.920,10	1.010,00	76.871,10
Benimamet	2,80	370,30	706,40	819,40	1.745,30	2.849,20	3.871,40	4.004,10	4.001,80	2.164,20	612,40	846,50	292,80	22.283,80
Bulevar Sur	23,80	3.156,90	6.022,80	6.985,90	14.880,50	24.292,60	33.007,60	34.139,30	34.119,00	18.452,30	5.220,90	7.217,30	2.496,20	189.991,30
Cabañal	1,60	206,60	394,20	457,20	973,80	1.589,80	2.160,10	2.234,20	2.232,90	1.207,60	341,70	472,30	163,40	12.433,80
Campanar	12,40	1.639,90	3.128,60	3.628,90	7.729,80	12.619,00	17.146,10	17.733,90	17.723,40	9.585,20	2.712,00	3.749,10	1.296,70	98.692,40
Centro	11,00	1.453,40	2.772,90	3.216,20	6.850,80	11.184,00	15.196,30	15.717,30	15.708,00	8.495,20	2.403,60	3.322,80	1.149,20	87.469,90
La Torre	4,40	579,20	1.105,00	1.281,70	2.730,20	4.457,00	6.056,00	6.263,60	6.259,90	3.385,50	957,90	1.324,20	458,00	34.858,20
Malvarrosa	3,60	470,60	897,90	1.041,50	2.218,50	3.621,70	4.921,00	5.089,70	5.086,70	2.751,00	778,40	1.076,00	372,10	28.325,00
Olivereta	15,00	1.986,70	3.790,30	4.396,40	9.364,70	15.288,00	20.772,60	21.484,80	21.472,10	11.612,60	3.285,70	4.542,00	1.570,90	119.566,90
Pla Del Real	53,00	7.022,00	13.397,00	15.539,10	33.099,50	54.035,40	73.420,80	75.937,90	75.892,90	41.044,60	11.613,10	16.053,80	5.552,50	422.608,60
Cauce Rio	33,60	4.453,70	8.497,10	9.855,70	20.993,50	34.272,20	46.567,40	48.164,00	48.135,40	26.032,70	7.365,70	10.182,20	3.521,70	268.041,20
Malilla Sur	3,00	392,30	748,50	868,10	1.849,20	3.018,80	4.101,80	4.242,40	4.239,90	2.293,00	648,80	896,90	310,20	23.610,00
Total	173,70	23.008,80	43.897,50	50.916,60	108.456,20	177.056,70	240.576,30	248.824,10	248.676,50	134.489,90	38.052,50	52.603,20	18.193,60	1.384.752,00

Tabla 8: Necesidades Hídricas del Áreas de césped por Sector.

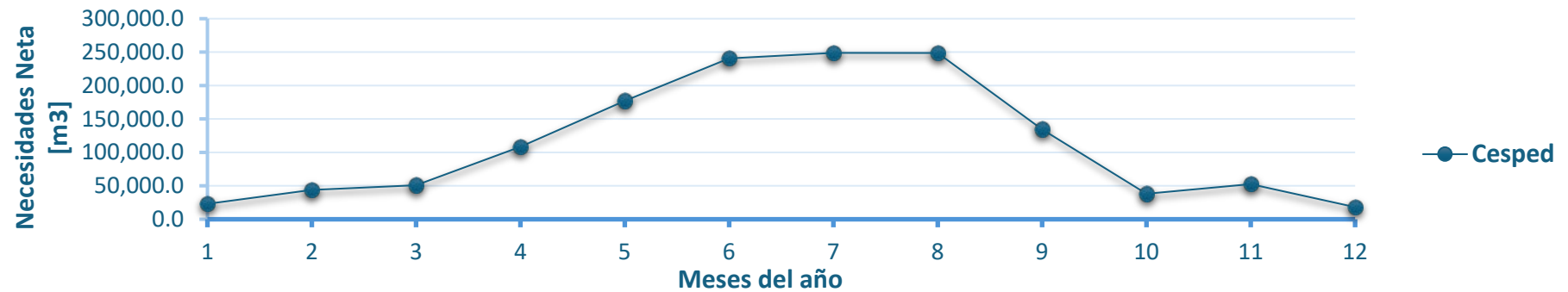


Figura 10: Necesidades Hídricas totales de césped según mes.

Necesidades Hídricas de Arboles sectores y por mes:

Sectores	Áreas [Ha]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Benicalap	4,13	516,53	1.003,26	1.168,27	2.500,13	4.100,94	5.588,90	5.780,51	5.777,08	3.103,95	849,00	1.197,24	399,32	31.985,12
Benimamet	1,20	149,74	290,83	338,66	724,75	1.188,80	1.620,14	1.675,69	1.674,69	899,79	246,11	347,06	115,76	9.272,02
Bulevar Sur	10,19	1.272,77	2.472,11	2.878,71	6.160,50	10.105,01	13.771,46	14.243,60	14.235,14	7.648,36	2.091,99	2.950,09	983,95	78.813,69
Cabañal	0,67	83,55	162,28	188,97	404,39	663,32	903,99	934,99	934,43	502,06	137,32	193,65	64,59	5.173,54
Campanar	5,31	663,16	1.288,06	1.499,91	3.209,84	5.265,07	7.175,41	7.421,41	7.417,01	3.985,06	1.090,00	1.537,10	512,67	41.064,69
Centro	4,70	587,75	1.141,59	1.329,35	2.844,84	4.666,36	6.359,48	6.577,51	6.573,60	3.531,91	966,05	1.362,31	454,38	36.395,14
La Torre	1,87	234,23	454,94	529,77	1.133,71	1.859,62	2.534,36	2.621,24	2.619,69	1.407,53	384,99	542,90	181,08	14.504,06
Malvarrosa	1,52	190,33	369,68	430,48	921,23	1.511,09	2.059,36	2.129,96	2.128,70	1.143,72	312,83	441,15	147,14	11.785,66
Olivereta	6,43	803,42	1.560,50	1.817,15	3.888,75	6.378,68	8.693,09	8.991,12	8.985,79	4.827,95	1.320,55	1.862,21	621,11	49.750,32
Pla Del Real	22,72	2.839,70	5.515,57	6.422,72	13.744,77	22.545,42	30.725,68	31.779,07	31.760,21	17.064,36	4.667,46	6.581,98	2.195,31	175.842,24
Cauce Rio	14,41	1.801,09	3.498,27	4.073,63	8.717,68	14.299,53	19.487,89	20.156,01	20.144,04	10.823,14	2.960,36	4.174,65	1.392,38	111.528,66
Malilla Sur	1,27	158,65	308,14	358,82	767,88	1.259,55	1.716,56	1.775,41	1.774,36	953,34	260,76	367,72	122,65	9.823,82
Total	73,16	9.300,91	18.065,22	21.036,43	45.018,46	73.843,39	100.636,32	104.086,51	104.024,74	55.891,16	15.287,42	21.558,07	7.190,33	575.938,96

Tabla 9: Necesidades Hídricas del Áreas de árbol por Sector. Fuente: AA.VV.

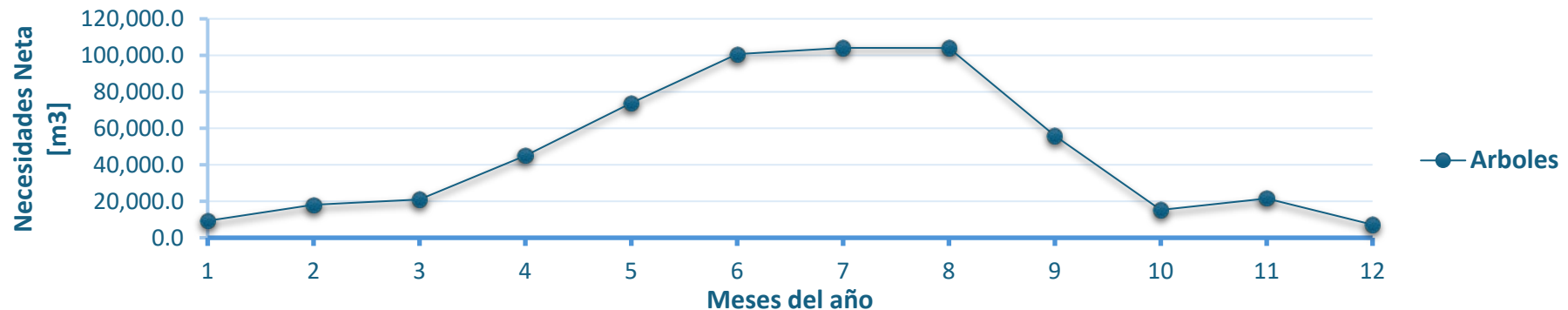


Figura 11 Necesidades Hídricas totales de árboles según mes.

Necesidades Hídricas Totales de Valencia por sectores y por mes :

Sectores	Áreas [Ha]	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Benicalap	13,78	1.793,81	3.440,13	3.994,78	8.520,81	13.929,80	18.943,90	19.593,37	19.581,74	10.569,82	2.961,39	4.117,38	1.409,29	108.856,21
Benimamet	3,99	520,00	997,24	1.158,03	2.470,06	4.038,05	5.491,56	5.679,83	5.676,46	3.064,04	858,46	1.193,57	408,53	31.555,83
Bulevar Sur	34,02	4.429,63	8.494,96	9.864,59	21.040,95	34.397,61	46.779,09	48.382,86	48.354,14	26.100,69	7.312,88	10.167,37	3.480,16	268.804,94
Cabañal	2,23	290,15	556,43	646,15	1.378,23	2.253,12	3.064,14	3.169,19	3.167,31	1.709,65	479,00	665,98	227,95	17.607,30
Campanar	17,69	2.303,01	4.416,67	5.128,78	10.939,60	17.884,04	24.321,48	25.155,31	25.140,38	13.570,26	3.802,03	5.286,17	1.809,35	139.757,08
Centro	15,68	2.041,13	3.914,44	4.545,57	9.695,63	15.850,41	21.555,83	22.294,85	22.281,61	12.027,16	3.369,69	4.685,07	1.603,60	123.865,00
La Torre	6,25	813,43	1.559,97	1.811,48	3.863,87	6.316,65	8.590,35	8.884,86	8.879,59	4.793,02	1.342,88	1.867,08	639,06	49.362,23
Malvarrosa	5,08	660,97	1.267,60	1.471,97	3.139,69	5.132,76	6.980,32	7.219,63	7.215,35	3.894,70	1.091,19	1.517,14	519,29	40.110,62
Olivereta	21,43	2.790,13	5.350,85	6.213,57	13.253,44	21.666,71	29.465,73	30.475,93	30.457,84	16.440,52	4.606,20	6.404,26	2.192,04	169.317,22
Pla Del Real	75,75	9.861,69	18.912,54	21.961,82	46.844,22	76.580,86	104.146,48	107.717,01	107.653,08	58.108,94	16.280,60	22.635,81	7.747,76	598.450,81
Cauce Rio	48,04	6.254,82	11.995,35	13.929,38	29.711,14	48.571,72	66.055,33	68.319,96	68.279,41	36.855,83	10.326,04	14.356,85	4.914,05	379.569,89
Malilla Sur	4,23	550,95	1.056,59	1.226,95	2.617,06	4.278,36	5.818,38	6.017,85	6.014,28	3.246,39	909,55	1.264,60	432,85	33.433,81
Total	248,17	32.309,71	61.962,77	71.953,07	153.474,70	250.900,09	341.212,60	352.910,66	352.701,21	190.381,02	53.339,93	74.161,28	25.383,93	1.960.690,96

Tabla 10: Necesidades Hídricas totales por Sector. Fuente: AA.VV.

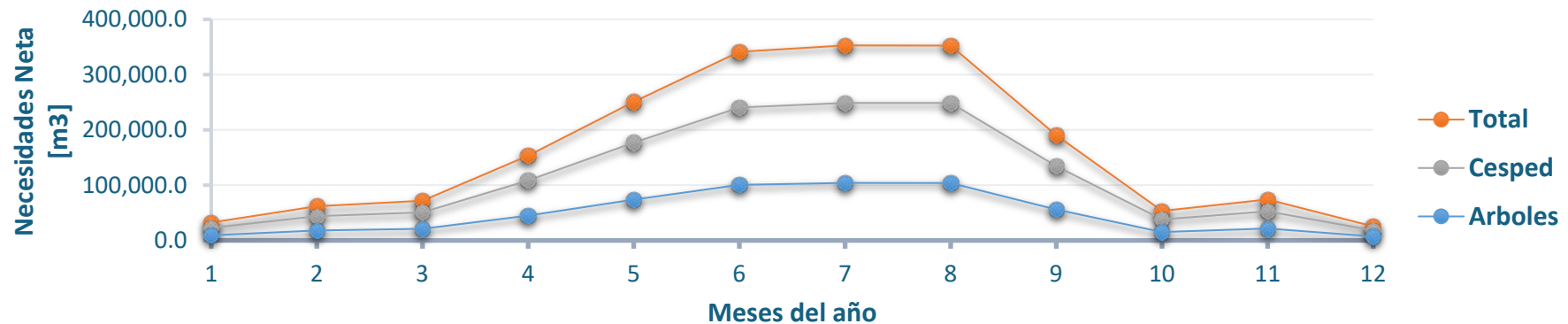


Tabla 11: Necesidades Hídricas de totales según mes y tipología de área verde.

4 CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE BAJA PRESIÓN

En este capítulo, se presenta una descripción detallada de las instalaciones de la red de Baja Presión de la ciudad de Valencia. Se analiza su funcionamiento, alcance, características físicas y todos los elementos singulares que la componen.

4.1 Funcionamiento y Propósito de la Red

La red de Baja Presión de Valencia tiene su origen en la antigua red de abastecimiento de la ciudad. Debido a la antigüedad de algunas de sus tuberías, no puede soportar presiones elevadas y actualmente se utiliza para el riego de jardines, el baldeo de calles, el llenado de fuentes ornamentales, entre otros usos. (Aguas de Valencia, 2023)

4.1.1 Alcances y Zonas de Riego

La red de Baja Presión abastece de agua no potable a una gran parte de Valencia, proporcionando un recurso esencial para el riego de numerosos parques públicos, jardines privados, campos deportivos, arbolado urbano y otras áreas verdes. Este sistema de distribución permite mantener la vitalidad y el crecimiento de estas zonas sin recurrir al uso de agua potable, lo que contribuye a una gestión más sostenible de los recursos hídricos de la ciudad (Aguas de Valencia, 2023). En Figura 12, se visualizan todas las zonas de áreas verdes que se benefician del riego mediante la red de Baja Presión:

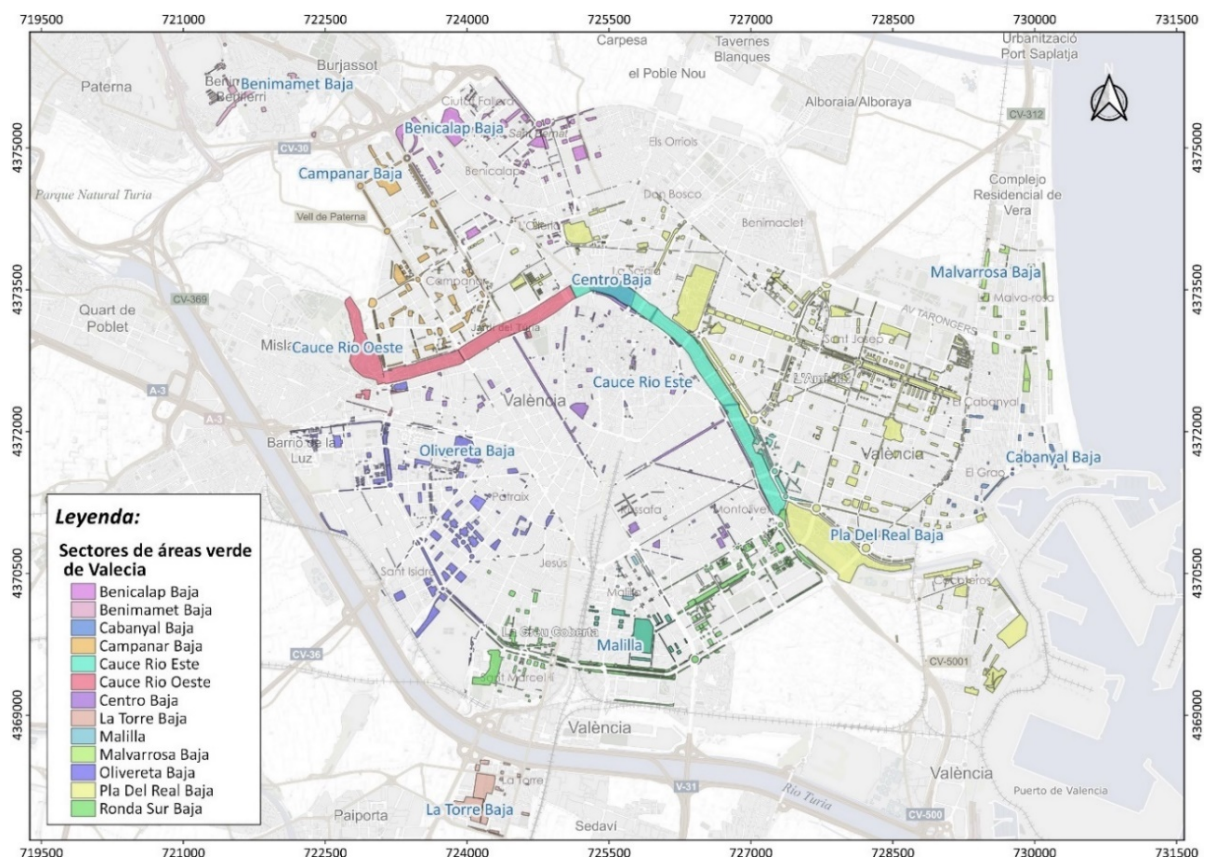


Figura 12: Zonas de riego abastecidas por la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.

Como se puede apreciar en la figura anterior, diversas zonas se benefician del riego con esta red de Baja Presión. Entre ellas se incluyen los Jardines del Turia, el Jardín Botánico, los Jardines de Viveros, así como las zonas verdes de edificios residenciales y comerciales, además el arbolado que bordea las calles y avenidas de la ciudad también es regado con agua de Baja Presión.

4.2 Pozos y Estaciones de Bombeo

El sistema de red en Baja de la ciudad de Valencia cuenta actualmente con 13 captaciones en funcionamiento, todos estos puntos de captación corresponden a pozos conectados o aislado de la red. Cada pozo de la red de la ciudad de Valencia cuenta con una estación de bombeo, las cuales varían entre pozos. Cada una de estas estaciones de bombeo presentan características propias que varían en los diferentes pozos, dependiendo de las necesidades hídricas del sector y profundidad de la napa.

Actualmente todos los pozos cuentan con un contador volumétrico de caudal a la salida del pozo, así como un dispositivo de control del nivel del agua en el acuífero. Esto permite conocer el volumen suministrado por cada captación, y además gracias a los contadores instalados se ha podido sectorizar la red. (Aguas de Valencia, 2023)

A continuación, se presenta la ubicación de los todos los pozos de la red:

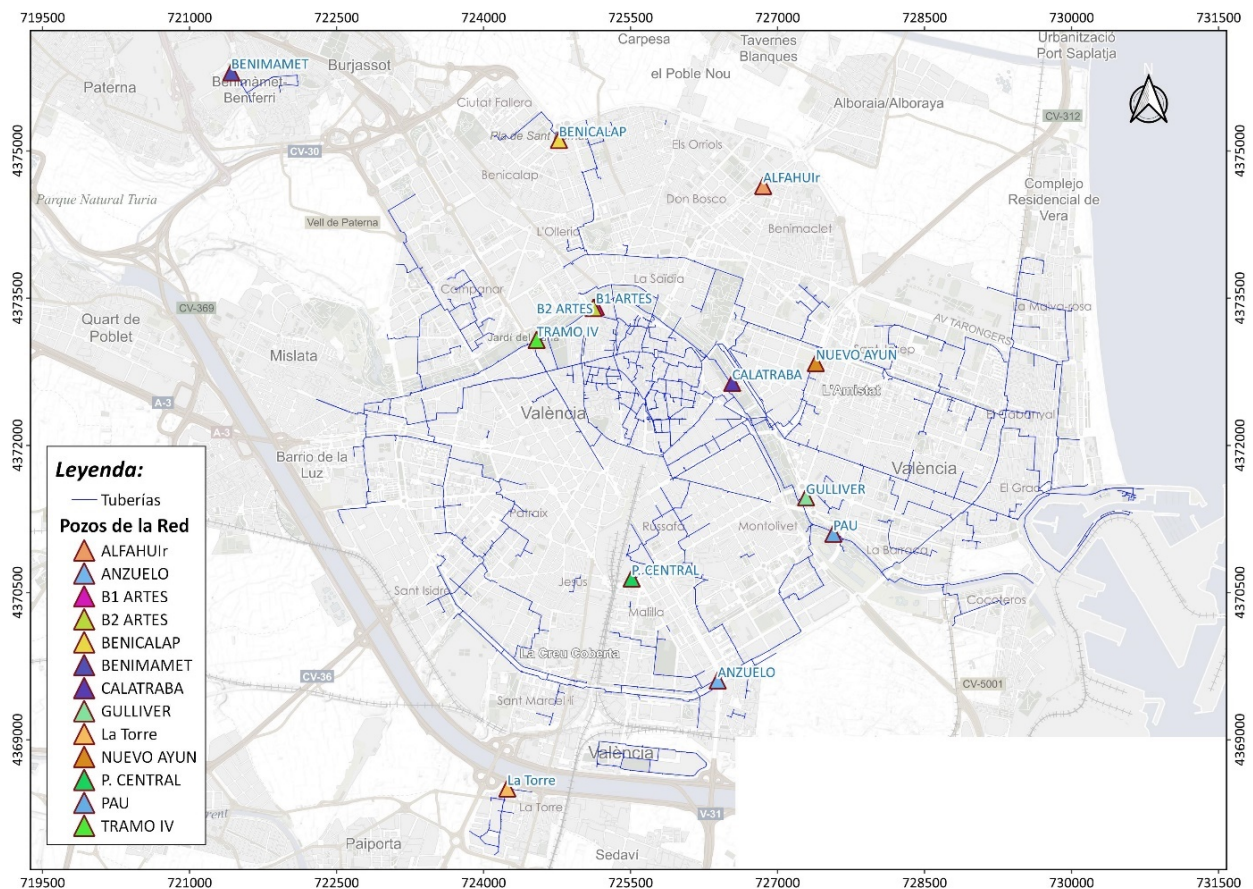


Figura 13: Pozos de la Red. Fuente: AA. VV.

Todas las estaciones cuentan con equipo de cloración, bombeo de dosificación y control de la concentración de cloro residual, para mantener una concentración de cloro libre residual en la red de baja, próxima a los 0,5 ppm que garantice la ausencia de *Legionella* spp. Además, existen 26 puntos de control a lo largo de toda la red, así como medidores de cloro libre residual para mantener vigilada la red. (Aguas de Valencia, 2023)

De las 13 captaciones se tiene concesión de aprovechamiento de un Volumen Máximo Anual de 4.006.728 m³/año con destino a Uso Recreativo (riego de jardines de la ciudad de Valencia, riego de arbolado viario, baldeo de calles y otros servicios y usos ornamentales) para los siguientes 10 pozos:

1. Tramo IV – Antiguo Cauce
2. Calatrava. Tramo VII – Alameda
3. Gúlliver. Tramo XII – Alcoholera
4. Ayuntamiento Nuevo
5. Pau. Tramo XIV – Avenida de Francia
6. Puente de las Artes 1
7. Puente de las Artes 2
8. Anzuelos. Bulevar Sur
9. Benicalap Nuevo
10. Avenida Alfahuir.

A continuación, se describe las características de uno los pozos y su respectiva estación de bombeo, la ubicación y las características del resto de los pozos se pueden visualizar en los anejos del documento.

1.1.1 Tramo V - Pozos Puesto de las Artes 1 y 2.

Los pozos del Puesto de las Artes se encuentran emplazado en la margen derecha del antiguo cauce del río Turia, entre el puente de las Artes y el puente de San José. Su ubicación se presenta exacta se presenta en la Figura 14 :

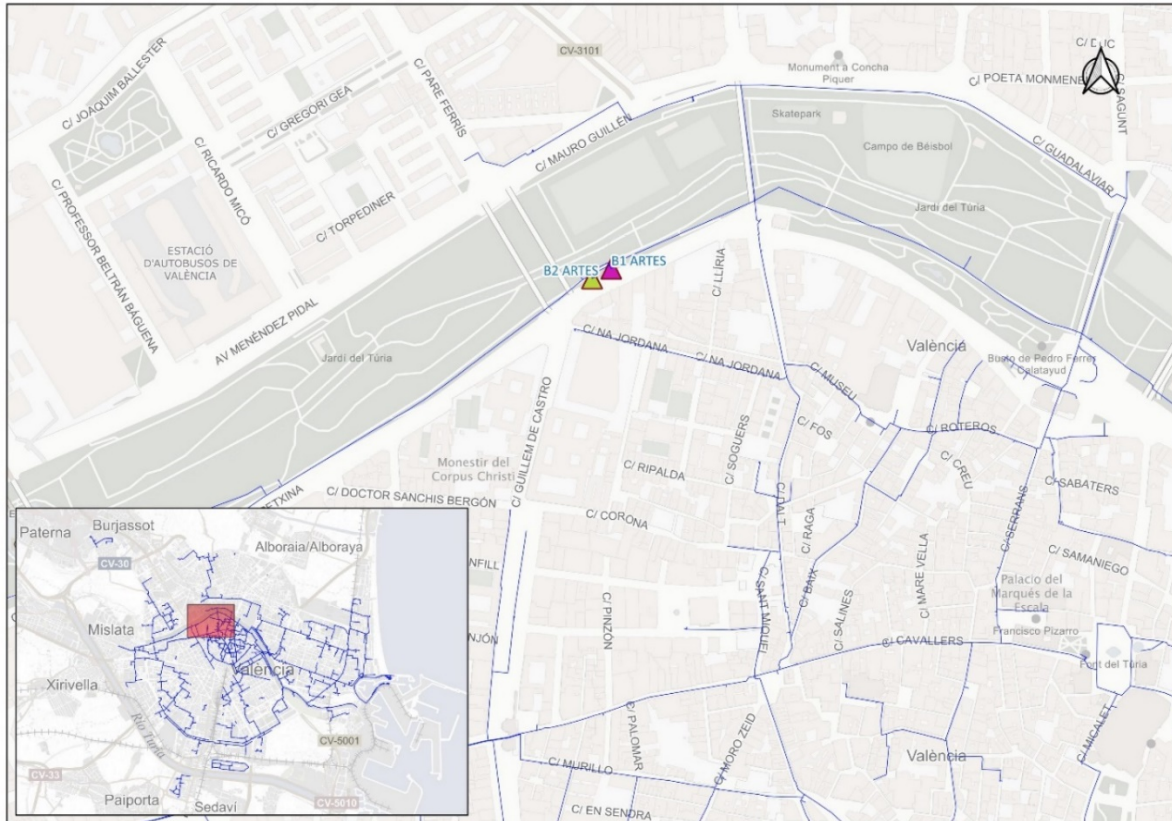


Figura 14: Ubicación Pozos Artes 1 y 2. Fuente: AA.VV.

A continuación, se detallan las principales características técnicas e hidráulicas de la estación de bombeo ubicada en el pozo:

POZO PUENTE DE LAS ARTES 1	
Profundidad perforación	66 m
Potencia bomba	74 kW
Profundidad de la bomba	36 m
Punto de funcionamiento	95 l/s – 58 m.c.a.
Calibre contador	200 mm

POZO PUENTE DE LAS ARTES 2	
Profundidad perforación	33 m
Potencia bomba	22 kW
Profundidad de la bomba	24 m
Punto de funcionamiento	37 l/s – 32 m.c.a.
Calibre contador	200 mm

Tabla 12:Características Bombas Pozos Artes 1 y 2.Fuente: AA.VV.

4.3 Características Físicas de la Red de Distribución

La red de Baja Presión tiene una extensión de 144,4 km, con materiales como la fundición, el fibrocemento y polietileno en su mayoría. A su vez, la red cuenta con aproximadamente 2.000 válvulas de corte, más de 200 desagües y más de 500 ventosas. A continuación, se presentan las principales características físicas de la red de Baja Presión de la ciudad de Valencia.

4.3.1 Diámetros

En la Figura 15, se muestra un plano de la distribución de las tuberías de la red de Baja Presión, destacando la distribución de los diámetros de las tuberías. Esta representación gráfica de los diámetros ayuda a comprender de mejor manera cómo se distribuye el flujo de agua a través de la red, permitiendo identificar las áreas con mayores y menores capacidades de transporte.

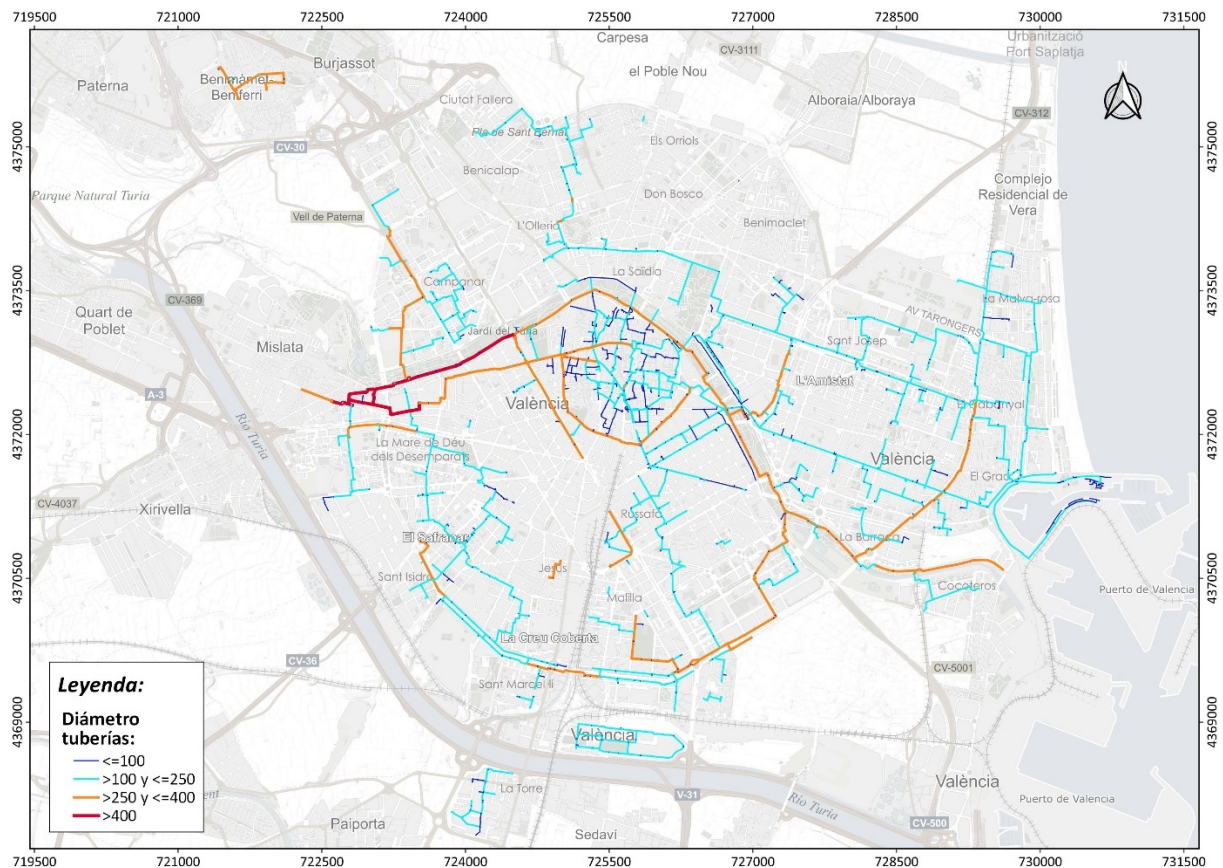


Figura 15: Diámetros de las tuberías de la red de Baja Presión. Fuente: AA.VV.

La observación de la Figura 15 facilita el análisis de la eficiencia del sistema, ya que permite visualizar los posibles cuellos de botella y las zonas donde puede ser necesario realizar mejoras, propuestas de conexiones o aumentos de diámetro con el fin de optimizar el suministro de agua y su distribución.

Se observa que la mayor parte de la red está compuesta por tuberías diámetro que van entre los 100 y 250 mm representadas en celestes. Estas tuberías están distribuidas

ampliamente por toda la ciudad y tienen como objetivo la distribución del recurso hídrico por parques y las diferentes áreas verdes existentes. Las tuberías con diámetros entre 250 mm y 400 mm color naranja son menos comunes, pero se pueden ver en áreas estratégicas donde se requiere un mayor suministro de agua, estas tuberías son las encargadas de transportar grandes volúmenes de caudales a los diferentes sectores.

Por último, las tuberías de mayor diámetro ($D > 400$ mm), representadas en color rojo marrón, son las con menos presencia en la red. Estas tuberías solo corresponden a un tramo ubicado principalmente en el cauce del río y pertenece a un ramal de la red que antiguamente transportaba agua desde el antiguo depósito situado en Mislata.

A continuación, se presenta la Tabla 13, que muestra la longitud total de las tuberías según su diámetro y el porcentaje que cada una representa dentro de la red:

Diámetro Nominal [mm]	Longitud [m]	Porcentaje
15	22,3	0,02%
19	20,4	0,01%
20	46,5	0,03%
25	192,4	0,13%
30	1	0,00%
32	328,6	0,23%
40	447,9	0,31%
50	4.428,8	3,06%
60	1.117,2	0,77%
63	614,8	0,43%
65	9,7	0,01%
75	1.276	0,88%
80	4.299,7	2,97%
90	3.399,3	2,35%
100	6.809,8	4,71%
110	16.242,4	11,23%
125	662,3	0,46%
150	11.920,4	8,24%
160	12.792,4	8,85%
175	83	0,06%
200	42.833,1	29,62%
225	140	0,10%
250	4.103,1	2,84%
300	4.573,4	3,16%
315	9.770,9	6,76%

Diámetro Nominal [mm]	Longitud [m]	Porcentaje
323	13	0,01%
350	4.259,1	2,95%
355	2.248,6	1,55%
400	8.695,4	6,01%
406	13,6	0,01%
450	11,8	0,01%
500	1.166,6	0,81%
600	2.022,3	1,40%
630	43,0	0,03%
Total, general	144.608,9	100%

Tabla 13: Longitud según diámetro de la red. Fuente: AA.VV.

Como se puede observar, la red presenta una extensa gama de diámetros instalados, desde los 630 [mm] los de mayor diámetro, hasta 15 mm los más pequeños. Como se aprecia en la Figura 15: Diámetros de las tuberías de la red de Baja Presión, el diámetro más común en toda la red es de 200 mm, el cual abarca aproximadamente el 30% de su extensión total.

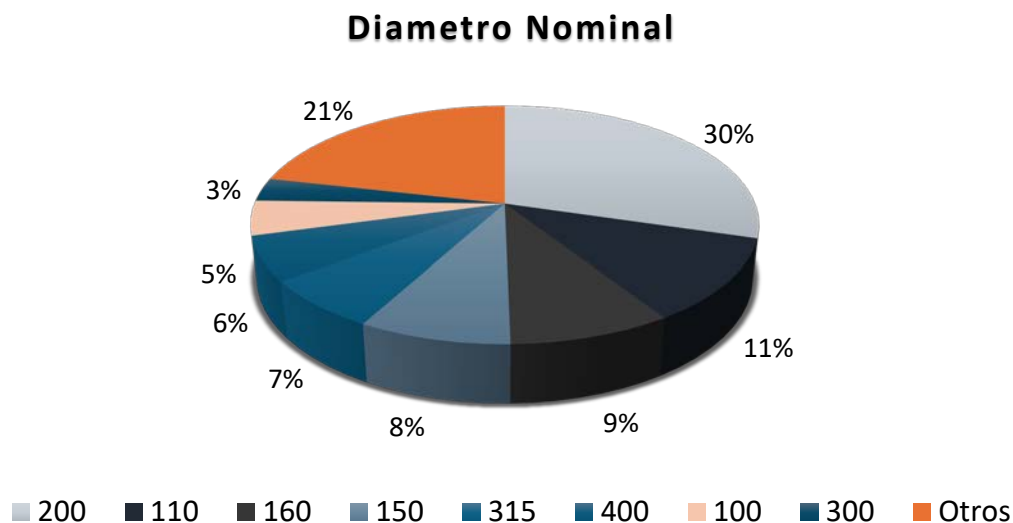


Figura 16: Distribución de diámetro de las tuberías de la Red.

Por último, de la Figura 16, se aprecia que el 21% de la red corresponde a tuberías de diámetro menor a 100 mm. Estas tuberías se utilizan principalmente en los ramales de abonados y en los tramos finales de la red. Su función principal es distribuir el agua a las áreas finales de consumo, incluyendo jardines, parques pequeños y otras áreas que necesitan riego y baldeo.

4.3.2 Material

En cuanto a la distribución de material de la red, este es muy variado y esto se puede explicar por múltiples factores, uno de los más importante, corresponde a la antigüedad que presenta la red y como han ido cambiando y evolucionando los materiales utilizados para la construcción de las redes de distribución de agua. En la Figura 17, se presenta la red de Baja Presión y los distintos materiales que lo conforman:

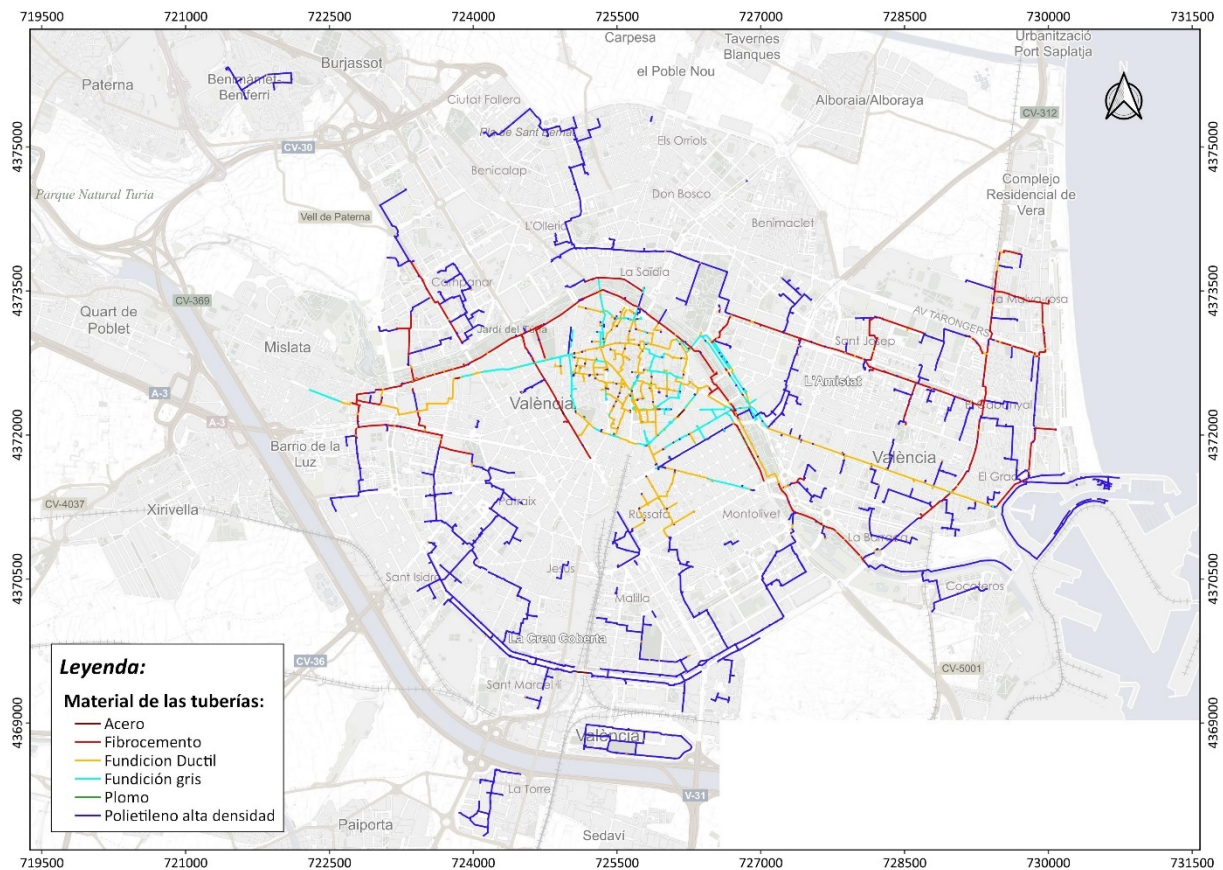


Figura 17: Material de las tuberías de la red.

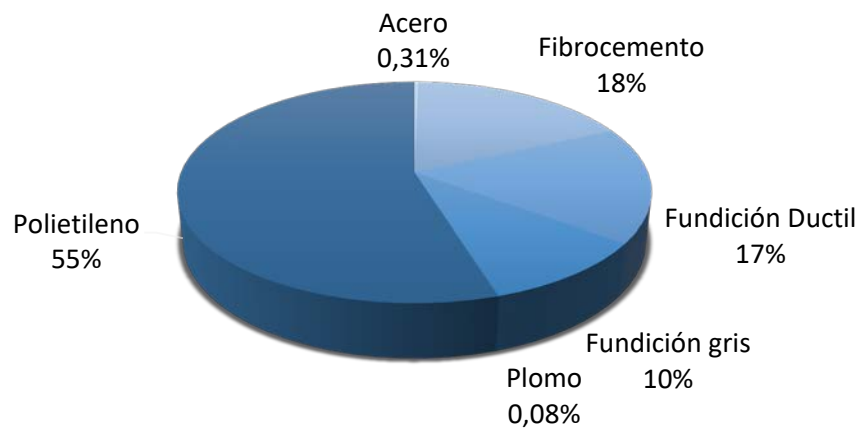
Se puede apreciar que, en el centro histórico de Valencia existe una predominancia de tuberías fundición dúctil y fundición gris, materiales típicos de redes más antiguas construidas antes de la década de 1970. Estos materiales reflejan las técnicas de construcción de la época, donde el fibrocemento era común debido a su bajo costo y durabilidad.

En las áreas más modernas y periféricas de la ciudad, como las zonas residenciales y comerciales, observamos una mayor utilización de tuberías de polietileno y polietileno de alta densidad. Estos materiales son indicativos de instalaciones más recientes, a partir de la década de 1980 en adelante, debido a su flexibilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de instalación. Esta distribución refleja cómo la evolución de los materiales utilizados en la red de abastecimiento está vinculada con los periodos de desarrollo urbano y la innovación en materiales de construcción.

Material	Longitud [m]	Porcentaje
Acero	445,7	0,31%
Fibroceso	25.839	17,87%
Fundición dúctil	24.482,9	16,93%
Fundición gris	14.506,1	10,03%
Plomo	110,2	0,08%
Polietileno	79.225	54,79%
Total	144.608,9	100%

Tabla 14: Distribución de Material de la Red. Fuente: AA.VV.

Materiales de la Red



■ Acero ■ Fibroceso ■ Fundición Dúctil ■ Fundición gris ■ Plomo ■ Polietileno

Figura 18: Distribución de los materiales en la red. Fuente: AA.VV.

Se observa que el material más predominante en toda la infraestructura de suministro es el Polietileno, que constituye el 55% del total de la red. Le sigue el fibroceso, el cual está presente en un 18%, posteriormente se encuentra la presencia de Fundición dúctil y fundición gris con un 17% y un 10% respectivamente, indicando su presencia principalmente en áreas más antiguas de la ciudad.

4.3.3 Edad de la instalación

Tal como se mencionó anteriormente, la red de Baja Presión de Valencia ha experimentado varias fases de desarrollo y renovación a lo largo de los años. Estas fases se pueden dividir en periodos históricos que reflejan los avances tecnológicos y las políticas de gestión del agua de la ciudad.

En la Figura 19, se muestra la ubicación y evolución de la red de distribución a lo largo de distintas épocas de su desarrollo. Esta representación gráfica permite observar cómo la red ha crecido y se ha adaptado a lo largo del tiempo:

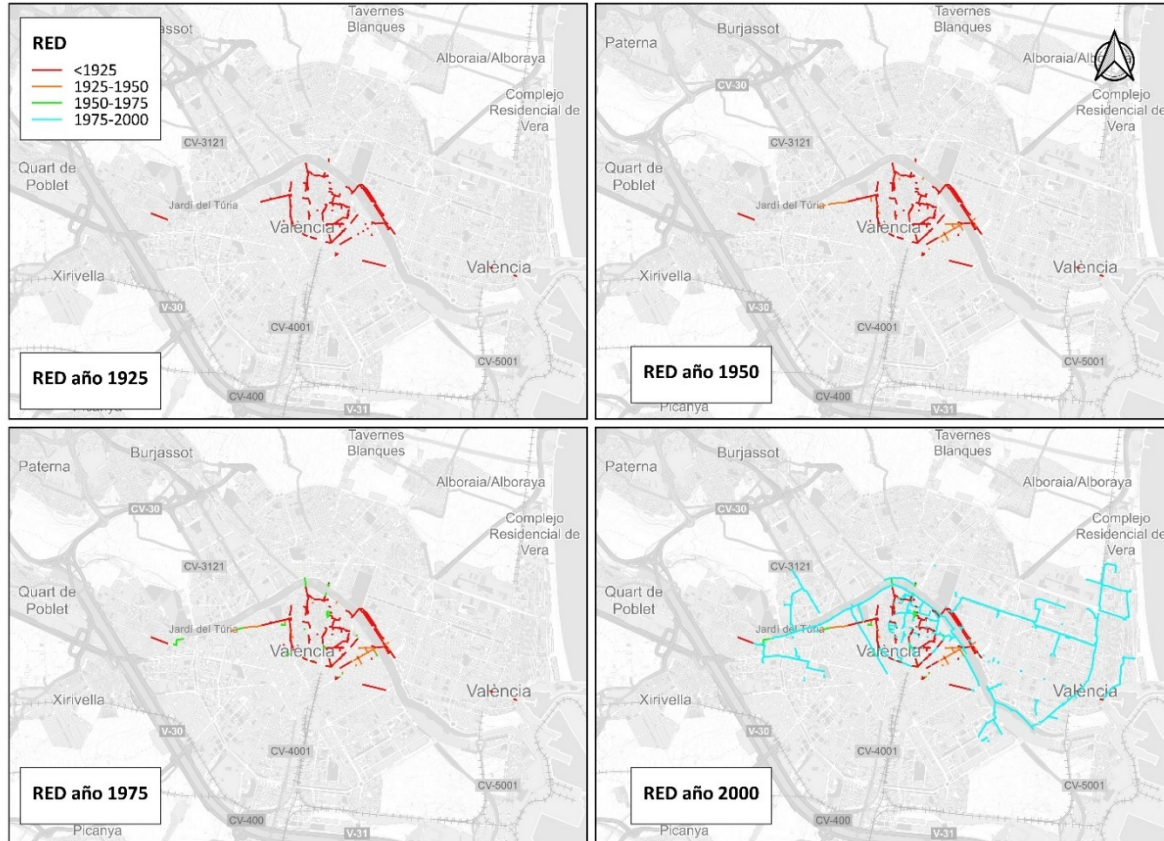


Figura 19: Evolución de la red de Baja Presión de Valencia Fuente: AA.VV.

Como se puede apreciar de la evolución de la red, en el año 1925, la infraestructura se concentraba en el núcleo central de la ciudad con tuberías principales de hierro fundido. Para 1950, la red había comenzado a expandirse ligeramente, manteniendo su enfoque en el centro urbano. En 1975, se observa una mayor expansión, con nuevas secciones de tuberías de materiales más modernos como polietileno, extendiéndose hacia áreas periféricas.

Para el año 2000, la red muestra una renovación significativa con la introducción de tuberías de polietileno de alta densidad y una cobertura mucho más amplia, incluyendo tanto el centro de la ciudad como los suburbios circundantes, reflejando los avances en la tecnología de tuberías y la creciente demanda urbana.

Sin el embargo la mayor expansión de la red ocurre en el periodo posterior al año 2000. Desde el este año, la infraestructura de distribución ha crecido significativamente, extendiéndose más allá del centro histórico de la ciudad y abarcando amplias zonas periféricas y suburbanas. Las tuberías instaladas en este periodo, representadas en azul oscuro en la Figura 20, se distribuyen ampliamente por toda la ciudad, cubriendo barrios que antes no estaban conectados a la red principal.

A continuación, en la Figura 20, se presenta la red hoy en día y los distintos periodos de expansión:

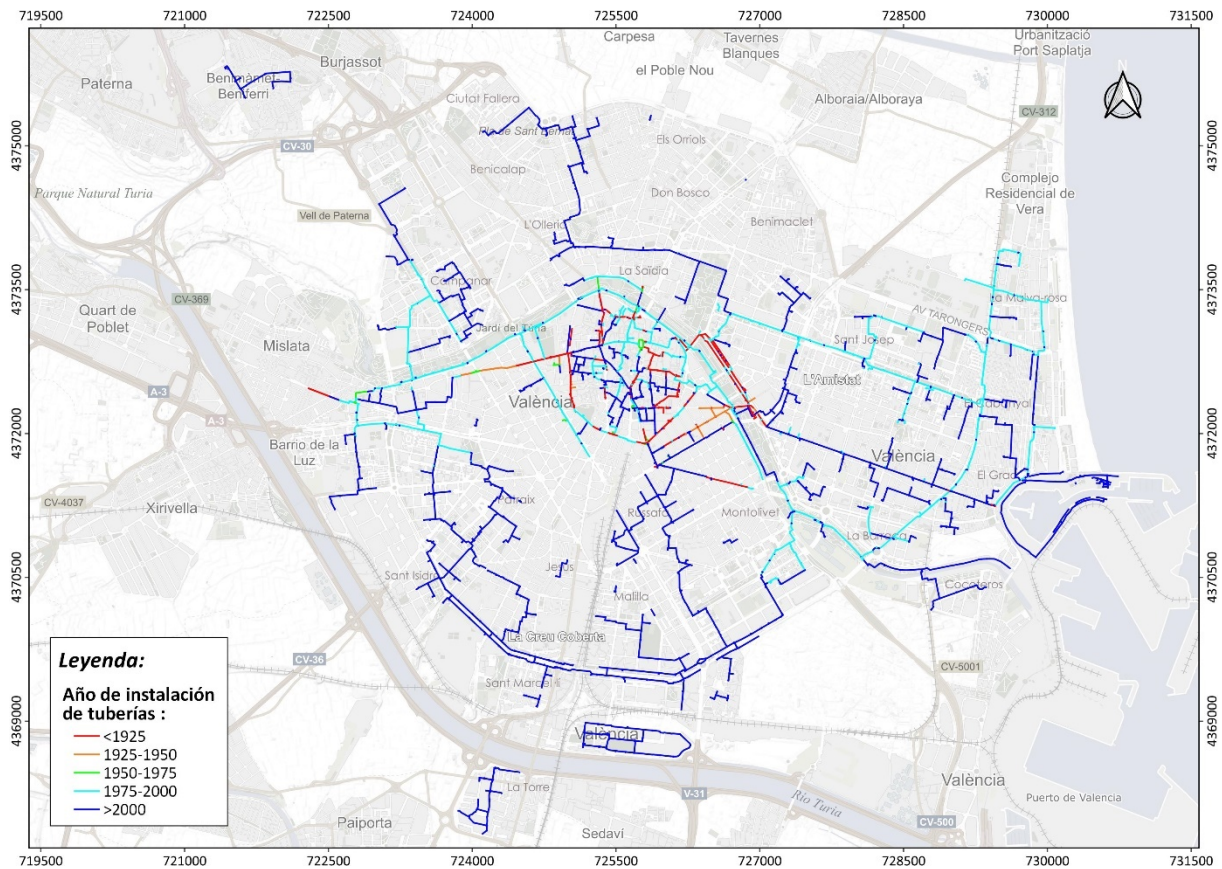


Figura 20: Red actual de Valencia según año de instalación. Fuente: AA.VV.

En la Tabla 15, se presenta la evolución y crecimiento de la red de Baja Presión a lo largo de los años, basada en la longitud de las tuberías instaladas y sus respectivos porcentajes:

Año de Instalación	Longitud [m]	Porcentaje
Anterior a 1925	11.456,0	7,92%
Entre 1925 a 1950	2.601,5	1,80%
Entre 1950 a 1975	970,9	0,67%
Entre 1975 a 2000	37.769,1	26,12%
Superior a 2000	91.811,4	63,49%
Total, general	144.608,9	100%

Tabla 15: Edad de las tuberías de la red de Valencia. Fuente: AA.VV.

La información anteriormente presentada, se ilustra en la Figura 21:

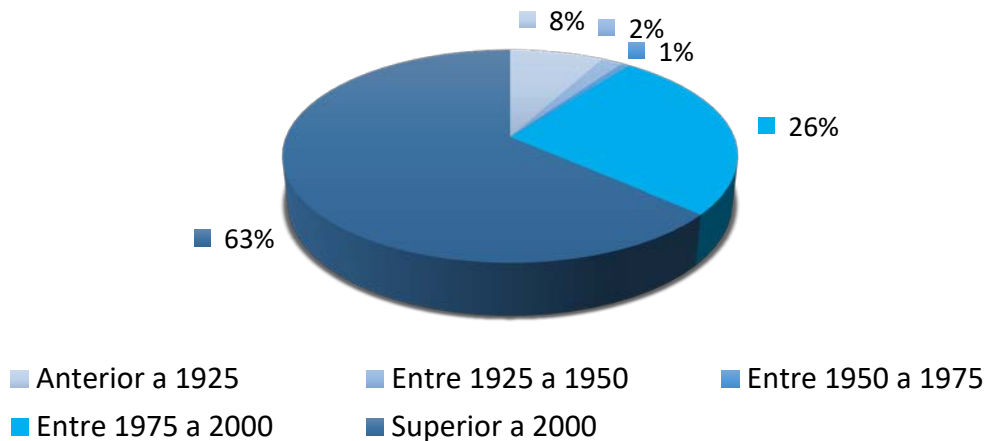


Figura 21: Distribución de la red según año de instalación de las tuberías. Fuente: AA.VV.

Tal como se comentó anteriormente, de la Figura 21, se puede apreciar que 63% de la red fue construida en los años posteriores al año 2000, lo que representa una expansión considerable de la infraestructura en las últimas 2 décadas. Esta elevada evolución refleja no solo el crecimiento urbano, sino también el compromiso con la modernización y eficiencia del sistema de distribución de agua de la ciudad.

Conocer la edad de una red de tuberías, proporciona numerosos beneficios cruciales para la gestión y operación de la infraestructura. En primer lugar, facilita la planificación y gestión del mantenimiento. Las tuberías más antiguas son más propensas a fallos y requieren inspecciones y reparaciones frecuentes, al disponer de información precisa sobre la edad de las instalaciones, los gestores pueden priorizar las actividades de mantenimiento y renovación, lo que ayuda a prevenir interrupciones del servicio y emergencias costosas.

La prevención de fallos es muy importante ya que las tuberías viejas son más susceptibles a roturas, corrosión y fugas. Conocer su antigüedad permite identificar los sectores y zonas que necesitan atención, con el fin de evitar fugas y bajos rendimientos hidráulicos del sistema

4.3.4 Válvulas

La red de Baja Presión cuenta con varios tipos de válvulas que permiten el control y regulación del flujo de agua. A continuación, se describen los diferentes tipos de válvulas presentes en la red y su distribución.

4.3.4.1 Válvulas de seccionamiento

En la red se encuentran instaladas 2156 válvulas de seccionamiento manual, las cuales son fundamentales para el manejo y mantenimiento del sistema. Estas válvulas permiten la apertura y cierre manual del flujo en distintas secciones de la red, facilitando las operaciones de aislamiento y reparación de tramos específicos.

En la Figura 22, se presenta la ubicación de todas las válvulas manuales existentes en la red, indicando su estado, ya sea cerrada o abierta:

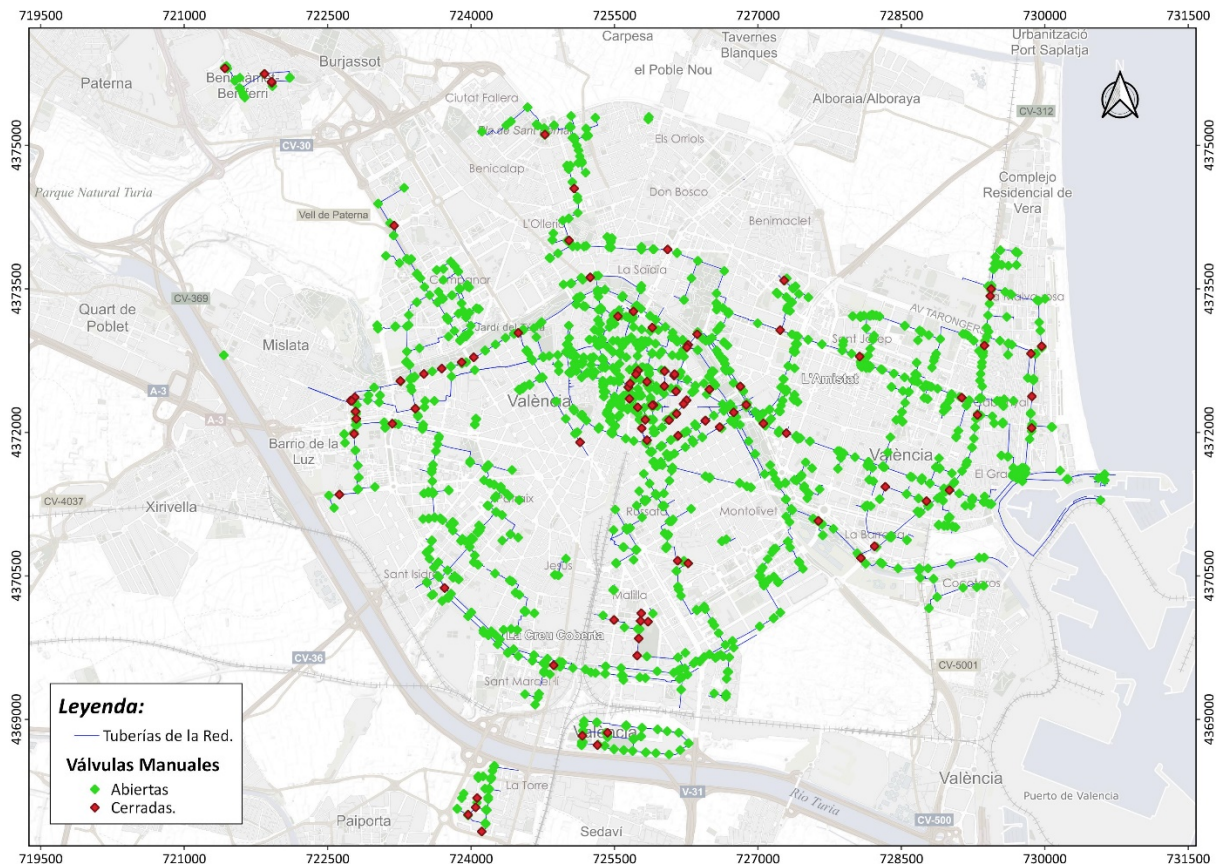


Figura 22: Válvulas Manuales de la Red. Fuente: AA.VV.

Se puede observar que prácticamente todas las válvulas manuales de la red de Baja Presión de Valencia se encuentran abiertas, estas válvulas, representadas por puntos verdes, permiten el flujo continuo de agua a través de la red. Las válvulas cerradas, representadas por puntos rojos, se encuentran estratégicamente ubicadas en la red y su función es sectorizar y cerrar los ramales de abonados. La existencia de válvulas manuales permite realizar mantenimientos y reparaciones sin interrumpir el servicio en toda la red, limitando el área afectada y mejorando la eficiencia operativa.

4.3.4.2 Válvulas reguladoras, retención y sostenedora de presión.

Además de las válvulas manuales, la red cuenta válvulas reguladoras de presión, válvulas de retención y válvulas sostenedora de presión. A continuación, se presenta su ubicación en la red:

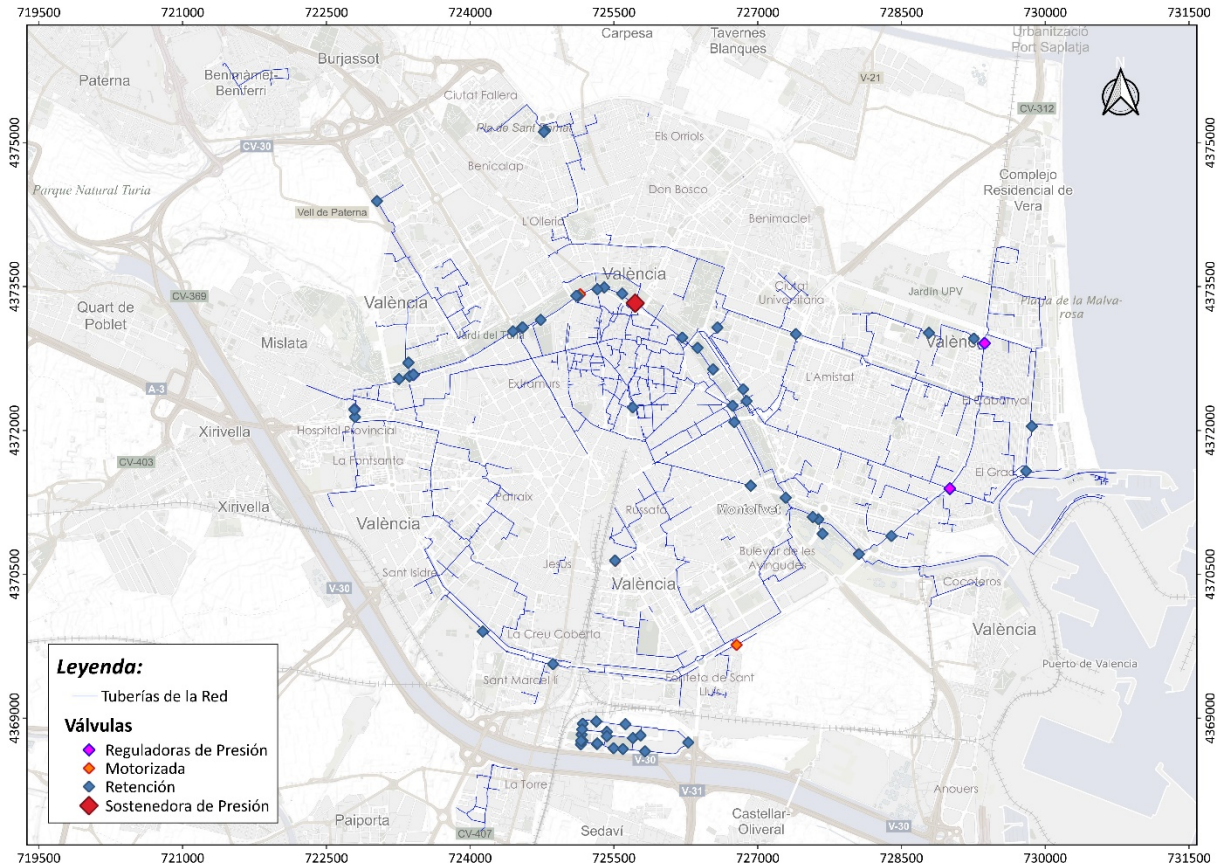


Figura 23: Válvulas en la red Fuente: AA.VV.

Existen 4 válvulas reguladoras de presión en la red. Estas válvulas son cruciales para mantener la presión dentro de los límites operacionales seguros, evitando daños en la infraestructura y asegurando un suministro constante de agua.

La red cuenta con una sola válvula sostenedora de presión. No se dispone de información adicional sobre su estado de tarado actual. Esta válvula es importante para garantizar que ciertas secciones de la red mantengan una presión mínima adecuada para el funcionamiento eficiente del sistema.

Por último, se encuentran las 65 válvulas de retención, principalmente ubicadas en los tramos finales de cada sector. Estas válvulas permiten que el flujo de agua se mantenga en una dirección, evitando el retroceso y posibles contaminaciones del suministro de agua.

4.3.5 Caudalímetros

La red cuenta actualmente con 20 caudalímetros, distribuidos estratégicamente en diferentes puntos para monitorear el flujo de agua en la red de Baja Presión. En la Figura 24 se presenta la ubicación de todos los caudalímetros existentes en la red, mostrando su distribución en diferentes sectores de la ciudad.

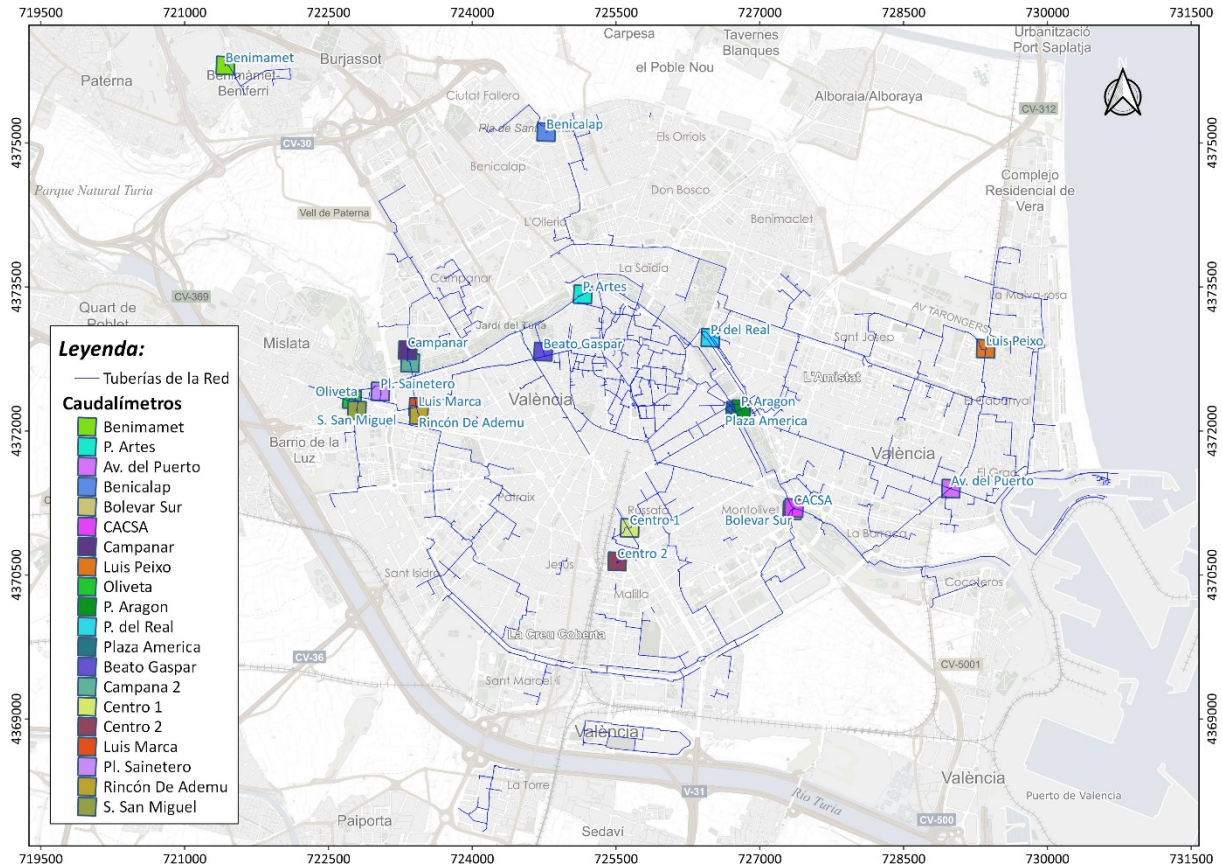


Figura 24: Ubicación de los Caudalímetros de la red de Valencia. Fuente: AA.VV.

Los caudalímetros permiten un control preciso del flujo de agua, ayudando a detectar posibles fugas, optimizar el suministro. Además, los caudalímetros son esenciales para medir y registrar el volumen de agua que pasa a través de un punto específico de la red, permitiendo realizar análisis de consumo, patrones de uso y balances del sistema hídrico, lo cual permite realizar ajustes en la distribución del agua.

4.4 Ramales de abonados

Los ramales de abonados son las conexiones individuales que van desde la red principal de distribución hasta las diferentes propiedades o usuarios finales. Estos ramales son parte fundamental del sistema de distribución. Actualmente la red de Valencia cuenta con 701 abonados registrados, la ubicación de los ramales de abonados se presenta en la Figura 25 :

4.5 Sectores de la Red

La red de distribución de agua se encuentra actualmente sectorizada en 12 sectores distintos que abarcan la totalidad del sistema. En la Figura 26, se presenta la distribución geográfica de estos sectores:

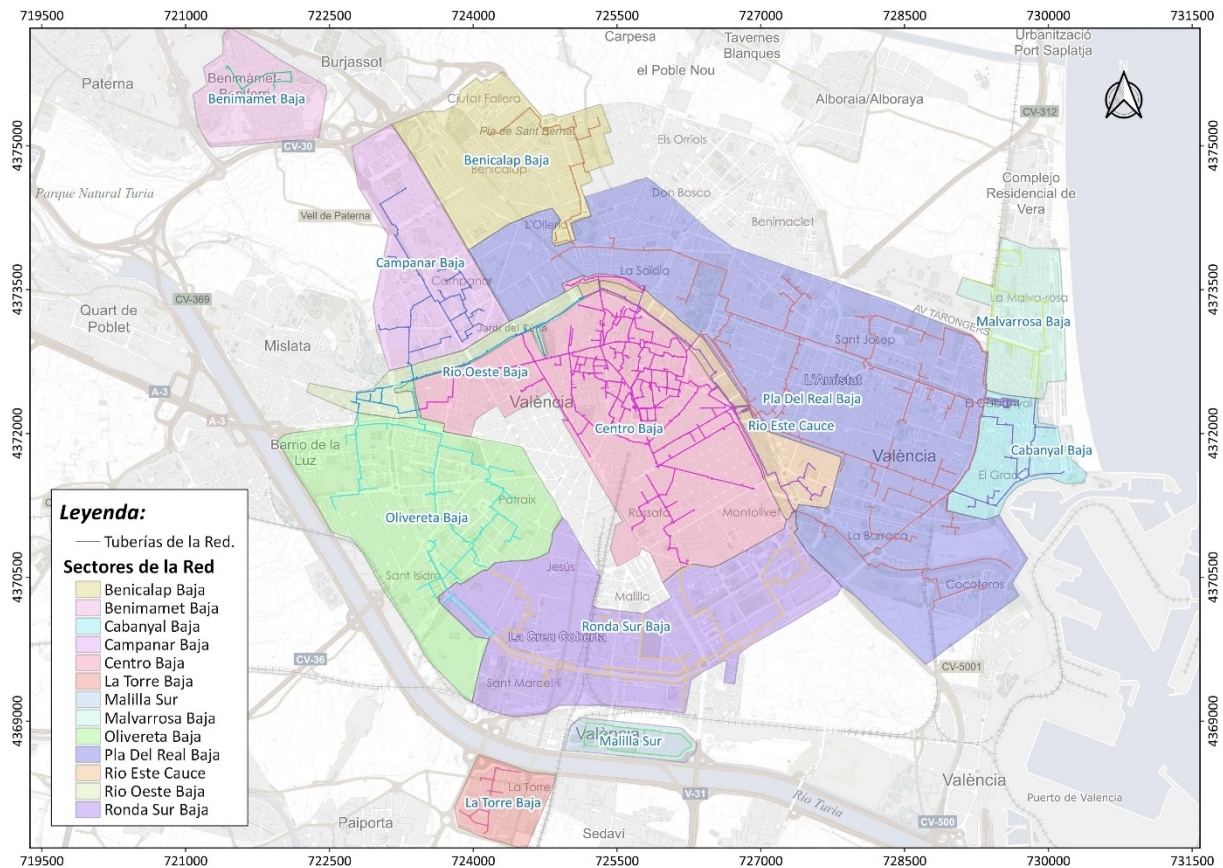


Figura 26: Sectores de la red. Fuente: AA.VV.

La sectorización se lleva a cabo mediante la implementación de cierres de válvulas y el uso de caudalímetros. Esta sectorización facilita una gestión más eficiente y un control preciso del suministro de agua en cada área. Este control es fundamental para identificar y gestionar posibles problemas, como fugas, sobreconsumos o falta de suministro en función de las necesidades de riego.

En la Figura 39 se presentan los distintos elementos que participan en la sectorización de la red, los cuales incluyen caudalímetros, pozos y válvulas cerradas. Estos componentes son esenciales para segmentar la red, los caudalímetros permiten medir el caudal de agua, los pozos abastecen las distintas zonas y las válvulas cerradas ayudan a dirigir y limitar el flujo hacia los sectores específicos.

8. **Sector Malvarrosa** : Caudalímetro Luis Peixó
9. **Sector Olivereta** : Caudalímetro Bombeo Olivereta
10. **Sector Pla del Real**: Caudalímetro Pozo Nuevo Ayuntamiento + (Caudalímetro Ciudad de las Ciencias D400 - Caudalímetro Ciudad de las Ciencias I400) + (Caudalímetro Puente de Aragón D - Caudalímetro Puente de Aragón I) - Caudalímetro Avenida del Puerto - Caudalímetro Luis Peixó
11. **Sector Antiguo Cauce del Río** = Caudalímetro Pozo Tramo IV + Caudalímetro Pozo Puente de las Artes Bomba Grande + Caudalímetro Pozo Puente de las Artes Bomba Pequeña + Caudalímetro Pozo Calatrava + Caudalímetro Pozo Gulliver - Caudalímetro Olivereta - Caudalímetro Luis Lamarca-Rincón de Ademuz - Caudalímetro Beato Gaspar Bono - (Caudalímetro Puente de Aragón D - Caudalímetro Puente de Aragón I) – (Caudalímetro Ciudad de las Ciencias D400 - Caudalímetro Ciudad de las Ciencias I400) + (Caudalímetro Ciudad de las Ciencias D315 - Caudalímetro Ciudad de las Ciencias)
12. **Sector Malilla Sur**: Suministro de agua en alta

Como se puede apreciar, existen diferentes tipos de sectores en la red. Algunos son aislados, mientras que otros, como el caso del antiguo cauce del río, se caracterizan por un balance que se realiza mediante múltiples entradas (pozos) y caudalímetros con flujo bidireccional. Esto significa que, dependiendo del horario o del funcionamiento de la red, el agua puede entrar o salir del sector.

Una vez determinadas y caracterizadas todas las propiedades físicas de la red, el siguiente paso en este estudio consistió en la creación de un modelo detallado de la red de Baja Presión de Valencia. Este modelo permitirá analizar y simular el comportamiento hidráulico de la red, identificar posibles puntos de mejora, y optimizar la gestión y distribución del agua en función de las demandas específicas de cada sector.

5 MODELACIÓN DE LA RED

Se ha llevado a cabo la modelización de la red con el propósito de simular su comportamiento actual e identificar posibles deficiencias, rendimientos y balance hidráulico. Con este modelo también se podrá simular las nuevas condiciones de regulación o mejoras propuestas, como la instalación de nuevas tuberías, la renovación de las existentes, la expansión de la red y la implementación de nuevas estaciones de bombeo, entre otras

La elaboración de un modelo detallado solo es factible si se dispone de las herramientas adecuadas, dada la gran cantidad de información que se maneja. En este caso, hemos empleado un Sistema de Información Geográfica, además se ha utilizado el software QGISRed, complementado con el software EPANET en QGIS. Esta aplicación ofrece un detalle completo de las tuberías de la red, su trazado, conexiones y las propiedades físicas más relevantes.

Posteriormente, tras la exportación de estos datos, se ha complementado la información obtenida con los diámetros de las tuberías, los consumos registrados para cada sector, las rugosidades de cada elemento de la red y la modelización del sistema de bombeo de la red. De este modo, se ha obtenido el modelo detallado que se presenta a la figura :

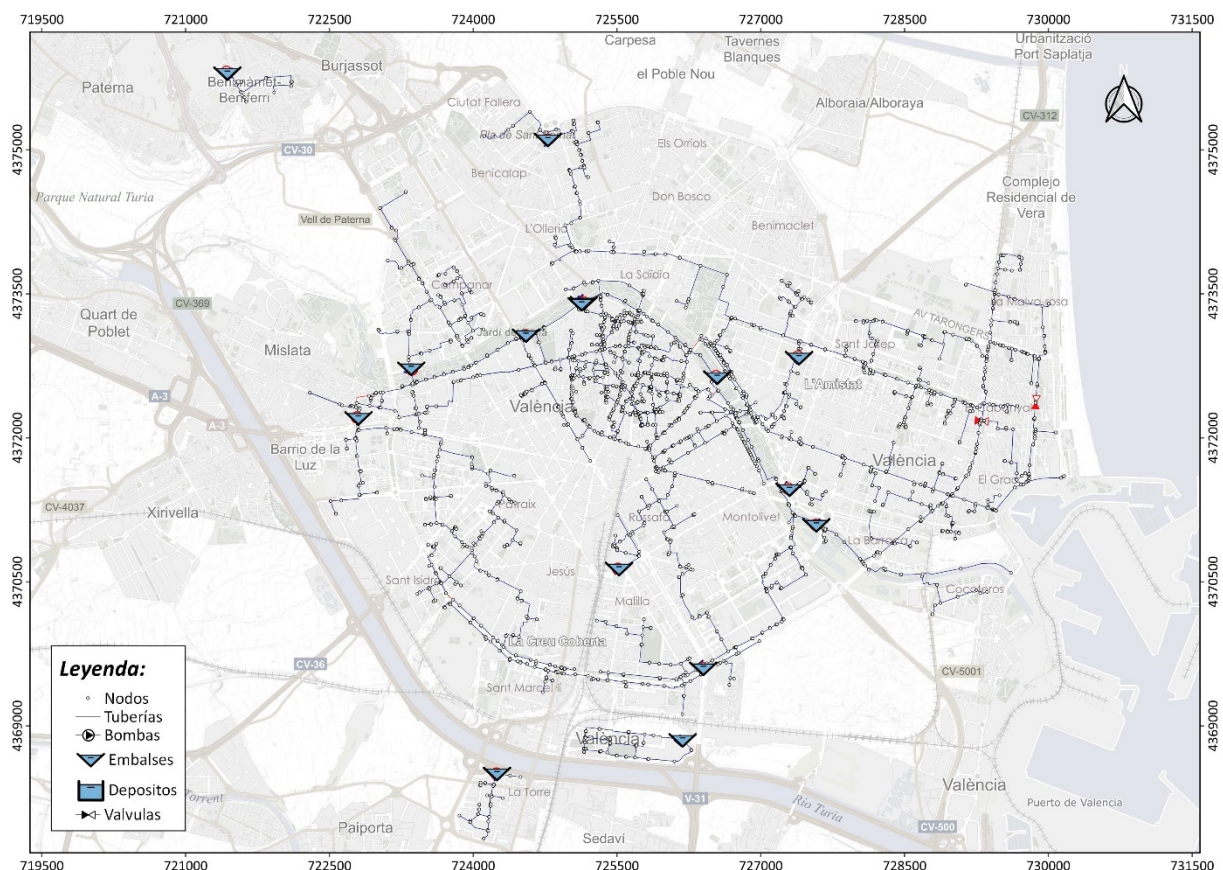


Figura 28: Modelo En QGISRED de la RED de Baja Presión de Valencia.

A continuación, se describe en detalle la metodología aplicada para la realización del modelo realizado.

5.1 Programas Informáticos para la Modelación

Los programas informativos elegidos para llevar a cabo la elaboración del modelo hidráulico de la red son QGISRed y EPANER 2.0. El Software QGISRed “es una extensión libre de QGIS desarrollada para facilitar la tarea de construir y analizar modelos hidráulicos de redes de distribución de agua de cualquier complejidad” (Martínez Alzamora & Lerma, 2022)

Basado en el software libre QGIS, QGISRed ofrece una solución completa para construir y analizar modelos de redes de distribución de agua. El plugin aprovecha todas las ventajas de trabajar en un entorno GIS para georreferenciar los elementos de la red, superponer fondos geográficos, editar la información gráfica y alfanumérica, utilizar herramientas de geoprocésamiento, visualizar la información por capas, personalizar la simbología. (Martínez Alzamora & Lerma, 2022)

Además, QGISRed permite la exportación e importación de datos en formato compatible con EPANET 2, este Software “es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos” (Rossman et al., 2020). Es con este programa que se realizó la calibración y el análisis de resultados.

5.2 Topología y Características Físicas de la Red

Para la elaboración del modelo hidráulico, se utilizó la información proporcionada por el sistema de información geográfica de Aguas de Valencia. Este archivo SIG contiene datos detallados sobre la infraestructura de la red de Baja Presión, incluyendo el trazado de las tuberías, el material utilizado, los diámetros de las tuberías, la fecha de construcción, así como la ubicación de depósitos, válvulas, bombas, pozos y otros elementos hidráulicos.

Los datos recopilados en formato SHP fueron importados al software ya que, “QGISRed permite importar un modelo completo desde un fichero INP de EPANET o importar datos desde ficheros SHP” (Martínez Alzamora & Lerma, 2022), lo que facilita la integración de la información geoespacial en el modelo hidráulico. Una vez importados, el plugin esboza la red de distribución con todas sus propiedades físicas, proporcionando una representación visual detallada de la infraestructura hidráulica. Este proceso inicial es fundamental para la creación de un modelo preciso y fiable.

La asignación automática de diámetros, longitud y rugosidad a las tuberías se realiza mediante un proceso en el cual la información desde la capa SHP de tuberías enviada por Aguas de Valencia se integra al modelo. Al importar el archivo SHP con los atributos de los elementos físicos del sistema en el software, se generan automáticamente seis capas que agrupan los diferentes componentes del sistema, estas capas representan las distintas categorías de elementos presentes en una red de distribución.

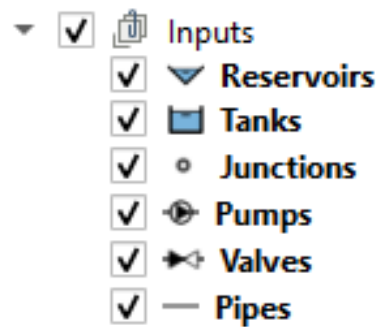


Figura 29: Elementos Básicos del Modelo en QGISRED. Fuente: QGISRED.

Además, el software crea automáticamente un conjunto de líneas y nodos que conforman el modelo matemático del sistema, asegurando una representación precisa y detallada de la red de Baja Presión.

5.2.1 Materiales

Conocer el material de las tuberías de la red es vital importancia ya que cada material tiene propiedades hidráulicas específicas, como el coeficiente de rugosidad, que afectan el flujo de agua a través de las tuberías. Conocer el material permite introducir valores precisos de rugosidad en el modelo, lo cual es fundamental para obtener resultados precisos. Por ejemplo, el coeficiente de rugosidad de una tubería de PVC es diferente al de una tubería de hierro fundido, lo que influye en las pérdidas de carga y, por ende, en las presiones y caudales simulados.

Debido a la gran cantidad de datos y tuberías existentes en la red, la información proporcionada por Aguas de Valencia no incluía el tipo de material de todas las tuberías. Para solucionar esta falta de datos, se llevó a cabo un trabajo exhaustivo para identificar el material de las tuberías faltantes. Este proceso consistió en analizar todas las tuberías sin descripción de su composición y estimar el tipo de material en función de su ubicación, las características de las tuberías adyacentes y la antigüedad de la instalación. Este enfoque permitió completar la información sobre las características de todas las tuberías de la red.

Una vez determinada el material de todas las tuberías, se puede agrupar el material presente en la red en los siguientes cinco grupos de materiales, los cuales se incluirán en el modelo hidráulico:

1. Acero
2. Fundición dúctil
3. Fundición
4. Plomo
5. Polietileno

5.2.2 Diámetros de la Red

El diámetro de las tuberías es uno de los parámetros más críticos en la modelación hidráulica de una red de distribución de agua. La importancia de los diámetros se refleja en varios aspectos clave del comportamiento hidráulico de la red, que incluyen la capacidad de flujo, las pérdidas de carga, la presión, la velocidad de circulación y la eficiencia general del sistema.

Similar a lo sucedido con los datos faltantes de los materiales de las tuberías, se realizó un trabajo exhaustivo para asignar diámetros a las tuberías que no contaban con esta información. Dada la gran extensión de la red, inicialmente no se disponía de datos completos sobre los diámetros de todas las tuberías. Este trabajo consistió en identificar las tuberías sin datos de diámetro y estimar estos valores basándose en varios factores, tales como la ubicación de las tuberías, el diámetro de las tuberías adyacentes y la edad de las instalaciones. Este proceso permitió completar la información necesaria, asegurando que todos los diámetros estuvieran correctamente representados en el modelo hidráulico.

Los diámetros proporcionados en la información de Aguas de Valencia corresponden a los diámetros nominales de las tuberías. Por ello, antes de cargar los datos de los diámetros de la red al modelo hidráulico, se estimaron los diámetros internos de las tuberías, tomando en cuenta el material de estas. Para el cálculo de los diámetros interiores se utilizó la información entregada en el manual técnico de Tuberías de Polietileno MASA 2018. (MASA, 2018) que recoge los valores según la normativa vigente de fabricación. Este paso es fundamental para desarrollar un modelo hidráulico confiable, ya que el diámetro interno varía según el material de la tubería debido a diferentes espesores de pared y características de fabricación.

5.2.3 Rugosidades

La rugosidad interna de las tuberías es un factor crucial que afecta significativamente al comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua. La rugosidad influye directamente en la resistencia al flujo y, por ende, en las pérdidas de carga a lo largo de la tubería. La rugosidad de una tubería depende del material y de su condición, nueva o envejecida, lo que hace esencial considerar estos aspectos al desarrollar un modelo hidráulico preciso.

En este estudio, se analizó el envejecimiento de las tuberías y se estimaron los coeficientes de rugosidad según el año de instalación y el material de estas. El coeficiente de rugosidad, representado por el factor de fricción de Darcy-Weisbach, varía según el material de la tubería y se incrementa con el envejecimiento debido a la acumulación de incrustaciones, corrosión y desgaste del material. Este envejecimiento provoca cambios en

las características físicas de los materiales, lo que a su vez modifica el coeficiente de rugosidad de las tuberías.

Para el cálculo de las rugosidades de las tuberías existen varios métodos que varía según el autor. Para el presente modelo se utilizó , el plugin de QGISRed para QGIS, el cual ofrece funcionalidades avanzadas para estimar y ajustar automáticamente el coeficiente de rugosidad de las tuberías.

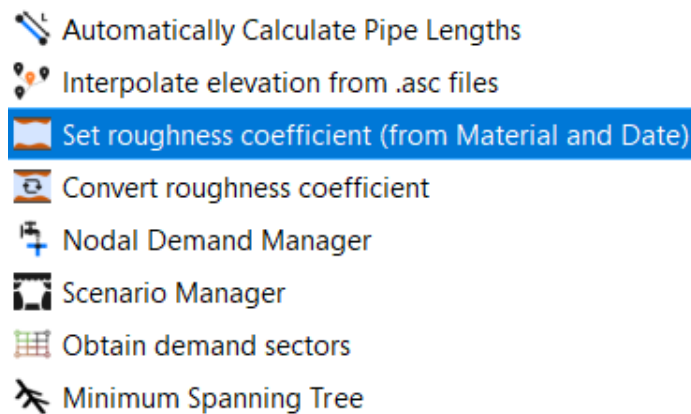


Figura 30: Herramienta para el cálculo del coeficiente de rugosidad. Fuente: QGISRED.

QGISRed utiliza una base de datos que asocia diferentes materiales de tuberías, como PVC, hierro fundido, acero galvanizado, asbesto-cemento y polietileno entre otros, con coeficientes de rugosidad iniciales específicos. Además, ajusta estos coeficientes iniciales en función del año de instalación de las tuberías.

Abbreviature	Description	Initial Roughness (mm)	Annual increment (mm)
AC	Asbestos Cement	0.025	0.03
CI	Cast Iron	0.5	0.07
CU	Cooper	0.1	0.01
CWOSMJ	Concrete Without Sheet Metal Jacket	0.1	0.03
CWSMJ	Concrete With Sheet Metal Jacket	0.1	0.03
DI	Ductile Iron	0.06	0.04
GI	Galvanized Iron	0.1	0.03
HDPE	Hight Density Polyethylene	0.1	0.01
L	Lead	0.002	0.03
LDPE	Low Density Polyethylene	0.1	0.01
MDPE	Medium Density Polyethylene	0.1	0.01
PC	Prestessed Concrete	0.1	0.03
PE	Polyethylene	0.002	0.01
PVC	Polyvinyl Chloride	0.002	0.01
PVC-O	Orientated PVC	0.02	0.01
PVC-UNP	Unplasticized PVC	0.02	0.01
RFC	Reinforced Concrete Pipe	0.1	0.03
SST	Stainless Steel	0.03	0.02
ST	Steel	0.03	0.02

Figura 31:Rugosidades iniciales según material. Fuente: QGISRED pagina 19.

El software QGISRed calcula la rugosidad de las tuberías teniendo en cuenta el material y el tiempo de servicio, utilizando valores iniciales establecidos según el material y un

incremento anual, “Con estos dos campos es posible estimar la rugosidad de la tubería”(Martínez Alzamora & Lerma, 2022)

Los coeficientes de rugosidad calculados fueron asignados a cada una de las tuberías de la red en función del material. La estimación precisa de las rugosidades según el material y el año de instalación permite desarrollar un modelo hidráulico más confiable y representativo.

Una vez determinado todos los datos e información física de las tuberías de la red, es decir diámetro, material y las rugosidades, estas se importan en QGISRed, asignando cada campo al correspondiente en el modelo. La ventana de importación de QGISRed se ilustra en la siguiente imagen.

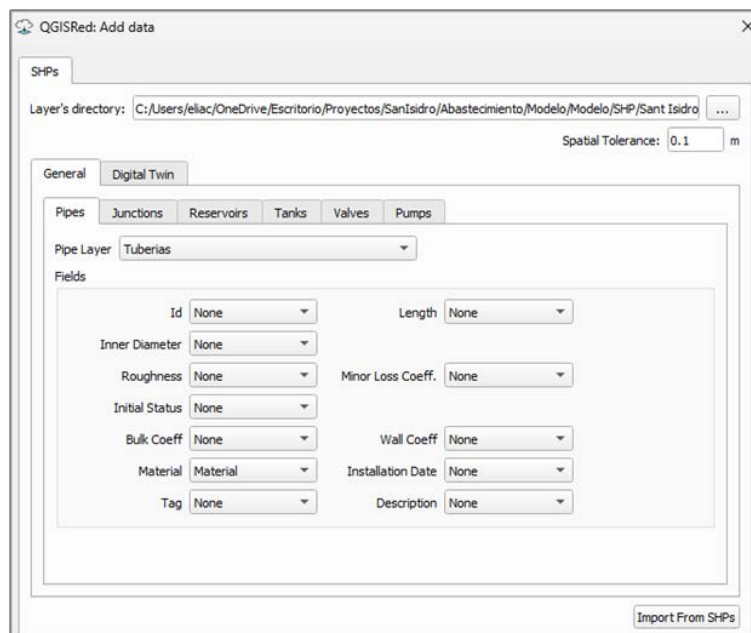


Figura 32: Importación de Tuberías QGISRED. Fuente: QGISRED.

5.3 Pozos y Estaciones de Bombeo

El abastecimiento de agua a la red, tal y como se mencionó anteriormente, se realiza a través de los pozos distribuidos en ella. La red no cuenta con depósitos de acumulación, por lo cual los pozos se modelan como embalses que suministran agua de manera continua, este enfoque asegura que la red pueda satisfacer la demanda de agua de manera eficiente, manteniendo una presión y caudal adecuados en todo momento.

Se realizó una identificación exhaustiva de todos los pozos que abastecen la red, y se descartó el pozo Alfahuir, el cual no está conectado a la red. Para cada pozo, se recopiló información relevante, incluyendo la ubicación geográfica mediante (SIG) para registrar las coordenadas exactas, la profundidad del pozo, el tipo de bomba instalada y los niveles de agua en los pozos. Estos datos son cruciales para modelar con precisión el funcionamiento de cada pozo dentro del sistema hidráulico.

Nombre del pozo	Cota de superficie del Pozo [m]	Profundidad de la Napa [m]	Cota del nivel de Agua [m]
ANZUELO	8,61	10,9	-2,28
B1 ARTES	11,98	19,85	-7,86
B2 ARTES	12,09	17,6	-5,50
BENICALAP	22,67	16,21	6,46
BENIMAMET	57,69	36	21,69
CALATRAVA	7,53	2,6	4,93
GULLIVER	9,69	9	0,69
NUEVO AYUN	9,92	9,5	0,42
P. CENTRAL	11,09	9,7	1,39
PAU	4,46	4,5	-0,03
TRAMO IV	12,7	11,4	1,31

Tabla 16: Niveles de los Pozos. Fuente: AA.VV.

Los datos de los pozos se integraron en el modelo hidráulico utilizando QGISRed. Para ello, se importaron los datos mediante archivos shapefile (SHP) y archivos CSV, asegurando que todos los atributos necesarios estuvieran correctamente definidos. En QGISRed, los pozos se modelaron como embalses.

Cada pozo de la red cuenta con estaciones de bombeo que facilitan el suministro continuo de agua. Estas estaciones de bombeo son esenciales para mantener el caudal y la presión necesarios en la red. Las características principales de estas estaciones de bombeo incluyen la capacidad de las bombas, el tipo de bombas utilizadas, la eficiencia de las bombas y los parámetros operativos como el caudal bombeado y la presión de salida. Se presenta en la siguiente tabla.

5.3.1 Curvas de Funcionamiento de las Bombas

Las bombas en el modelo se representan a través de sus curvas de funcionamiento, las cuales corresponden a curvas que describen la relación entre el caudal y la altura manométrica de la bomba en diversas condiciones de operación. Estas curvas generalmente se obtienen del fabricante de la bomba e incluyen la curva de caudal vs. altura manométrica, que muestra cómo varía la altura manométrica en función del caudal bombeado. En las siguientes tablas se presenta las curvas características de las bombas:

Pozo BENIMAMET		Pozo BENICALAP		Pozo TRAMO_IV		Pozo B1 ARTES	
Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]
0	116	0	89,38	0	62,69	0,0	95,3
5	110	7,5	68,905	27	51,836	27,8	85,9
9,25	105	8,3	65,51252	30	49,91	41,7	80,5
12,6	100	9	62,353	35	46,38	55,6	74,6
15	96	10	57,53	40	42,45	69,4	68,3
20	80	12	46,792	45	38,12	83,3	61,5
21,6	77	13	40,877	50	33,39	97,2	54,3

25	61	15	27,955	52	31,386	111,1	46,6
----	----	----	--------	----	--------	-------	------

Pozo B2 ARTES		Pozo CALATRAVA		Pozo NUEVO AYUN		Pozo GULLIVER	
Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]
0,0	67,5	0,0	98,2	10	70	0	44
20,0	54,0	3,3	87,0	15	67,5	11,11	42
28,0	48,0	6,6	79,0	17,5	67	30,56	38
32,0	44,0	10,0	70,0	20	62,5	38,89	36,5
36,0	41,0	13,3	64,0	25	55	44,44	35
40,0	37,5	16,6	56,0	30	45	50	34
42,0	35,0	20,0	45,0	35	32	61,11	32
44,0	31,0	21,6	35,0	37,5	22,5	72,22	30

Pozo PAU		Pozo P_CENTRAL		Pozo ANZUELO	
Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]	Caudal [L/s]	Altura [m]
40	73,3	0	80	0	108,8
50	70,06	10	75	65	80,395
60	66,1	15	74	75	75,275
70	63,84	20	71	80	72,64
80	56,01	25	65	90	67,22
90	49,88	30	55	100	61,6
100	43,04	35	45	105	58,715
105	39,34	37,7	37	110	55,78

Tabla 17: Curvas de Funcionamiento de las Bombas. Fuente: AA.VV.

En QGISRed, las curvas de funcionamiento de las bombas se pueden cargar abriendo el proyecto correspondiente y accediendo al panel de propiedades de la bomba. En la sección de curvas de la bomba dentro del panel de propiedades, se utiliza la opción para importar curvas desde un archivo Excel o se pueden ingresar manualmente los datos de las curvas de funcionamiento. En la Figura 33 se presenta una curva de modulación cargada en el software QGIS RED.

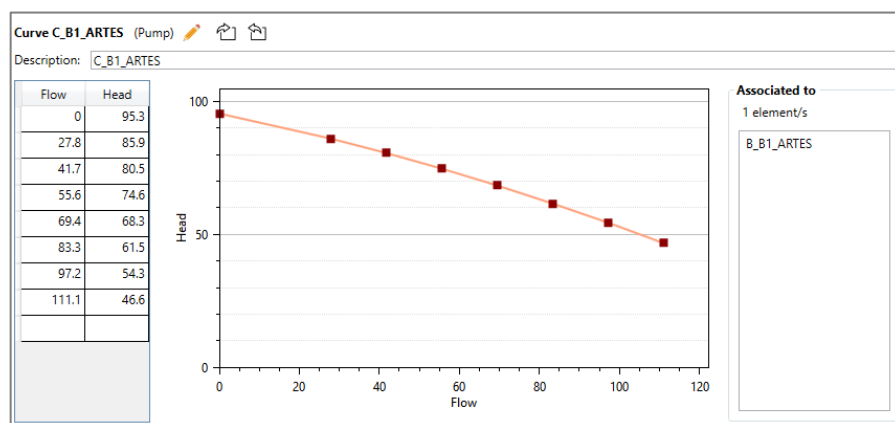


Figura 33: Curva Bomba 1 Pozo las Artes. Fuente QGISRED.

Este procedimiento de cargar las curvas de funcionamiento se realizó con todas las bombas de la red.

5.4 Topografía

Para el desarrollo del modelo, es esencial integrar información detallada sobre la topografía, principalmente las cotas de los nodos de consumo, ya que una correcta asignación de las cotas permite calcular con precisión las presiones disponibles en cada nodo.

Para ello se empleó la herramienta de interpolación de nivel disponible en QGISRed. Para llevar a cabo este estudio, se utilizó la capa ráster que contiene modelos digitales de elevaciones (MDT). Estos modelos proporcionan información altimétrica que representa el relieve del territorio nacional español.

En particular, se seleccionó el MDT específico denominado "Modelo Digital del Terreno MDT02" en su segunda cobertura, el cual ha estado en vigencia desde 2015 hasta la actualidad (Generalitat Valenciana - Dades Obertes, 2024). Este modelo cuenta con una resolución de paso de malla de 2 metros, lo que significa que cada punto del MDT representa un área de 2 metros en el terreno. En la Figura 34, se visualiza la capa SHPs del MDT de la ciudad de Valencia y la red de la baja.

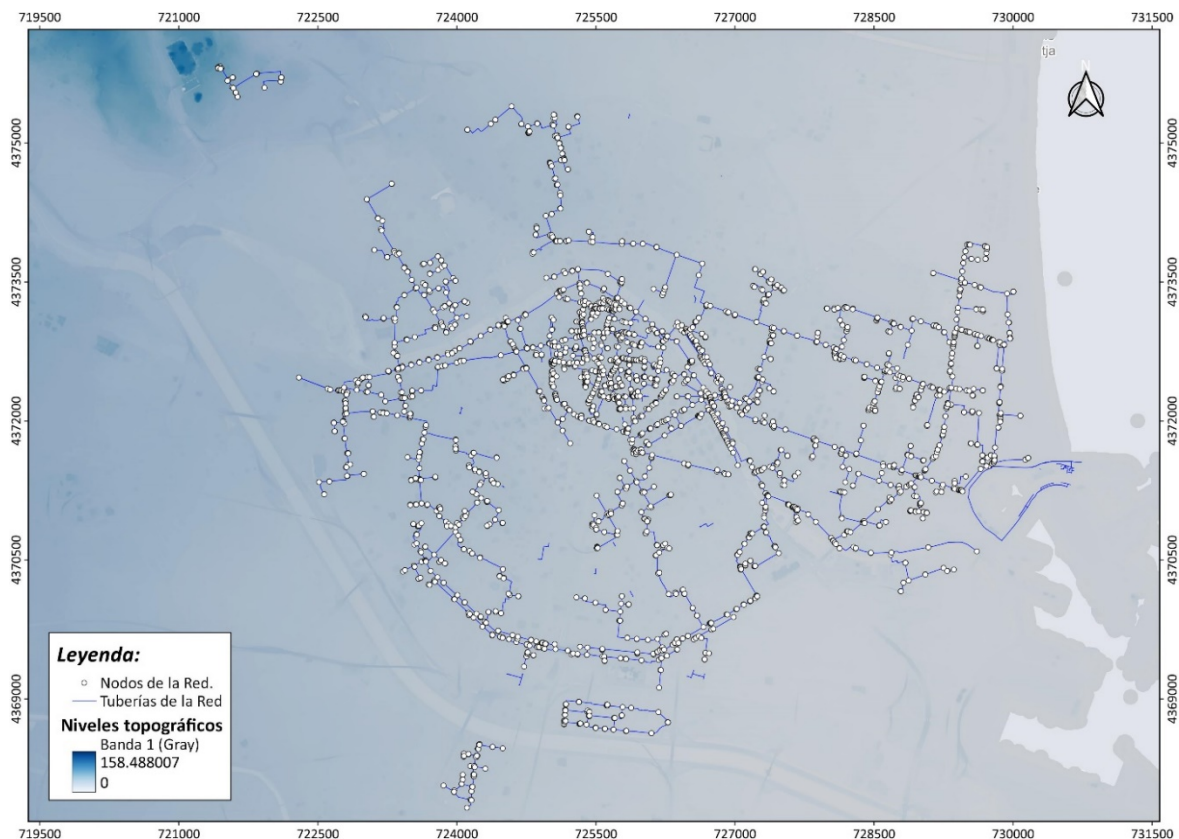


Figura 34: MDT de la Ciudad de Valencia. Fuente: Generalitat Valenciana.

Utilizando esta capa del MDT en QGISRed, se aplicó la herramienta de interpolación de nivel para asignar cotas a los nodos del sistema. Esta técnica permite estimar las alturas de los

puntos entre los datos altimétricos conocidos, en función de la distribución y características de los puntos de elevación.

5.5 Nodos de Consumo de la Red

Para el desarrollo preciso del modelo hidráulico, se realizó una cuidadosa identificación y configuración de los nodos de consumo en la red de distribución. Los nodos de consumo representan los puntos donde el agua es extraída del sistema para su uso, esto puede ser para el riego de parque, baldeos u otros. La correcta representación de estos nodos es esencial para simular con precisión el comportamiento de la red y asegurar un suministro.

Se llevó a cabo un proceso para identificar todos los nodos de consumo en la red de distribución, los cuales corresponden a los ramales de abonados de la red entregados por Aguas de Valencia, se mapearon las ubicaciones geográficas de estos ramales de consumo utilizando sistemas de información geográfica, lo cual concluyó con la localización precisa y su respectiva distribución en la red.

Por último, a través de la opción de “unión de atributos por proximidad en QGIS”, se realiza la unión vectorial entre la ubicación de los ramales de abonado y la capa "Junction" que es la capa que contiene los nodos de la red, con este proceso se representan todos los ramales de abonados, como un nodo de la red. En la Figura 35 se visualizan los ramales de abonados.

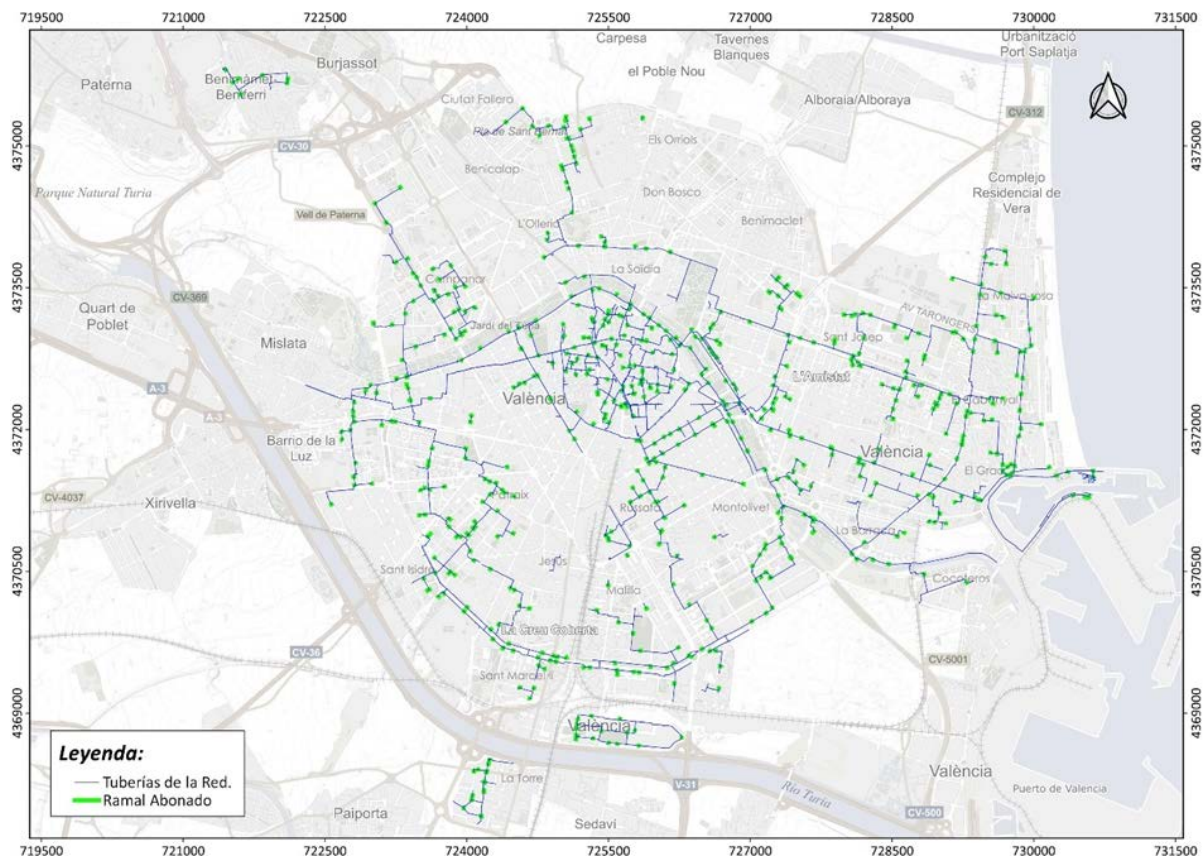


Figura 35: Ramales de abonados de la red. Fuente : AA.VV.

Con los nudos de consumo identificados, se podrá cargar la demanda base en cada uno de ellos.

5.6 Modelo Preliminar de las Características Físicas de la Red

Con todos los parámetros y componentes del sistema previamente mencionados, se inicia el proceso de digitalización del modelo de la red de Baja Presión. Este modelo preliminar incluye una representación detallada de los componentes físicos de la red, tales como tuberías, nodos y estaciones de bombeo, asegurando una simulación precisa y eficiente del comportamiento hidráulico del sistema.

En la siguiente Figura 36 se presenta el primer modelo preliminar de la red.

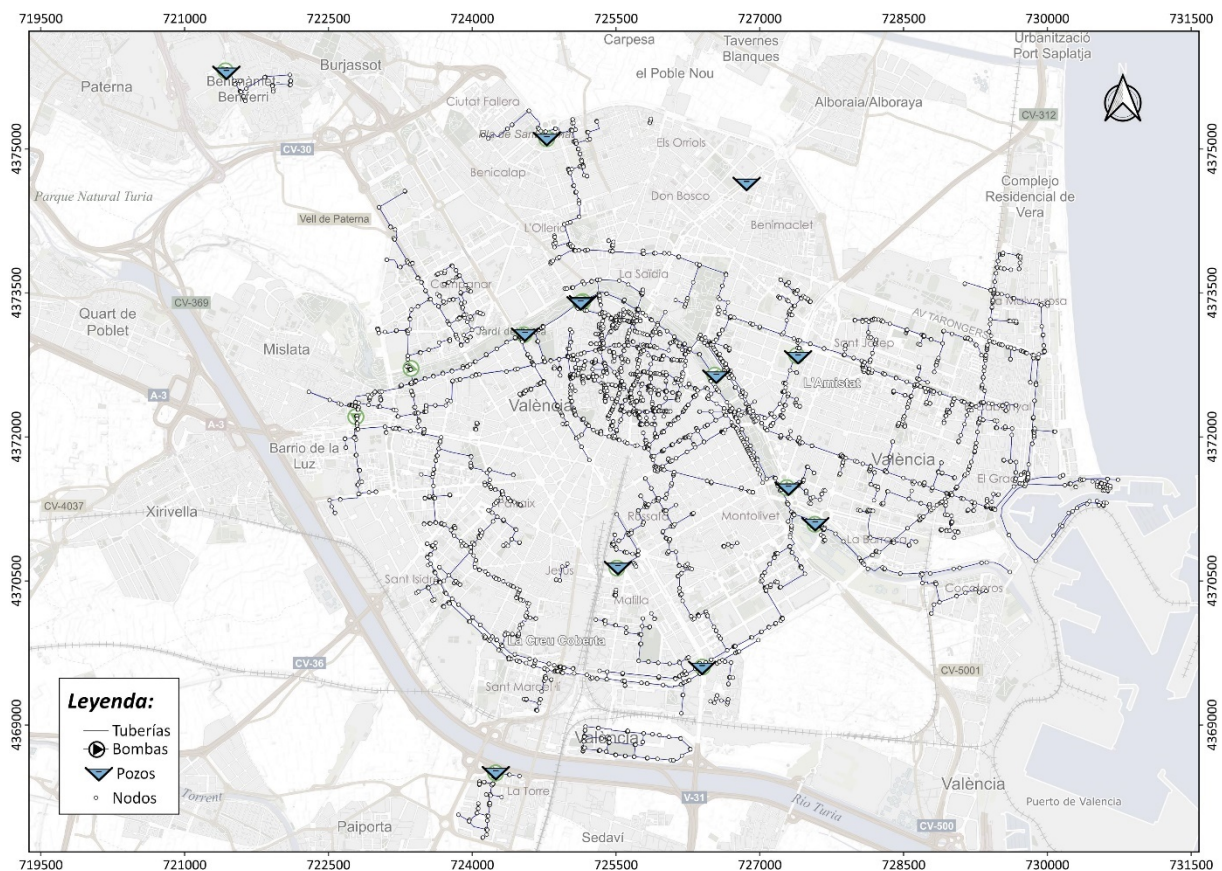


Figura 36: Modelo Preliminar de la Red.

El modelo se compone de los siguientes elementos principales:

Cantidad de conducciones	Cantidad de Nodos	Nodos consumo	Cantidad de Bombas	Cantidad de Embalses
9054	8977	701	20	13

Tabla 18: Elementos principales de la red.

Cabe mencionar que este modelo preliminar corresponde solo a la modelización física de la red, ya que un modelo completo aún debe contar con los elementos no físicos, como demanda base, patrones de consumo y parámetros de control.

5.7 Simplificación del Modelo

La simplificación de la red hidráulica es un paso crucial en el desarrollo del modelo, ya que permite reducir la complejidad del sistema sin comprometer la precisión de las simulaciones. Este proceso implica identificar y eliminar elementos redundantes o menos relevantes, manteniendo los componentes críticos que influyen significativamente en el comportamiento hidráulico de la red.

5.7.1 Depuración de Tuberías no Conectadas.

La primera etapa en la simplificación de la red hidráulica implicó la depuración de las tuberías no conectadas. Este proceso se centró en eliminar las tuberías aisladas que ya no están en uso, así como aquellas que no forman parte del sistema de agua potable de Baja Presión.

Se identificaron y eliminaron tuberías que ya no están en servicio, las cuales en su mayoría correspondían a segmentos antiguos o desactivados de la red. Además, se excluyeron del modelo las tuberías que están conectadas a la red de alta presión, ya que hidráulicamente no pertenecen al sistema de distribución de agua potable de Baja Presión. Estas tuberías, aunque presentes físicamente en el entorno, no influyen en el comportamiento hidráulico del sistema modelado y, por lo tanto, su eliminación no influye en el modelo. También fue eliminado del modelo el Pozo Alfahuir, el cual no se encuentra conectado a la red de Baja Presión. En la Figura 37 se muestra todos los elementos de las tuberías eliminados de la red.

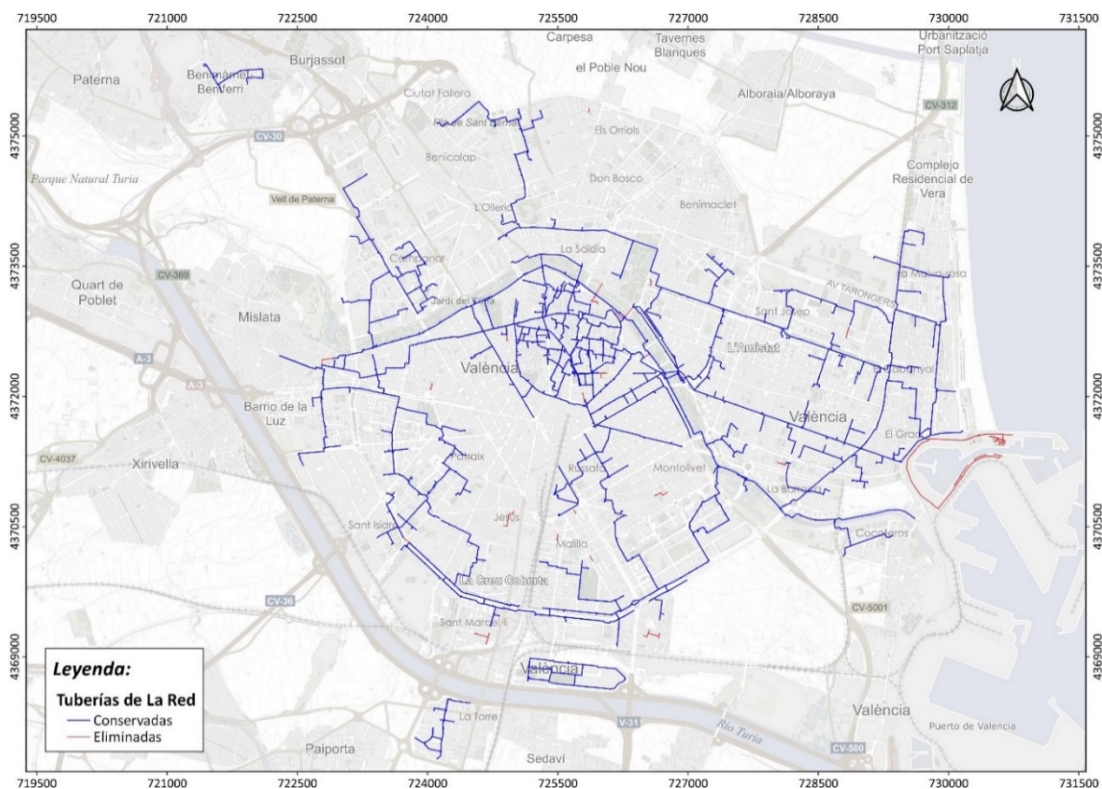


Figura 37: Tuberías eliminadas de la red.

Este proceso de depuración garantiza que el modelo se centre únicamente en las tuberías y componentes que son relevantes para el sistema de distribución de agua potable, eliminando elementos redundantes y mejorando la eficiencia del análisis y la gestión del sistema. Además, permite una mejor utilización de los recursos computacionales y facilita la interpretación de los resultados de las simulaciones hidráulicas.

5.7.2 Agrupación de Tuberías

Otra simplificación importante realizada en el modelo fue la agrupación de tuberías con características hidráulicas similares. Esto implica combinar tuberías que tienen diámetros y rugosidades similares y que están ubicadas en proximidad geográfica. Esta agrupación ayuda a simplificar el modelo sin perder la precisión en la representación del comportamiento hidráulico de la red.

El proceso de agrupación se realizó utilizando la herramienta "Join Consecutive Pipes" de QGISRed, que facilita la unión de tuberías consecutivas que comparten propiedades hidráulicas similares. Esta herramienta permite reducir el número total de elementos en el modelo, consolidando segmentos de tuberías en componentes únicos, lo que simplifica la estructura de la red y mejora la eficiencia del modelo.

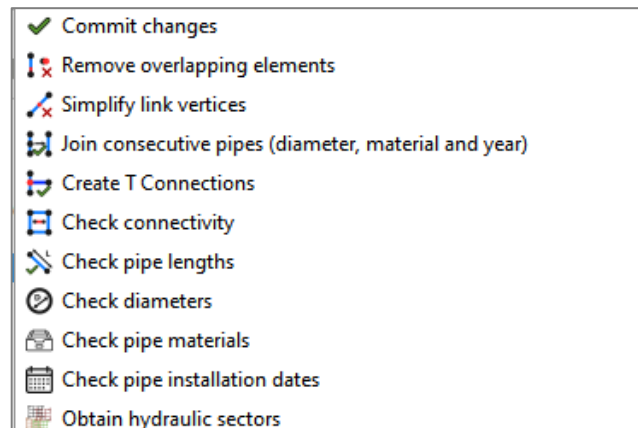


Figura 38:herramientas de Modelación de QGISRED. Fuente: QGISRED.

La agrupación de tuberías no solo reduce la complejidad del modelo, sino que también disminuye la cantidad de nodos de la red y la manejabilidad de este. Al consolidar segmentos de tuberías en componentes únicos, se facilita la interpretación de los resultados de las simulaciones y se optimiza la gestión del sistema de distribución de agua.

5.7.3 Bombas Simuladas como Embalses

Otra simplificación que se realizó en el modelo consistió en simular las estaciones de bombeo como embalses que presentan una cota similar a la altura de bombeo. Para implementar esta simplificación, se utilizó un embalse con alturas piezométricas equivalentes a la presión de salida registrada en el manómetro de cada bomba. Esta simplificación es factible gracias a que las bombas cuentan con variadores de frecuencia, lo que aseguran que

las presiones de salida de las estaciones de bombeo se mantengan relativamente constante a lo largo del año, independientemente del caudal de salida.

Para implementar esta propuesta, se modelaron embalses "auxiliares" que cumplieran con las condiciones descritas anteriormente. Estos embalses se conectaron a la red inmediatamente después de la ubicación de las bombas. Paralelamente, se cerraron las tuberías que conducen el agua a través de las bombas, pero estas no se eliminaron del modelo para mantener la integridad estructural y funcional de la red. La Figura 39 muestra el esquema de funcionamiento descrito anteriormente, donde se ilustran las conexiones de los embalses auxiliares y las tuberías cerradas

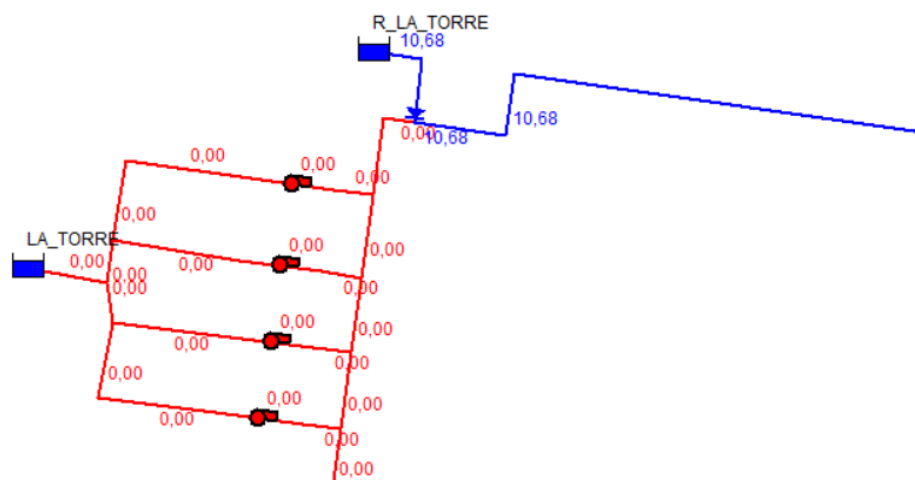


Figura 39: Esquema EPANET de Funcionamiento de las Bombas.

Esta simplificación no solo facilita el proceso de modelación, sino que también permite mantener la precisión en la representación del comportamiento hidráulico del sistema. Al simular las estaciones de bombeo como embalses, se reduce la complejidad del modelo y los disminuye los tiempos de modelación. Este enfoque asegura que el modelo sea manejable y eficiente, facilitando la interpretación de los resultados.

De los sectores de la red, existen dos sectores aislados que presentan un comportamiento de bombeo particular, estos sectores presentan un funcionamiento en donde las bombas se apagan en los horarios fuera de las jornadas de riego. Para poder representar este comportamiento en el modelo, se identificaron todos los horarios donde no existe riego y se aplicó unas leyes de control simple en el programa EPANET, con el fin de cerrar la Tubería de salida del Embalse en esos horarios.

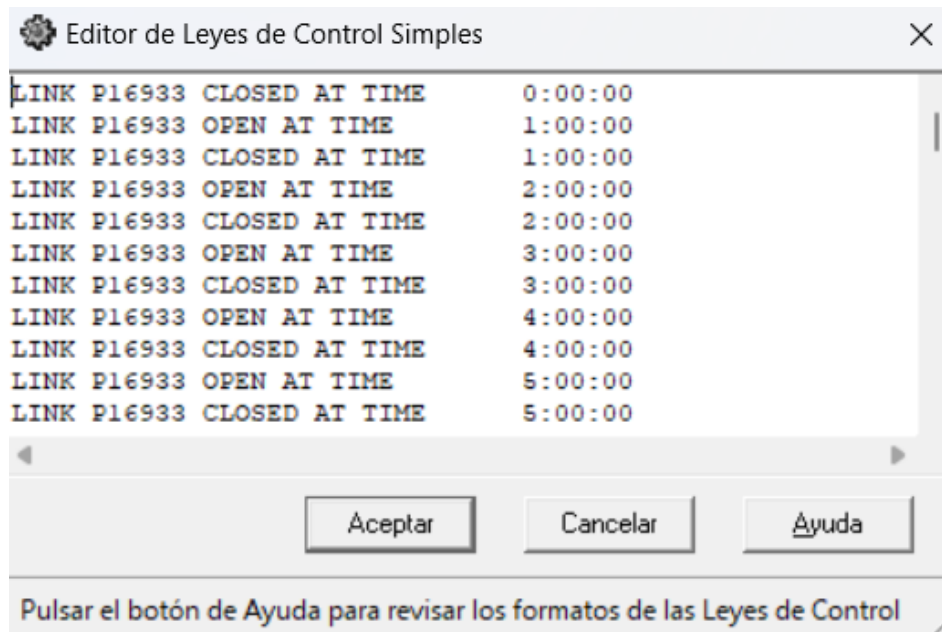


Figura 40: Leyes de control aplicadas en los sectores Campanar y Benimamet.

En la Figura 40 se presenta el editor de Epanet que se utiliza para definir comandos de control que automatizan el comportamiento de elementos específicos dentro de la red de distribución de agua, como tuberías o bombas. Esto permite establecer condiciones bajo las cuales ciertos elementos de la red cambian su estado. Por ejemplo, se puede programar que una tubería se abra o cierre en momentos específicos durante la simulación.

En la Figura 40 se puede observar la serie de comandos que indican cuándo la tubería identificada como "P16933" debe abrirse o cerrarse y el instante de tiempo que debe realizarlo. Con la aplicación de este comando simple en el modelo, al cerrar la tubería de salida, se recrea el paro de las bombas, y el sector queda sin presión, similar al funcionamiento real indicado por aguas de Valencia.

5.7.4 Nodos de Consumo Depurados

La simplificación que se realizó con los nodos de consumo implicó la eliminación de aquellos nodos para los cuales no se contaba con datos de facturación. Este proceso requirió un trabajo de depuración meticuloso. Para llevar a cabo esta depuración, Aguas de Valencia proporcionó los datos de facturación, el ID de acometida y la ubicación de cada uno de los abonados que presentaban registro de consumo de agua. Estos datos se cruzaron con la información y ubicación de los ramales de abonados en el GIS del modelo lo cual permitió identificar y eliminar los nodos de consumo sin facturación, asegurando que solo se incluyeran en el modelo aquellos nodos con datos completos y verificables.

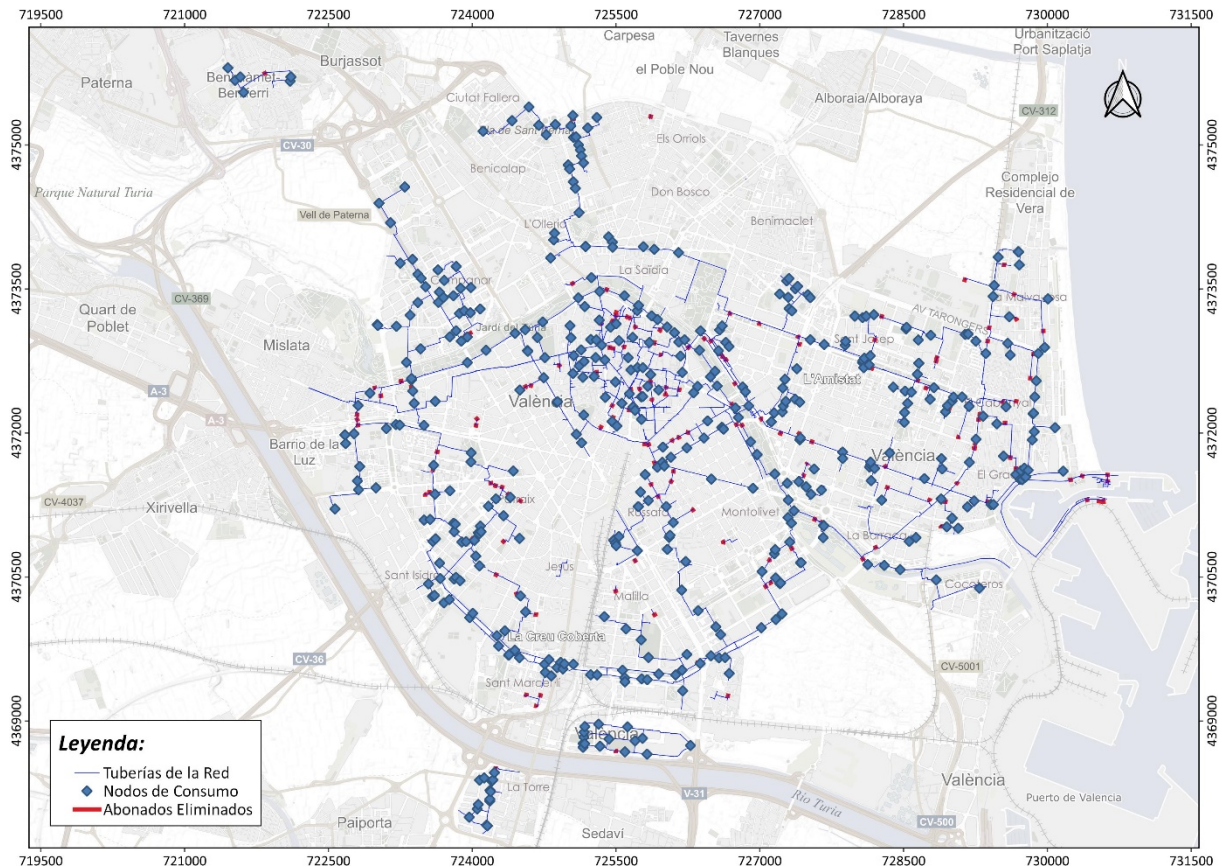


Figura 41: Nodos Eliminados de la red.

Este trabajo minucioso garantizó que el modelo hidráulico reflejara de manera precisa el comportamiento real del sistema, eliminando cualquier redundancia y mejorando la eficiencia de las simulaciones, lo cual no solo optimizó el uso de los recursos computacionales, sino que también facilitó una representación más clara y manejable del sistema de distribución de agua.

A lo largo del proceso de simplificación, se aseguró que la integridad hidráulica del sistema se mantuviera intacta. Esto significa que las relaciones hidráulicas fundamentales, como las pérdidas de carga, presiones y caudales, se conservaron en el modelo simplificado.

5.8 Resumen del Modelo Simplificado

La simplificación del modelo hidráulico de la red de distribución de agua de Valencia se llevó a cabo mediante los pasos antes mencionados que optimizaron la precisión y la eficiencia del sistema, asegurando una representación clara y manejable del comportamiento hidráulico. A continuación, en la Figura 42 se presenta el nuevo modelo ya simplificado.

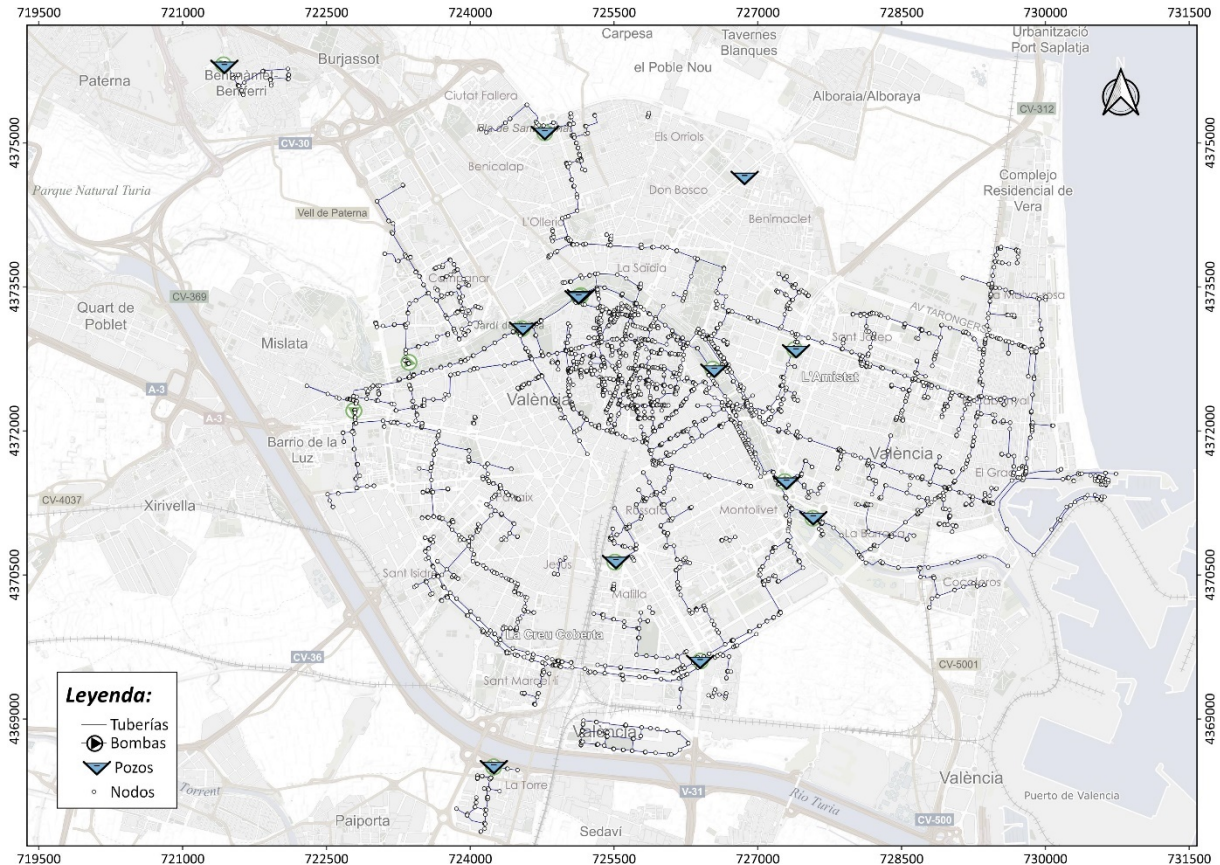


Figura 42: Modelo depurado y simplificado de la Red.

El nuevo modelo ya depurado y simplificado se compone de los siguientes elementos principales :

Cantidad de conducciones	Cantidad de Nodos	Nodos de consumo	Cantidad de Bombas Activas	Cantidad de Embases
4895	4804	491	0	13

Tabla 19: Elementos principales de la red.

Al comparar con el modelo preliminar se puede observar que la cantidad de tuberías y nodos de la red se redujo prácticamente en un 50% lo cual es una simplificación considerable, que favorece a la reducción del tiempo de cálculo, facilita el análisis y la interpretación de resultado. Este modelo simplificado será utilizado como modelo de base para el presente estudio, a este se le cargaran todos los componentes no físicos, como demanda base, patrones de consumo y parámetros de control.

5.9 Demandas de la Red

Para el cálculo de la demanda de la red, se requieren los valores de volúmenes de aguas registrados. Estos se determinan por según los datos entregados por Aguas de Valencia. Los volúmenes de aguas registrados corresponden a volúmenes anuales de cada una de las acometidas de la red, las cuales están asociadas a los distintos sectores de la red.

A continuación, se presenta los datos de consumo anuales por sectores:

N.º de sector	Sectores	Facturados [m ³ /año]
1	Benicalap	39.251,7
2	Benimamet	27.957,4
3	Bulevar Sur	254.347,3
4	Cabañal	70.070,4
5	Campanar	166.555,0
6	Centro	222.573,5
7	La Torre	19.474,1
8	Malvarrosa	30.460,6
9	Olivereta	172.075,4
10	Pla del Real	543.189,5
11	Rio Cauce	357.902,5
12	Malilla sur	86.017,0
Total		1.989.874,4

Tabla 20: Volumen de agua Facturado por sector.

Como se aprecia en la Tabla 20, el caudal total facturado por Aguas de Valencia en los 12 sectores asciende a 1.989.874,4 metros cúbicos de agua al año. Este volumen representa el agua consumida y registrada por los diversos abonados distribuidos en cada uno de los sectores de la red.

5.9.1 Asignación Demanda Base al Modelo

Para el desarrollo del modelo hidráulico, se consideraron todos los abonados registrados en la red, que, una vez depurado el modelo, se contabilizan en 491 abonados. La información de los abonados incluye detalles sobre la ubicación, el tipo de consumo y los volúmenes registrados en sus facturas. Esta información es crucial para asignar con precisión las demandas en el modelo.

Los datos de ubicación permiten identificar exactamente dónde se encuentra cada abonado dentro de la red, lo que facilita la asignación de demandas específicas a los nodos correspondientes. Los volúmenes registrados en las facturas proporcionan un historial preciso del consumo de agua, permitiendo estimar con mayor exactitud las necesidades de cada abonado.

Con la información del volumen consumido anual por abonado, es posible estimar el caudal promedio consumido a lo largo del año por cada abonado. Este cálculo se realiza dividiendo el volumen anual de consumo entre el número de segundos en un año, lo que permite obtener el caudal promedio anual de los nodos de consumo.

Otro punto importante para considerar es determinar al sector que pertenece cada uno de los nodos de consumo ya que esto es necesario aplicar los patrones de consumo en función del sector al que pertenecen.

5.10 Patrones de Consumo

Los patrones de consumo son fundamentales para entender y simular el comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua para riego de áreas verdes urbanas. Estos patrones describen cómo varía el consumo de agua en diferentes momentos del año, basándose en los ciclos y necesidades específicos del riego. La identificación y aplicación de estos patrones permiten que el modelo refleje con precisión las fluctuaciones en la demanda, mejorando la capacidad de planificación y respuesta del sistema.

Para identificar los patrones de consumo, se analizaron los datos de caudal inyectado registrado por Aguas de Valencia de cada uno de los sectores a largo del tiempo. Estos datos corresponden al caudal en intervalo de 1 hora el caudal a lo largo del año. A continuación, se presenta el registro del caudal horario del sector Pla del real :

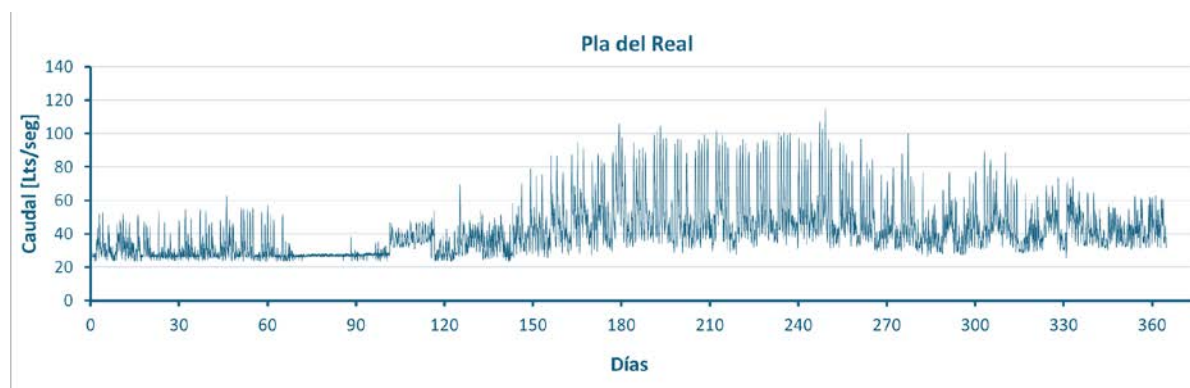


Figura 43: Caudal Inyectado al sector de Pla del real.

Para determinar el patrón de consumo o curva de modulación, se divide el caudal horario por el caudal promedio anual.

$$m(t) = \frac{Q(t)}{\bar{Q}_{Anual}} \quad (3)$$

En donde;

- $m(t)$: Coeficiente de modulación horario
- $Q(t)$: Caudal horario
- \bar{Q}_{Anual} : Caudal Promedio anual

Se opta por utilizar una curva de modulación anual para capturar con precisión las variaciones estacionales en la demanda de agua. Esta elección asegura que el modelo de distribución de agua refleje adecuadamente las fluctuaciones en la demanda a lo largo del

año, considerando los cambios significativos en las necesidades hídricas entre las diferentes estaciones. En la



Figura 44: Curva de Modulación Sector Pla del Real.

La red tal como se comentó anteriormente, tiene 12 sectores y cada uno de los sectores presenta su propio estilo de patrón de consumo. Las principales variaciones de los patrones reflejan el comportamiento del riego, mostrando cómo el consumo varía según la época del año, con picos típicos durante las estaciones más cálidas y secas y menores consumos durante las estaciones más frías y húmedas.

Una vez determinada las curvas de modulación y clasificadas según sector, se aplicaron al modelo hidráulico. Esto se logró asignado a los nodos de consumo del modelo, cada una de las curvas de modulación según su sector en la red.

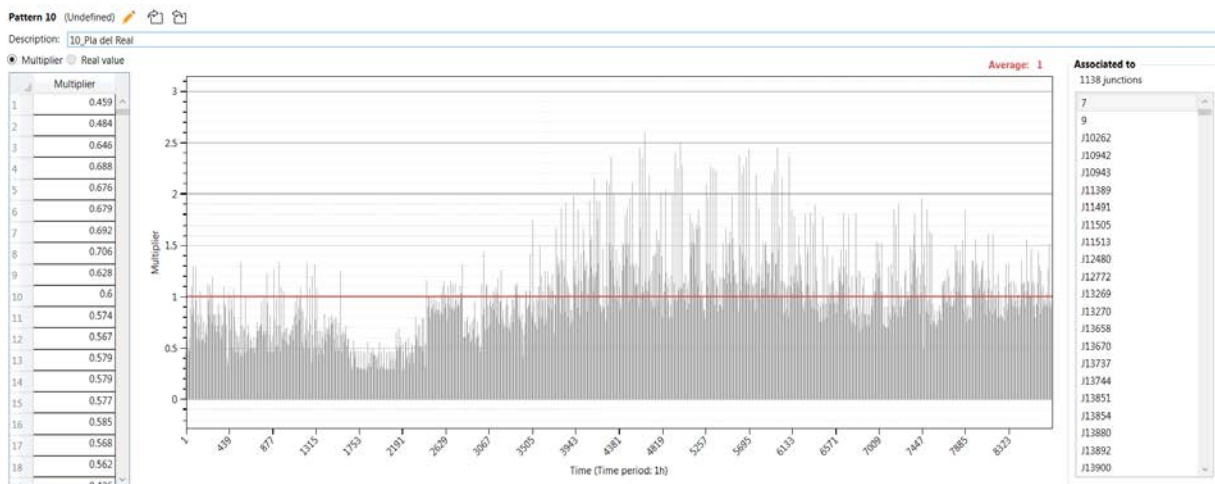


Figura 45: Patrón de Consumo del Sector Pla del Real.

En la Figura 45, se muestra el panel del Programa de QGISRED al momento de cargar la curva de modulación. En el costado izquierdo de la figura se aprecia los coeficientes de modulación horarios los cuales en su totalidad son 8.760 coeficientes, y en el costado derecho se aprecia a que nodos se le aplicada determinada mencionada curva.

En resumen, se dispone de 12 patrones de consumo, cada uno con coeficientes de modulación en intervalos de 1 hora, asignados a los nodos de consumo según su sector. En la

Figura 46 e muestran los datos de estos nodos, incluyendo el ID del nodo, su demanda base y el patrón de consumo al que pertenecen.

	Id	Elevation	BaseDem	IdPattDem
374	J15680	6.039	0.012208	10
375	J13181	11.988	0.012081	6
376	J13807	7.324	0.011733	3
377	J8192	26.611	0.011447	9
378	J12449	14.208	0.01132	6
379	J11389	17.984	0.01094	10
380	J14758	10.100	0.010876	10
381	J15352	7.796	0.01075	10
382	J10287	18.989	0.010369	1
383	J15451	6.071	0.010369	10
384	J10994	16.943	0.010274	6

Figura 46: Modulo de GISRED con datos de nodos de consumo.

Al identificar, clasificar y aplicar estos patrones específicos a cada uno de los 12 sectores, se asegura que el modelo refleje las variaciones temporales en la demanda a lo largo del año en función de su sector, mejorando la respuesta del modelo. En la figura se muestran los 491 nodos de consumo con su respectiva ubicación y patrón de consumo.

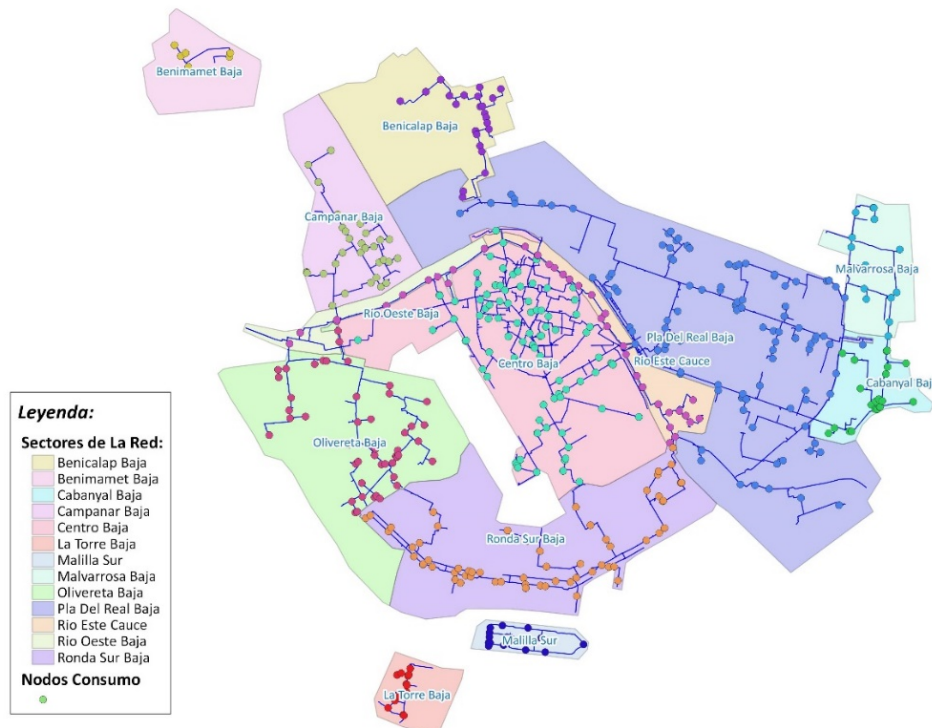


Figura 47: Nodos de Consumo en los diferentes sectores de la red.

5.11 Caudal Inyectado vs Caudal Registrado

Con los datos ingresados de demanda por nodo y patrones de consumo, se procedió a modelar y obtener resultados preliminares. Estos resultados de caudales registrados con el modelo se compararon con los datos reales de consumo para evaluar la precisión del modelo.

Al analizar los resultados de las simulaciones, se observó que en todos los sectores existen volúmenes de agua no registrada. Esta agua no registrada puede deberse a múltiples orígenes, como fugas en la red, errores en la medición, consumos no contabilizados o conexiones ilegales. La comparación entre el caudal inyectado y el caudal registrado es crucial para identificar y cuantificar las pérdidas en la red de distribución. Los volúmenes de agua no registrada representan una pérdida económica significativa y pueden afectar la eficiencia del sistema de distribución de agua.

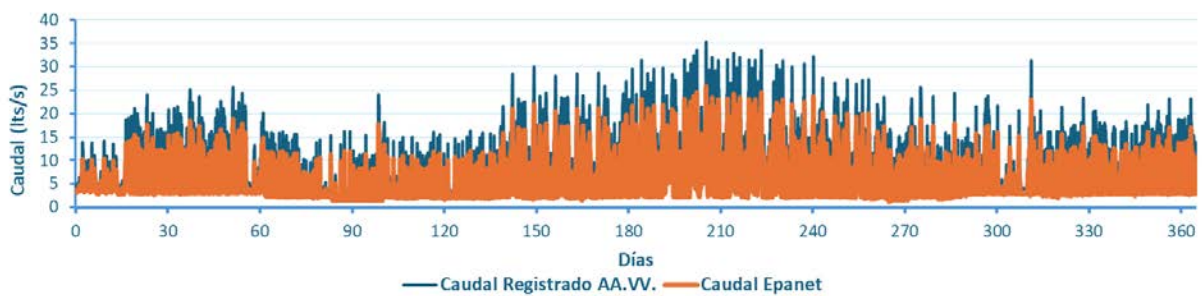


Figura 48: Caudal Registrado vs Caudal Epaten Sector Campanar.

La comparación entre el caudal inyectado y el caudal obtenido del modelo revela la existencia de volúmenes de agua no registrada en todos los sectores. Estas diferencias entre caudal registrado y el caudal estimado por el modelo, implican que el modelo debe ser calibrado ya que no refleja de fiel manera lo registrado en la realidad.

5.12 Calibración del Modelo con Emisores de Fuga

Para calibrar el modelo y reflejar lo más fielmente posible los caudales registrados, se procedió a modelar el caudal no registrado como fugas en la red. Para ello, se utilizó el método de emisores dependientes de la presión. Este enfoque permite simular fugas de agua en la red de distribución de manera realista, basándose en la relación entre la presión del sistema y el caudal de fuga.

El método de emisores dependientes de la presión se utiliza para simular fugas en una red hidráulica. En este método, los emisores se modelan como puntos de fuga cuyo caudal depende directamente de la presión del sistema. Es decir, a mayor presión, mayor será el caudal de fuga, reflejando el comportamiento real de las fugas en una red de distribución de agua.

Para poder calcular los coeficientes de emisores y realizar la calibración del modelo se procedió a utilizar la metodología expuesta en el documento *“Calibración de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión”*. (Martínez-Solano et al., 2017)

Para considerar las fugas lo primero que debemos considerar es que el Caudal total inyectado a la red corresponde a la sumatoria del caudal facturado más el caudal de fugas

$$Q_{iny} = Q_{Fac} + Q_{Fug} \quad (4)$$

En donde;

- Q_{iny} : Caudal Inyectado
- Q_{Fac} : Caudal facturado
- Q_{Fug} : Caudal Fugado

Con la información entregada por Aguas de Valencia, se obtiene la variación temporal del caudal inyectado en cada uno de los sectores de la red, con un intervalo de 1 hora. Además, es conocido la demanda base de los nodos de consumo y su respectivo coeficiente de modulación por lo cual tenemos que :

$$Q_{iny}(t) = \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i} + Q_{Fug}(t) \quad (5)$$

En donde;

- $m_{D,i}(t)$: Coeficiente de modulación del nudo i en el instante t
- $Q_{Db,i}$: Caudal medio demandado

Para determinar el caudal de Fuga existen varios enfoques, uno de ellos y el más simple para modelar las fugas consiste en admitir que el caudal de fugas es dependiente de la presión:

$$Q_{Fug,i}(t) = C_{E,i} * p_i(t)^n \quad (6)$$

En donde;

- $Q_{Fug,i}(t)$: Es el caudal de fugas en el nudo i en el instante t .
- $C_{E,i}$: Coeficiente de emisor en el Nudo i
- $p_i(t)^n$: presión en el nudo i en el instante t .
- n : exponente de emisor

Otro enfoque y con el fin de distribuir espacialmente las fugas en los nudos del modelo hidráulico se utiliza un coeficiente de fuga por unidad de longitud de red. El caudal de fuga para cada nudo del modelo será calculado utilizando la expresión basada en la propuesta por Germanopoulos en 1985(Molina, 2014).

$$Q_{Fug,i}(t) = \sum_{j=1}^{N_T} \beta_i * \frac{L_{j,i}}{2} * p_i(t)^n \quad (7)$$

En donde;

- $Q_{Fug,i}(t)$: Es el caudal de fugas en el nudo i en el instante t .
- β_i : Coeficiente de fuga por longitud de tubería
- $L_{j,i}$: longitud de la tubería conectada al nudo i
- N_T : Es el número de tuberías conectadas al nudo i

Para distribuir espacialmente las fugas en los nudos del modelo hidráulico, el coeficiente $C_{E,i}$ dependerá del 50% de las tuberías que conectan al nudo i , y del coeficiente de fuga por longitud de tubería:

$$C_{E,i} = \beta_i * \sum_{j=1}^{N_T} * \frac{L_{j,i}}{2} \quad (8)$$

Con esto , la ecuación (5) puede ser expresada como la suma de la demanda independiente de la presión (consumo) y la demanda dependiente de la presión (fugas). Si extendemos este planteamiento al conjunto de todos los nudos de consumo de la red tendremos un balance global de caudales en el instante:

$$Q_{iny}(t) = \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i} + \sum_{j=1}^{N_D} \beta_i * \frac{L_{j,i}}{2} * p_i(t)^n \quad (9)$$

Respecto al valor n , del exponente de emisor, Epanet nos recomienda el uso de un exponente de 0.50, que corresponde al Valor por defecto(Rossmann et al., 2020). Sin embargo, al revisar bibliografías al respecto, diversos autores sugieren que la utilización de valores distintos (desde 0.42 hasta 2.40) puede mejorar el comportamiento de la fuga en función de material del que esté constituida la tubería, dado que el tipo de rotura (longitudinal o en forma de fisura o circular) en éstas varía en función de la constitución de la tubería. (Casanova et al., 2017).

Para este proyecto en particular se consideró un valor de $n= 1$, ya que, por pruebas realizadas en el modelo este valor de exponente de emisor reflejaba con mayor precisión el caudal no registrado, además autores también señalan que “ el valor $n = 1$ es con frecuencia el que mejor modela el comportamiento real de las redes”(Carrasco, 2003), adicionalmente,

“Germanopoulus sugiere un valor de 1.18 basado en mediciones estudios de campo realizados en el Reino Unido” (Molina, 2014).

5.12.1 Estimación del Coeficiente del Emisor

Para poder estimar el coeficiente de emisor es necesario conocer el caudal de fuga en la red, para ello se utiliza la Ecuación N° (10)

$$Q_{Fug}(t) = Q_{iny}(t) - \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i} \quad (10)$$

Tanto el caudal inyectado como el demando son valores conocidos, una vez ya determinado el coeficiente de emisor de cada uno de los nodos.

“Para estimar el coeficiente del emisor utilizando la ecuación (4), es suficiente conocer la variación de la presión en la red. No obstante, para calcular dicha presión, es imprescindible determinar con precisión la variación temporal de la demanda. Se parte de la hipótesis de que la demanda sigue el mismo patrón temporal que el caudal inyectado. Con esta suposición, se calculan las presiones y se estima el caudal medio de fugas. Si el valor obtenido no coincide con el esperado, se ajustará iterativamente el coeficiente de los emisores. Este procedimiento se repite hasta que la presión promedio en los nudos de demanda se mantenga constante en dos iteraciones sucesivas y la diferencia entre el caudal medio de fugas simulado y el medido sea menor a un umbral de error específico”. (Martínez-Solano et al., 2017)

5.12.2 Estimación de curva de modulación

Una vez ya estimado el coeficiente de cada uno de los emisores de la red, se puede determinar el valor del coeficiente de modulación de la demanda a partir de la ecuación (11) de la siguiente manera

$$Q_{iny}(t) = \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i} + Q_{Fug}(t) \quad (11)$$

Al ajustar el patrón temporal de la demanda, las presiones varían levemente. Por lo tanto, este proceso debe repetirse hasta que la diferencia entre el caudal medido y el caudal simulado sea lo suficientemente pequeña.

En resumen, el método de calibración se puede apreciar en el siguiente diagrama:

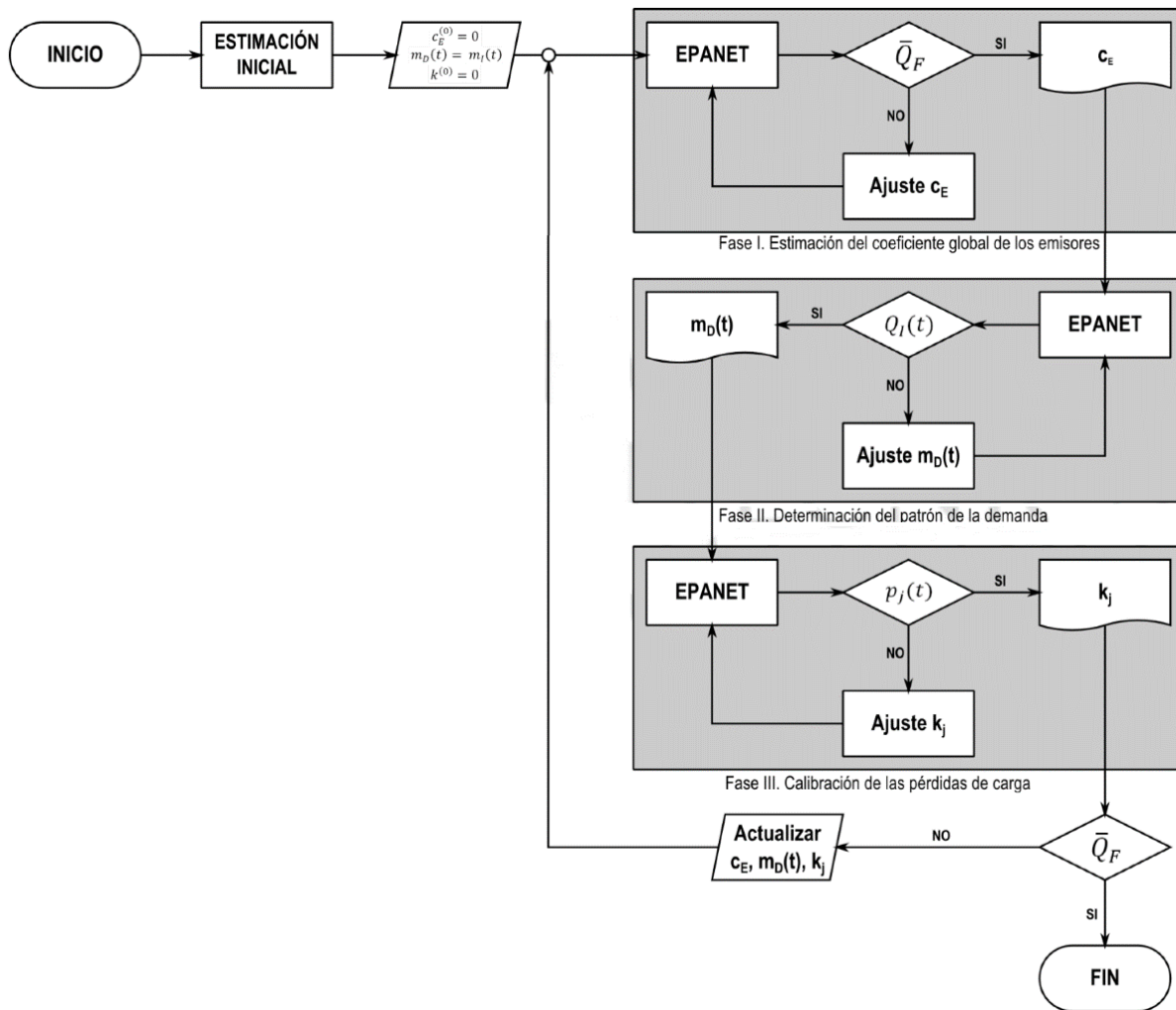


Figura 49: Flujograma descriptivo del proceso de calibración. Fuente: Martínez-Solano

5.12.3 Procedimiento Aplicado en uno de los Sectores

Como se mencionó anteriormente, es crucial llevar a cabo la calibración del modelo para garantizar su precisión para este propósito, se utilizó la metodología descrita en el punto anterior. Antes de iniciar la calibración, se estimaron las longitudes de las tuberías asociadas a cada nodo y se ajustó el caudal inyectado proporcionado por Aguas de Valencia.

5.12.3.1 Longitud tributaria por nodo.

Uno de los enfoques para calcular el coeficiente del emisor es determinar este coeficiente en función de la longitud de las tuberías conectadas a dicho emisor. Para ello, es necesario estimar la longitud "tributaria" de cada nodo de la red. Dado que la distribución de fugas se considera a lo largo de toda la red, este enfoque permite representar de manera más precisa el caudal fugado y facilita la identificación de las zonas con mayores fugas.

En la siguiente Figura 50 se presenta la red de la ciudad, mostrando la tributación de las longitudes en todos los nodos:

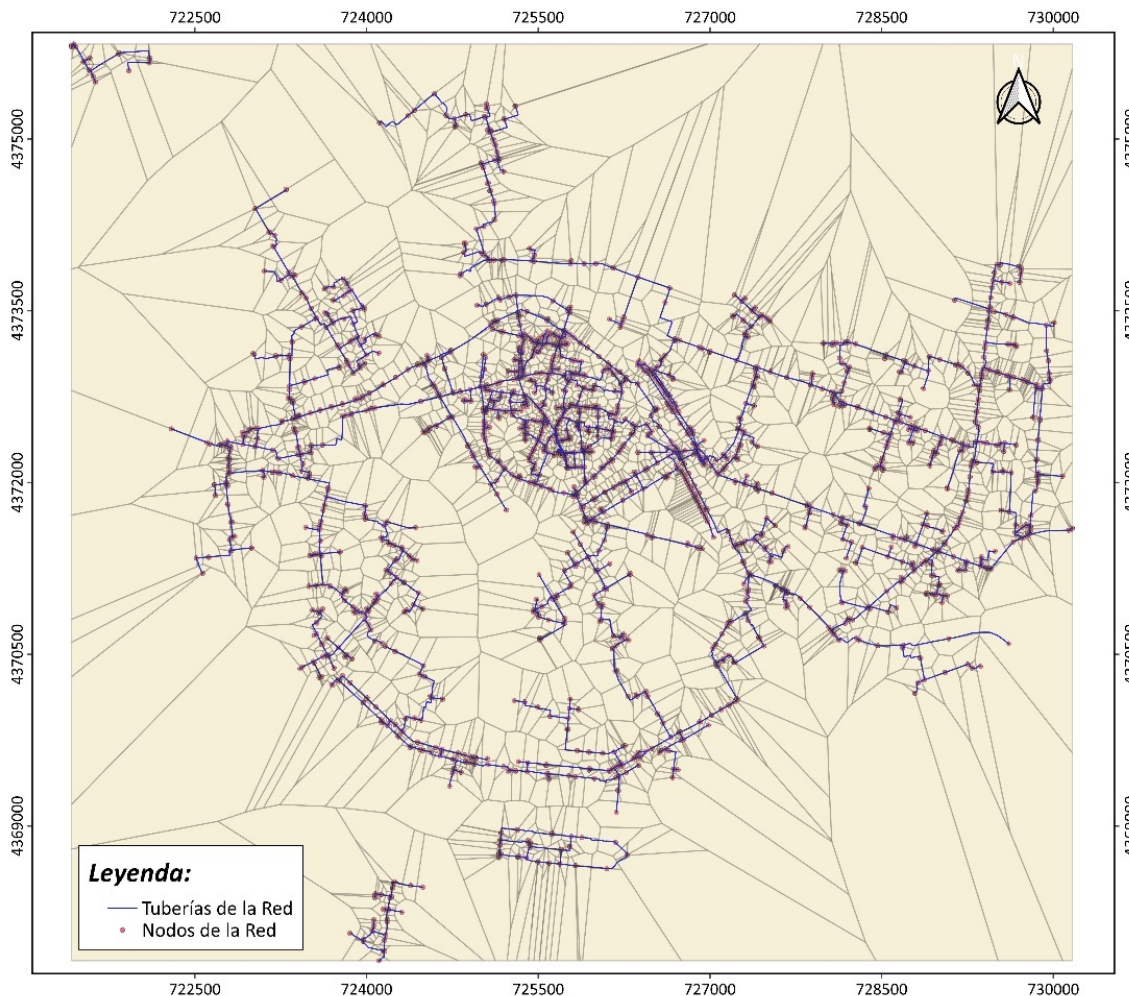


Figura 50: Polígonos de Voronoi de los Nodos.

Para lo estimar esta longitud tributaria, se realizó una triangulación de Thiessen de cada uno de los nodos, con lo cual se pudo estimar la longitud de tubería “tributaria ” de cada uno de ellos.

Los triángulos Thiessen de también conocidos como polígonos de Voronoi, son una técnica geométrica utilizada para dividir un plano en regiones basadas en la distancia a un conjunto específico de puntos. En este contexto, cada nodo de la red de tuberías se considera un punto, y el área tributaria de cada nodo se define como la región del plano que está más cerca de ese nodo que de cualquier otro. Esta triangulación se realizó con el software QGIS red y permite estimar la longitud de las tuberías que tributan cada nodo.

A continuación, en la Figura 51 a modo de ejemplo, se presenta el largo tributario de las tuberías asociadas a los nodos en un tramo de la red.

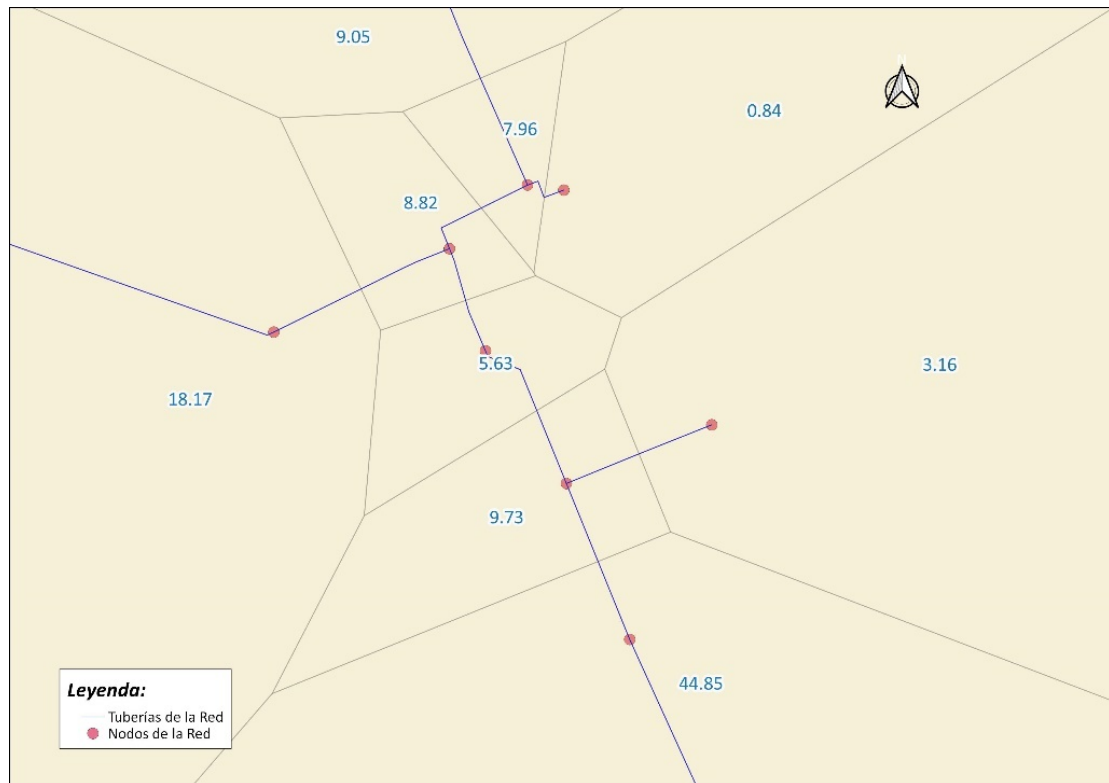


Figura 51: Tributación de longitud de tubería en cada Nodo.

Esta representación ilustra cómo se distribuyen las longitudes de las tuberías entre los diferentes nodos de la red, proporcionando una base sólida para la calibración del modelo hidráulico.

5.12.3.2 Corrección de los caudales inyectados a la red.

El segundo procedimiento realizado antes de la calibración fue la corrección de los datos de caudal inyectado a la red proporcionados por Aguas de Valencia. Al revisar estos datos, se observó que existían horas en las que el caudal inyectado a los sectores era nulo o muy cercano a cero, lo cual es imposible si la red presenta presión y fugas. Estos valores cercanos a cero pueden explicarse de diversas maneras, tales como errores en el conteo de los medidores de los sectores, subcontaje, errores en la toma de lectura, vacíos en el registro, entre otros.

A continuación, en la Figura 52 se presentan los patrones de caudal inyectado al sector Centro. Estos patrones están organizados de manera semanal, mostrando la variación del caudal a lo largo de las 52 semanas del año.

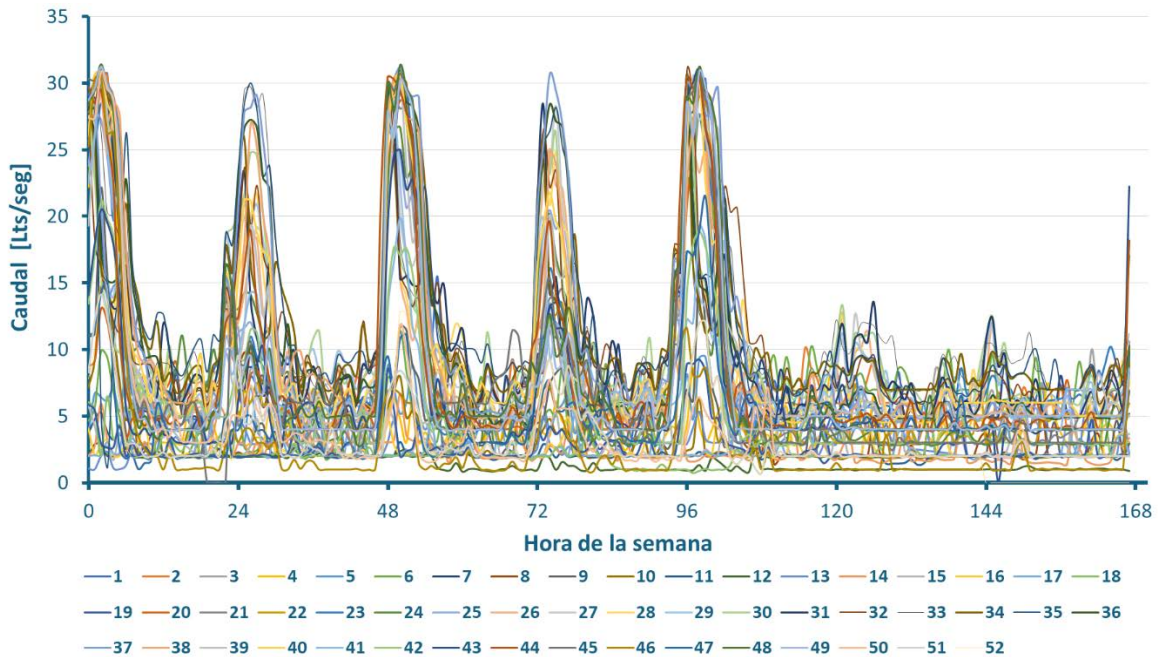


Figura 52: Caudales Inyectado Sector Olivereta ordenados por semana.

Como se puede apreciar que semanalmente, los caudales de riego siguen un patrón uniforme a lo largo de las distintas horas de la semana. Estos patrones muestran claramente que los riegos se repiten cada 24 horas, concentrándose en los horarios nocturnos durante los días laborales. Esto sugiere que existe una estrategia de riego planificada por los regantes de la ciudad.

Por otro parte, se pueden apreciar mediciones de caudales que presentan valores significativamente bajos e incluso nulos en ciertos horarios, lo que indica una problemática en la lectura o contabilidad de estos caudales. Para abordar esta problemática, se identificaron todos los registros de caudal horario con valores nulos o muy cercanos a cero y se compararon con caudales similares en el mismo horario y día de la semana anterior y posterior. A partir de esta comparación, se obtuvo un valor promedio para esos caudales en los mismos horarios y días. Este procedimiento es válido dado que los patrones de riego son repetitivos a lo largo de la semana.

Cuando no fue posible aplicar el procedimiento anterior debido a la falta de datos en ciertos horarios, se procedió a calcular el caudal mínimo que debería existir en el sector, en función de las fugas presente en la red. Para ello se consideró el modelo con emisores de fuga por lo cual, esta estimación del caudal mínimo fue un proceso adicional, dentro del procedimiento iterativo del cálculo de los emisores de fugas.

Con los procesos antes descritos se obtuvieron 12 nuevos registros de consumo inyectados a la red corregidos, con los cuales se procedió a calibrar el modelo. Estos registros

corregidos permitieron una representación más precisa del caudal real en la red de distribución. A continuación, en la Figura 3 se presentan los patrones de caudal inyectado al sector Centro corregidos, mostrando cómo estos ajustes mejoraron la exactitud de las mediciones.

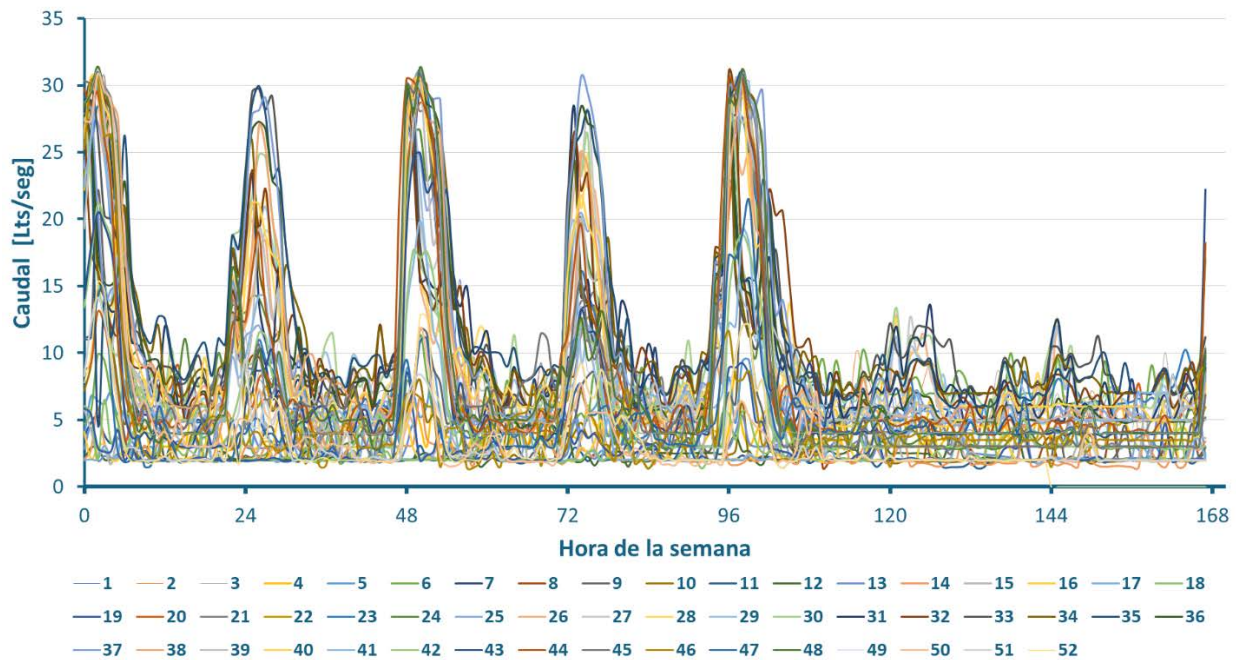


Figura 53: Caudal Inyectado Procesado Sector Olivereta por semana.

En la Figura 53 se puede apreciar que ya no existen los valores cercanos a cero, lo que indica una corrección exitosa de los datos erróneos. Además, se observa una línea relativamente homogénea que representa un caudal mínimo registrado en la red, el cual, independientemente del horario, nunca desciende por debajo de este umbral el cual representaría las fugas existentes en el sector cuando no hay consumo. Esto refleja una mayor precisión en la estimación del consumo mínimo continuo, contribuyendo a una mejor calibración y análisis del modelo hidráulico

5.12.4 Calibración Sector Campanar

Una vez determinado la longitud tributaria de todos los nodos y se corrigieron los datos de los caudales inyectados, entregados por Aguas de Valencia se procedieron a calibrar los sectores con la metodología descrita anteriormente. A modo de ejemplo se explicará el procedimiento realizado para calibrar el sector Campanar.

Tal como se señaló en el procedimiento anterior, lo primero que se debe hacer estimar el coeficiente del emisor de los nodos, para ello es necesario estimar el caudal no registrado del sector. A continuación, se presenta el balance de los caudales correspondientes a las primeras 12 horas del sector. No obstante, el cálculo real abarca las 8760 horas del año, lo

cual es imposible de representar en su totalidad en este informe debido a limitaciones de espacio.

Instante de tiempo	Caudal Q(t) Inyectado Registrado AAVV [L/s]	Curva Modulación Inicial Anual	Caudal Q(t) Calculado Modelo [L/s] Sin fuga
2022-01-01T00:00:00	4,94	0,69	3,62
2022-01-01T01:00:00	4,83	0,67	3,54
2022-01-01T02:00:00	4,84	0,67	3,55
2022-01-01T03:00:00	4,60	0,64	3,38
2022-01-01T04:00:00	4,66	0,65	3,42
2022-01-01T05:00:00	4,62	0,64	3,39
2022-01-01T06:00:00	4,99	0,69	3,66
2022-01-01T07:00:00	4,49	0,62	3,29
2022-01-01T08:00:00	4,61	0,64	3,38
2022-01-01T09:00:00	4,61	0,64	3,38
2022-01-01T10:00:00	4,31	0,60	3,16
2022-01-01T11:00:00	4,70	0,65	3,45

Tabla 21: Cálculo de Caudales del sector, primeras 12 horas.

Como se aprecia en la segunda columna se tiene el caudal inyectado de la red, el cual fue entregado por aguas de Valencia. En la cuarta columna se tiene el caudal facturado, en este caso obtenido del modelo por medio de la demanda base y su respectiva curva de modulación inicial, con ellos es posible obtener el caudal de fuga.

$$Q_{Fuga}(t) = Q_{iny}(t) - \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i}$$

Considerando el año completo se puede obtener el balance del sector, el cual se presenta a continuación:

Caudal inyectado	7,20	(l/s)
Caudal registrado	5,28	(l/s)
Caudal No registrado	1,91	(l/s)
Rendimiento Sector	73	%

Tabla 22: Balance Hidráulico.

Una vez obtenido el caudal de fuga global sector es posible estimar el coeficiente global de todo el sector el cual queda representado por la ecuación

$$\frac{Q_{Fuga}}{p_i^n} = C_E \quad (12)$$

La presión de este y todos los sectores se obtiene del modelo de Epanet, considerando la hipótesis de que la demanda sigue el mismo patrón temporal que el caudal inyectado (Martínez-Solano et al., 2017) para la primera iteración. Con lo anterior se puede estimar el coeficiente global del sector.

Presión Media Sector	37,09	mca
Q(Ag No Re)	1,92	l/s
Ce (global)	0,0518	

Tabla 23: Cálculo del Coeficiente de emisor Global.

Una vez obtenido el coeficiente de global de modulación es necesario obtener el coeficiente de emisor de cada uno de los nodos del sector. Tal como se comentó anteriormente para disponer una representación más exacta del comportamiento de las fugas, el coeficiente de emisor se calcula en función de la longitud de la tubería asociada a cada nodo. Para ello se estima el coeficiente de fuga por longitud de tubería

$$\beta = \frac{C_E}{\sum_{j=1}^{N_T} L_j} \quad (13)$$

La longitud de tubería de todos los sectores se obtuvo del procedimiento descrito en el capítulo anterior cuando se determinan todos los largos tributarios por nodo.

N.º de sector	Sectores	Longitud del sector [m]
1	Benicalap	4.132,20
2	Benimamet	1.472,60
3	Bulevar Sur	16.141,90
4	Cabañal	4.416,60
5	Campanar	7.050,20
6	Centro	38.774,80
7	La Torre	2.147,10
8	Malvarrosa	4.973,70
9	Olivereta	11.202,70
10	Pla del Real	33.056,40
11	Rio Cauce	10.578,10
12	Malilla sur	3.792,80
Total		137.738,92

Tabla 24: Longitud de las tuberías de la red por sector.

Teniendo en cuenta la longitud total del sector se obtiene este coeficiente de fuga el cual este en función del largo de la tubería:

$$\beta = \frac{0,05}{7.050} = 0,0000073422$$

Como se dispone de la longitud tributaria de cada uno de los nodos y el coeficiente de fuga por metro lineal, es posible obtener el coeficiente de emisor de cada uno de los nodos del sector con la Ecuación (8). A continuación, a modo de ejemplo se presenta el cálculo de algunos nodos del sector:

$$C_{E,i} = \beta_i * \sum_{j=1}^{N_T} * \frac{L_{j,i}}{2} \quad (8)$$

β	0,0000073422		
Id Nodos	Longitud [m]	Sector	Ce Emisor
J1005	73,8	Campanar Baja	0,000542194
J1008	131,8	Campanar Baja	0,000967563
J1009	208,4	Campanar Baja	0,001530016
J1010	5,0	Campanar Baja	0,000037060
J1014	0,8	Campanar Baja	0,000006013
J1031	65,4	Campanar Baja	0,000480253
J1038	30,3	Campanar Baja	0,000222518
J1050	8,2	Campanar Baja	0,000060322
J1051	33,4	Campanar Baja	0,000245483
J1053	46,3	Campanar Baja	0,000339603
J1054	2,1	Campanar Baja	0,000015166

Tabla 25: Cálculo del Coeficiente de emisore de cada nodo.

Obtenido el coeficiente de emisore de cada nodo, se procede a ingresar el modelo de EPANET, y se calcula nuevamente el caudal del modelo, pero esta vez con fugas :

Instante	Caudal Q(t) Inyectado Registrado AAVV [L/s]	Curva modelación Inicial Anual	Caudal Q(t) Calculado Modelo [L/s] Sin fuga	Caudal Q(t) Calculado Modelo con Emisor [L/s]
2022-01-01T00:00:00	4,94	0,69	3,62	5,54
2022-01-01T01:00:00	4,83	0,67	3,54	5,45
2022-01-01T02:00:00	4,84	0,67	3,55	5,46
2022-01-01T03:00:00	4,60	0,64	3,38	5,29
2022-01-01T04:00:00	4,66	0,65	3,42	5,33
2022-01-01T05:00:00	4,62	0,64	3,39	5,30
2022-01-01T06:00:00	4,99	0,69	3,66	5,57
2022-01-01T07:00:00	4,49	0,62	3,29	5,21
2022-01-01T08:00:00	4,61	0,64	3,38	5,29
2022-01-01T09:00:00	4,61	0,64	3,38	5,29
2022-01-01T10:00:00	4,31	0,60	3,16	5,07
2022-01-01T11:00:00	4,70	0,65	3,45	5,36

Tabla 26:Balance Hídrico con caudal obtenido con emisores.

Con este nuevo caudal es posible realizar el paso II, donde se estima la nueva curva de modulación, con la ecuación N.º (14) la cual se presenta a continuación:

$$Q_{iny}(t) = \sum_{i=1}^{N_D} m_{D,i}(t) * Q_{Db,i} + Q_{Fug}(t) \quad (14)$$

Esta curva de modulación obtenida debe ser corregida la cual se corrige con la siguiente ecuación:

$$m_{D,corregida}(t) = \frac{m_D(t)}{\bar{m}_D} \quad (15)$$

A continuación, se presenta la curva de modulación obtenida:

Caudal Q(t) Calculado Modelo con Emisor [L/s]	Curva Modelación Determinada	Curva modelación Corregida
5,54	0,57	0,57
5,45	0,55	0,55
5,46	0,55	0,55
5,29	0,51	0,51
5,33	0,52	0,52
5,30	0,51	0,51
5,57	0,58	0,58
5,21	0,49	0,49
5,29	0,51	0,51
5,29	0,51	0,51
5,07	0,45	0,45
5,36	0,53	0,53
5,54	0,58	0,58

Figura 54: Curvas de modulación.

Una vez obtenida esta nueva curva de modulación corregida y los emisores de la red, estos son cargadas al modelo, y es posible estimar nuevamente los caudales del sector. Este último caudal se obtiene del modelo, y corresponde al caudal de la tubería en la entrada del Sector. En sectores más complejo como el sector Centro, Pla del Real o Bulevar Sur, para obtener este caudal es necesario realizar el balance hidráulico del sector, sumando los caudales de entradas y restando los caudales de salida por lo cual hay que identificar cada una de las tuberías de entrada y salida del sector analizado en el modelo.

Instante	CIR	CMI	CCM	CCE	CMD	CMC	CECC
2022-01-01T00:00:00	4,94	0,69	3,62	5,54	0,57	0,57	4,93
2022-01-01T01:00:00	4,83	0,67	3,54	5,45	0,55	0,55	4,83
2022-01-01T02:00:00	4,84	0,67	3,55	5,46	0,55	0,55	4,83
2022-01-01T03:00:00	4,60	0,64	3,38	5,29	0,51	0,51	4,60
2022-01-01T04:00:00	4,66	0,65	3,42	5,33	0,52	0,52	4,66
2022-01-01T05:00:00	4,62	0,64	3,39	5,30	0,51	0,51	4,62
2022-01-01T06:00:00	4,99	0,69	3,66	5,57	0,58	0,58	4,99
2022-01-01T07:00:00	4,49	0,62	3,29	5,21	0,49	0,49	4,48
2022-01-01T08:00:00	4,61	0,64	3,38	5,29	0,51	0,51	4,61
2022-01-01T09:00:00	4,61	0,64	3,38	5,29	0,51	0,51	4,61
2022-01-01T10:00:00	4,31	0,60	3,16	5,07	0,45	0,45	4,31
2022-01-01T11:00:00	4,70	0,65	3,45	5,36	0,53	0,53	4,70

Tabla 27: Proceso de calibración.

Donde;

- CIR : Caudal Q(T) Inyectado Registrado AAVV [L/s].
- CMI: Curva modelación Inicial Anual.
- CCM: Caudal Q(T) Calculado Modelo [L/s] Sin fuga.
- CCE : Caudal Q(T) Calculado Modelo con Emisor [L/s].
- CMD: Curva modelación Determinada.
- CMC: Curva modelación corregida.
- CECC: Caudal Q(T) Modelo con Emisor y Curva Corregida[L/s].

Se puede apreciar claramente como con la primera iteración los caudales del modelo ya son muy similares caudales inyectados a los registrados por Aguas de Valencia. Sin embargo, es necesario mínimo realizar una segunda calibración ya que como se mencionó, al cambiar la curva de modulación cambian los valores de las presiones por lo cual se debe repetir toda la iteración. El precediendo antes descrito se realizó para cada uno de los sectores de la red, una iteración mínima de 2 veces por sector.

5.13 Modelo Final con Emisores de Consumo

Finalmente, se logró obtener un modelo calibrado que refleja con precisión los caudales inyectados en la red de Aguas de Valencia. Este modelo incorpora la calibración de los 12 sectores de la red y se determinaron los valores de 4804 emisores, ajustados en función de la longitud de las tuberías correspondientes. Esta precisión permite una representación detallada y realista del comportamiento hidráulico de la red, facilitando la identificación de áreas de mejora y la implementación de estrategias de gestión eficientes.

A continuación, en la Figura 55 se presenta una imagen del modelo calibrado, donde se puede apreciar la distribución de los emisores y la configuración detallada de la red de distribución de agua.

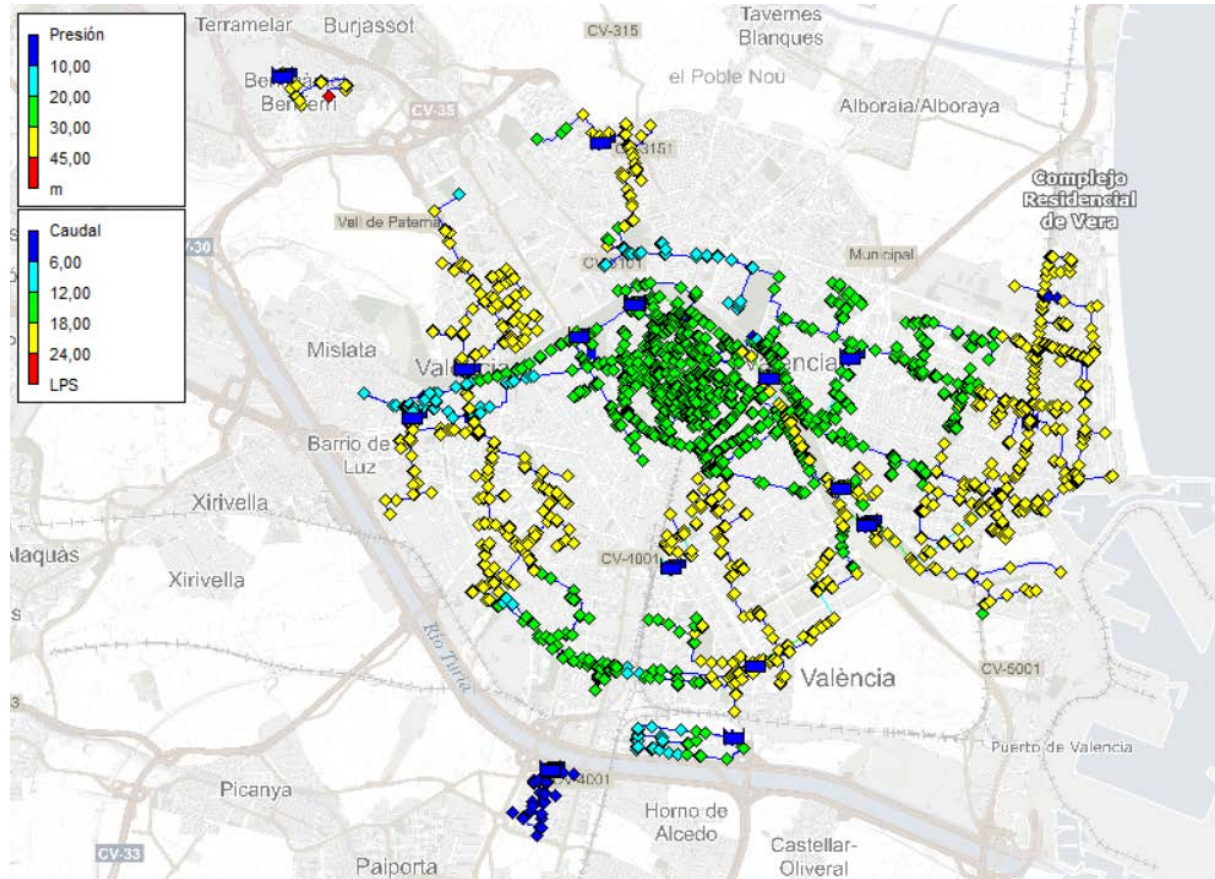


Figura 55: Modelo en EPANET con emisores.

Este modelo final es una herramienta muy útil para la planificación y gestión del sistema de distribución de agua en Valencia, permitiendo simular diferentes escenarios y evaluar el impacto de diversas intervenciones en la red.

Se llevaron a cabo múltiples iteraciones de ajuste y validación para garantizar la precisión del modelo. Este proceso incluyó la revisión continua de los parámetros del modelo y la comparación de los resultados de las simulaciones con los datos reales de consumo y presión obtenidos de la red de distribución. Cada iteración permitió refinar los emisores y ajustar las variables del modelo, asegurando que las simulaciones reflejaran con fidelidad el comportamiento real de la red.

5.13.1 Caudal Inyectado vs Caudal Registrado en el Modelo Calibrado

El modelo calibrado se utilizó para comparar el caudal inyectado con el caudal registrado en cada uno de los 12 sectores de la red. Este análisis es fundamental para identificar discrepancias y comprender mejor las dinámicas de consumo y pérdida de agua dentro del

sistema. La imagen del modelo calibrado que se presenta a continuación ilustra esta comparación detallada.

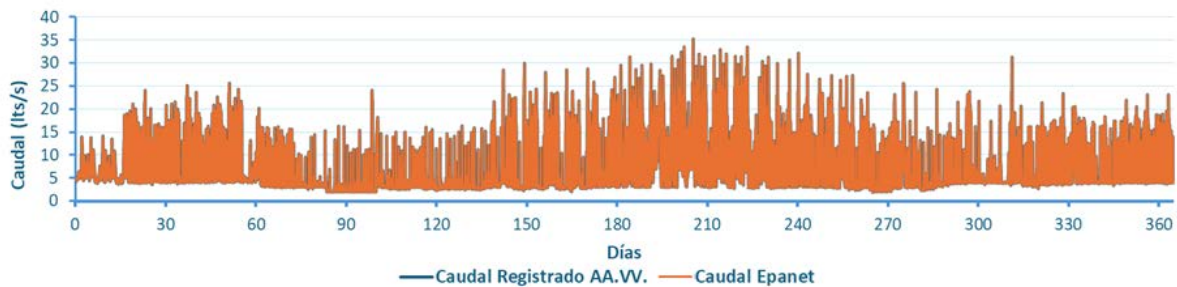


Figura 56: Caudal Inyectado vs Caudal Registrado en sector Campanar.

En la gráfica se presenta una comparación entre el caudal registrado por Aguas de Valencia (línea azul) y el caudal simulado utilizando el modelo hidráulico de EPANET (línea naranja) a lo largo de un año. Se puede observar que existe una notable similitud entre ambos conjuntos de datos, lo que indica que el modelo calibrado refleja con precisión las variaciones diarias y estacionales del caudal en la red de distribución y es capaz de capturar adecuadamente el comportamiento hidráulico, incluyendo los efectos de las fugas y otras pérdidas no registradas.

En el nuevo modelo, se puede apreciar que el caudal del modelo nunca llega a valores de 0. Esto tiene sentido, ya que la red mantiene presión en todo momento, lo que implica que siempre existen fugas que se reflejan en este caudal mínimo. Este comportamiento es consistente con la presencia continua de presión en la red, lo que garantiza que las fugas se mantengan constantes y detectables.

La implementación de emisores dependientes de la presión permitió calibrar el modelo de manera efectiva, reflejando de forma precisa los caudales no registrados como fugas. Esto mejoró la capacidad del modelo para simular el comportamiento real de la red, proporcionando una herramienta más confiable para la gestión y planificación del sistema de distribución de agua.

6 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y RIEGO

En esta sección se presenta un análisis del funcionamiento hidráulico y del sistema de riego de la red de Baja Presión de Valencia. Utilizando datos obtenidos del modelo calibrado y la red procesada, se examinan diversos aspectos clave que afectan la eficiencia y efectividad del sistema. A través de este capítulo, se busca identificar áreas críticas, optimizar la infraestructura existente y proponer mejoras para garantizar un suministro de agua más eficiente y óptimo.

6.1 Presiones de la Red

El análisis de presiones en la red de riego es fundamental para garantizar que el sistema opere de manera eficiente y efectiva. Este análisis permite identificar sectores con posibles problemas de presión, que podrían resultar en un riego ineficiente o afectar negativamente la distribución del agua. Se evaluaron las presiones en todos los nodos de la red para asegurar que se mantengan dentro de los rangos óptimos para el riego. La Tabla 28 muestra las presiones promedio anuales y presiones mínimas de cada uno de los sectores:

N.º de sector	Etiquetas de fila	Promedio de Presión [mca]	Presión Mínima [mca]
1	Benicalap Baja	30,5	30,2
2	Benimamet Baja	10,4	-1,9
3	Cabañal Baja	36,0	32,2
4	Campanar Baja	37,1	36,5
5	Rio Cauce	25,9	25,2
6	Centro Baja	26,4	25,8
7	La Torre Baja	7,5	0,4
8	Malilla Sur	26,9	19,6
9	Malvarrosa Baja	35,0	31,7
10	Olivereta Baja	38,9	35,3
11	Pla Del Real Baja	31,4	28,1
12	Ronda Sur Baja	29,5	28,3
	Promedio total	27,9	24,3

Tabla 28: Presiones en los sectores de la Red.

Como se puede observar, la red cuenta con presiones cercanas a 30 [mca] prácticamente en la totalidad de los sectores, lo cual es indicativo de un buen funcionamiento general sin problemáticas de bajas presiones significativas. La presión promedio de toda la red es de 27.9 [mca]. Esto sugiere que, en general, la red de Baja Presión de Valencia mantiene una presión adecuada en todos los de sus sectores. Sin embargo, hay variaciones notables entre los diferentes sectores.

El sector de La Torre y el sector Benimamet presentan unas presiones promedias significativamente bajas, con promedios de presiones de 7.5 mca y 10.42 mca respectivamente. Este comportamiento particular se debe a que estos sectores corresponden a sectores aislado de la red principal y tiene un funcionamiento en donde las bombas pausan su funcionamiento en los horarios fuera de las jornadas de riego, lo que explica la presión decaída en todos los horarios cuando no hay riego.

Los sectores que presentan las presiones promedio más elevadas corresponden a Olivereta con 38,9 mca y Campanar con 37,1 mca. Estos sectores tienen presiones significativamente superiores al promedio, lo que podría indicar una posible sobrepresión que, a largo plazo, podría generar desgaste en la infraestructura y fugas excesivas.

Analizando las presiones mínimas de todos los sectores, salvo La Torre y Campanar, se puede apreciar que estas presiones siguen siendo relativamente elevadas por lo cual se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar si las presiones altas son beneficiosas o si pudieran ser optimizadas para prevenir posibles daños a largo plazo.

6.2 Patrones de Consumo

Los patrones de consumo son esenciales para entender cómo y cuándo se utiliza el agua en la red de riego. Analizar estos patrones permite optimizar la distribución del agua y ajustar las jornadas de riego para mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio. Se estudiaron los patrones de caudales inyectados diarios, semanales y estacionales, identificando los momentos de mayor y menor demanda.

En la Figura 57 se muestra el caudal inyectado en toda la red de Valencia a lo largo del año.

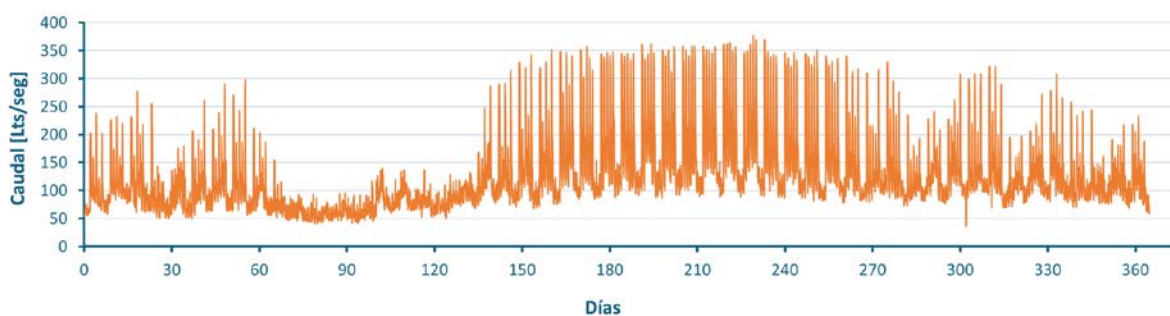


Figura 57: Caudal inyectado en toda la red de Valencia en el transcurso del año. Fuente:

Esta figura visualiza las variaciones estacionales del consumo de agua, con picos de caudales que coinciden con los periodos de mayor demanda hídrica y valles durante las temporadas de menor uso. Comprender estos patrones ayuda a ajustar el suministro de agua para satisfacer las necesidades específicas de cada sector en diferentes momentos del año.

Otro análisis por considerar es visualizar como se realizan las jornadas de riego, pero analizadas en un periodo de una semana. En la Figura 58, se presentan los patrones de los caudales inyectados en el Sector Centro, ordenados por semana. Este análisis semanal permite observar la consistencia en los patrones de consumo, identificando los días y horas de mayor y menor demanda dentro de cada semana.

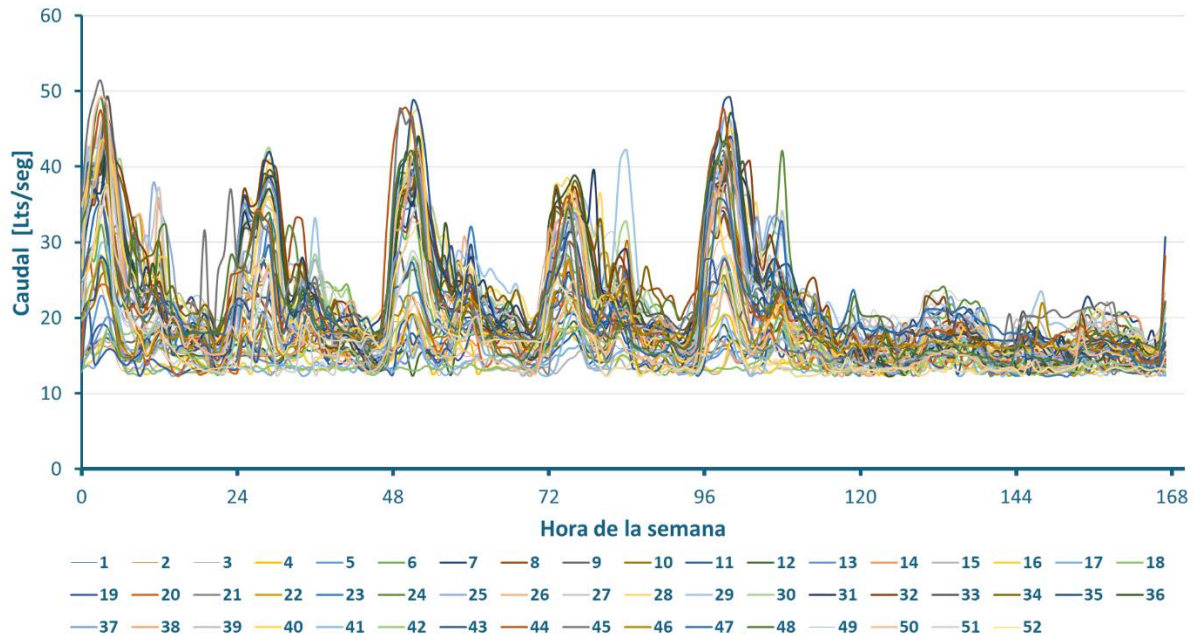


Figura 58: Caudales Inyectado Sector Centro ordenados por semana.

En la Figura 58 se visualizan las 52 semanas del año y cómo son los patrones de riego en el Sector Centro. Se aprecia claramente que existen patrones repetitivos de las jornadas de riego, concentrándose prácticamente en su totalidad entre los días de lunes a viernes y siempre en horario nocturno. Además, los días de mayor riego son los lunes, miércoles y viernes, mientras que los fines de semana se mantiene un riego constante, posiblemente por sistemas de riego por goteo u otros sistemas de riegos con caudales constantes. Este patrón de riego nocturno asegura un uso eficiente del agua, minimizando el desperdicio durante las horas de menor evaporación y maximizando la eficiencia del riego. La Figura 59, por su parte, muestra los caudales promedio, máximos y mínimos inyectados en la totalidad de la red, ordenados para una semana.

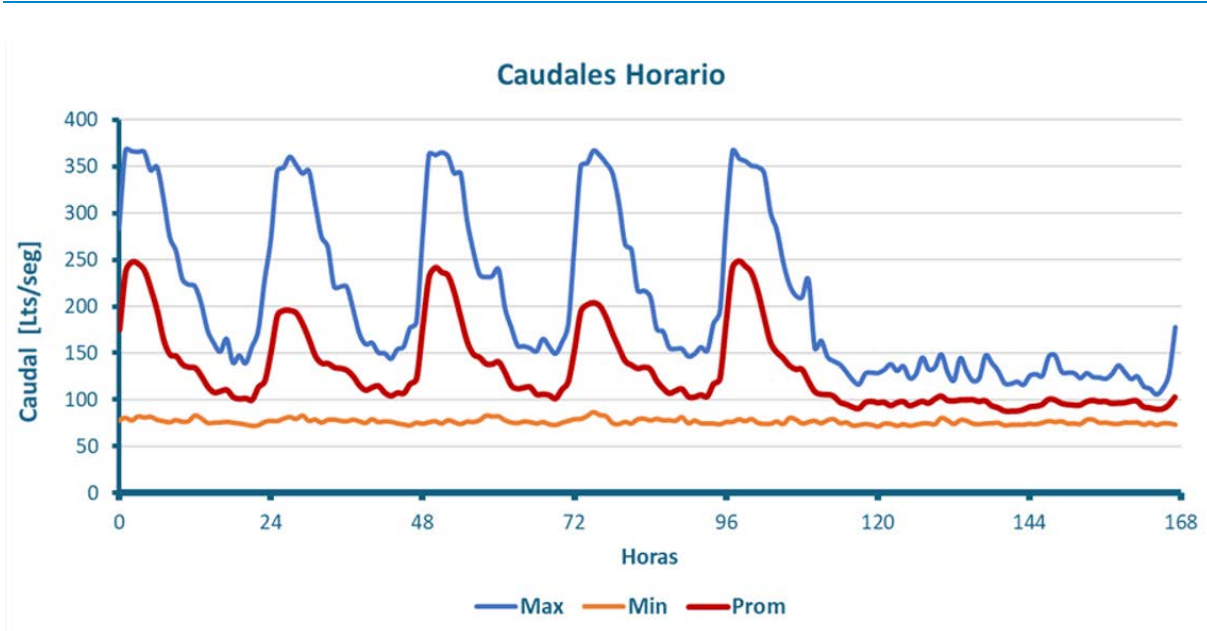


Figura 59: Caudales máximos, mínimo y promedios anuales Inyectados a la red .

Similar a lo ocurrido en el Sector Centro, se puede apreciar claramente el patrón de riego existente en toda la ciudad de Valencia: de horario nocturno y concentrado en los días laborables de la semana. De esta figura se destaca que existe un valor mínimo constante de caudales que, independientemente del día y del horario, es prácticamente constante. Ese caudal mínimo representa las fugas en la red.

De igual forma hay que comentar que los patrones de caudales varían de un sector a otro, un sector que presenta un patrón singular corresponde al sector La Torre, en la Figura 60 se presenta sus patrones de caudal.

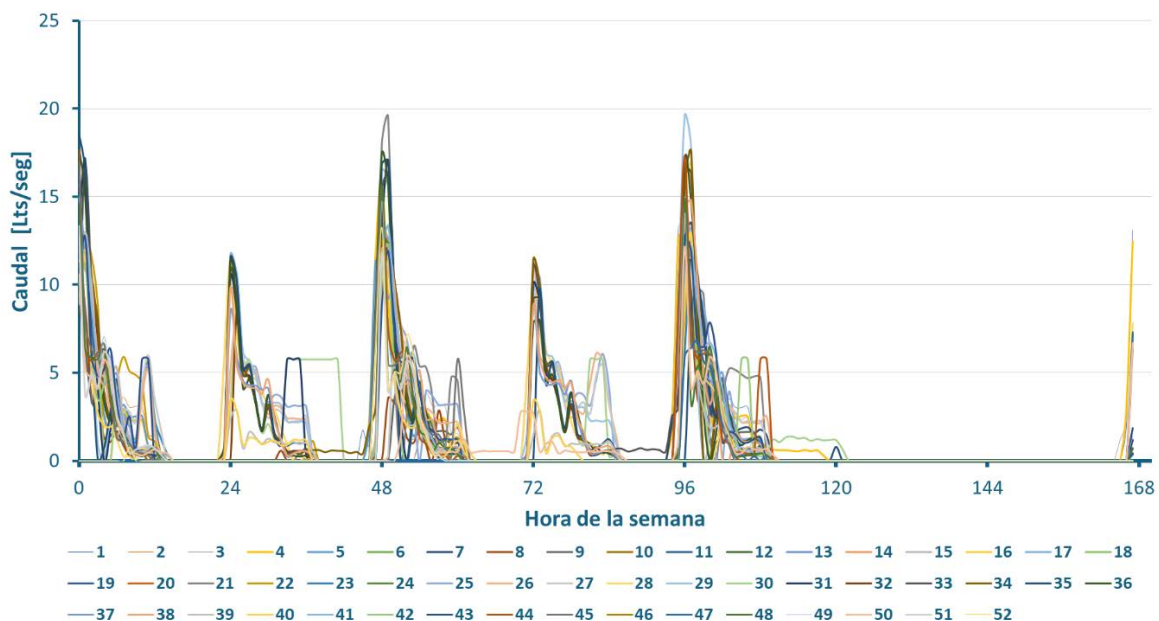


Figura 60: Caudales Inyectados al sector la torre ordenandos por semana.

En la Figura 60 observa que el sector La Torre sigue patrones de riego similares a los presentados en toda la red y en el Sector Centro, con jornadas de riego por las noches y en los días laborables de la semana. Sin embargo, la mayor diferencia es que en este sector los caudales mínimos registrados tienden a valores prácticamente nulos. Esto se debe a que, como se mencionó en el apartado del análisis de las presiones, el sector La Torre presenta un comportamiento en el cual las bombas dejan de funcionar en los horarios donde no hay jornadas de riego, lo que disminuye la presión en el sector y conlleva a que, en horarios donde no existe riego, prácticamente no existen fugas.

Identificar estos patrones y estudiar el comportamiento entre los diferentes sectores permite estimar, analizar y evaluar la eficiencia de los patrones de riego actuales. Este análisis es crucial para determinar si los métodos de riego existentes son óptimos o si existe la oportunidad de adoptar estrategias más efectivas. Al comprender las diferencias en los patrones de consumo entre los sectores, se pueden desarrollar soluciones personalizadas que optimicen el uso del agua, reduciendo el desperdicio y garantizando que cada área reciba la cantidad de agua adecuada según sus necesidades específicas.

Debido a lo anterior resulta de gran interés llevar a cabo una evaluación comparativa entre los patrones de riego y las demandas hídricas específicas de las áreas verdes. Este análisis es fundamental para identificar períodos en los que el riego podría exceder las necesidades reales, lo que permitiría implementar estrategias de optimización en el uso del agua. Este tipo de evaluación será abordado en los apartados siguientes, proporcionando una visión más detallada y específica sobre la gestión del agua en la red de riego de Valencia.

6.3 Rendimientos Hidráulicos por Sectores

El rendimiento hidráulico por sectores se evaluó para determinar la eficiencia con la que se distribuye el agua en la red. Este análisis considera factores como la presión, el caudal y las pérdidas de agua en cada sector. Se identificaron las áreas con menor rendimiento, lo que puede indicar problemas como fugas, tuberías envejecidas o una infraestructura su dimensionada. Al analizar el rendimiento por sectores, se pueden priorizar las áreas que requieren mejoras o intervenciones inmediatas para asegurar un suministro de agua más eficiente y equitativo.

Los datos obtenidos del modelo calibrado revelan diferencias significativas en el rendimiento entre los sectores, como se detalla a continuación:

N.º de Sector	Sectores	Inyectados [m3/año]	Facturados [m3/año]	Rendimiento	No registrada [m3/año]
1	Benicalap	86.662,5	39.251,7	45%	47.410,8
2	Benimamet	30.583,9	27.957,4	91%	2.626,5
3	Bulevar Sur	468.729,7	254.347,3	54%	214.382,4
4	Cabañal	119.317,1	70.070,4	59%	49.246,7

5	Campanar	227.099,6	166.555,0	73%	60.544,6
6	Centro	612.416,1	222.573,5	36%	389.842,6
7	La Torre	26.315,9	19.474,1	74%	6.841,8
8	Malvarrosa	38.543,3	30.460,6	79%	8.082,7
9	Olivereta	214.337,8	172.075,4	80%	42.262,4
10	Pla del Real	1.299.889,1	543.189,5	42%	756.699,6
11	Rio Cauce	912.181,2	357.902,5	39%	554.278,6
12	Malilla sur	117.704,8	86.017,0	73%	31.687,8
Total		4.153.780,90	1.989.874,44	48%	2.163.906,46

Tabla 29: Rendimiento por sector.

Al analizar el rendimiento de toda la red, se puede apreciar que esta presenta un rendimiento del 48%. De los 4,15 millones de metros cúbicos inyectados a la red, se facturan 1,98 millones, lo cual nos indica que existen cerca de 2,16 millones de cúbicos en el año de agua no registrada. Esta agua no registrada por parte de Aguas de Valencia corresponde a agua que se pierde en el sistema y no llega a facturarse debido a fugas, errores de medición, conexiones ilegales, y otras pérdidas no contabilizadas.

Los sectores con mayores rendimientos corresponden a Benimamet (91%) y Olivereta (80%), lo que indica una distribución eficiente del agua y menores pérdidas. Sin embargo, sectores como Centro (36%) y Rio Cauce (39%) presentaron rendimientos bajos, lo que sugiere problemas significativos de pérdidas de agua, posiblemente debido a fugas o infraestructuras obsoletas o en mal estado. Para entender mejor el rendimiento de los sectores, se procede a estudiar sus características.

6.3.1 Envejecimiento de las Tuberías y Zonas de Mayores Fugas

El envejecimiento de las tuberías es un factor crítico que afecta el rendimiento hidráulico de la red. Con el tiempo, las tuberías pueden deteriorarse, desarrollando fisuras y aumentando la rugosidad interna, lo que conduce a mayores pérdidas de agua y a una disminución de la eficiencia. Es por ello por lo que es crucial conocer la edad de las tuberías, la tabla siguiente se presenta la edad promedio de las tuberías por sectores.

N.º de sector	Sectores	Año Promedio del Sector
1	Benicalap	2009,4
2	Benimamet	2012,2
3	Bulevar Sur	2006,4
4	Cabañal	2003,1
5	Campanar	2001,9
6	Centro	1976,4
7	La Torre	2010,1
8	Malvarrosa	1999,8
9	Olivereta	2006,5
10	Pla Del Real	1994,6

11	Rio Cauce	1996,0
12	Malilla Sur	2021,2
Edad Promedio de la red		2003,1

Tabla 30: Edad de los Sectores.

Para determinar el año promedio del sector, se estimó el año en función de la longitud de las tuberías y su año de instalación. Con esta metodología, se pudo estimar la edad de cada sector en función de su longitud.

Como se puede apreciar, los sectores con tuberías más antiguas son el Centro (1976.4), Pla Del Real (1994.6) y Rio Cauce (1996.0). Por otro lado, sectores con tuberías más recientes, como Benimamet (2012.2) y Malilla Sur (2021.2).

La edad de los sectores permite establecer prioridades en las labores de mantenimiento y renovación de la red. Sectores con tuberías más antiguas, como el Centro, Pla Del Real y Rio Cauce, deben ser monitoreados de manera más rigurosa debido a su mayor riesgo de fallos, fisuras y pérdidas de agua.

6.3.2 Fugas por Longitud de Tubería

La relación entre la longitud de las tuberías y las fugas permite identificar las áreas más problemáticas y planificar intervenciones específicas. A continuación, se presentan los datos correspondientes a las pérdidas de agua en relación con la longitud de las tuberías en cada sector:

N.º de sector	Sectores	No registrada [m³/año]	Longitud del sector [m]	% de longitud	Perdidas [m³/m]	Relación con promedio de fugas
1	Benicalap	47.410,8	4.132,2	3%	11,47	Inferior
2	Benimamet	2.626,5	1.472,6	1%	1,78	Inferior
3	Bulevar Sur	214.382,4	16.141,9	12%	13,28	Inferior
4	Cabañal	49.246,7	4.416,6	3%	11,15	Inferior
5	Campanar	60.544,6	7.050,2	5%	8,59	Inferior
6	Centro	389.842,6	38.774,8	28%	10,05	Inferior
7	La Torre	6.841,8	2.147,1	2%	3,19	Inferior
8	Malvarrosa	8.082,7	4.973,7	4%	1,63	Inferior
9	Olivereta	42.262,4	11.202,7	8%	3,77	Inferior
10	Pla del Real	756.699,6	33.056,4	24%	22,89	Superior
11	Rio Cauce	554.278,6	10.578,1	8%	52,40	Superior
12	Malilla sur	31.687,8	3.792,8	3%	8,35	Inferior
Total		2.163.906,46	137.738,92	Promedio	15,71	

Tabla 31: Fugas en función de la Longitud de tuberías.

El análisis de los datos muestra que sectores como Pla del Real y Rio Cauce tienen las mayores pérdidas por metro de tubería, con valores de 22.89 m³/m y 52.40 m³/m respectivamente, considerablemente superiores al promedio de 15.71 m³/m. Estos sectores

presentan una mayor antigüedad, lo que los hace más propensos a tener tuberías deterioradas. La alta rugosidad interna y las fisuras contribuyen significativamente a estas pérdidas.

Por otro lado, sectores como Benicalap, Benimamet y Cabañal muestran pérdidas inferiores al promedio, indicando que las tuberías en estas áreas están en mejor estado y como se puede ver en la tabla de edad de las tuberías, estas corresponden a sectores más nuevos.

Al relacionar los sectores que presentan las mayores pérdidas con su antigüedad, se confirma que la edad de las tuberías es un factor clave en el incremento de las fugas. Esto resalta la necesidad de priorizar la renovación de las secciones más antiguas para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema.

Al ordenar los sectores en función de sus rendimientos, se observa que los sectores con los rendimientos más bajos corresponden a los sectores 6, 11 y 10:

N.º de sector	Sectores	Inyectados [m3/año]	Facturados [m3/año]	Rendimiento
6	Centro	612.416,1	222.573,5	36%
11	Rio Cauce	912.181,2	357.902,5	39%
10	Pla del Real	1.299.889,1	543.189,5	42%
1	Benicalap	86.662,5	39.251,7	45%
3	Bulevar Sur	468.729,7	254.347,3	54%
4	Cabañal	119.317,1	70.070,4	59%
12	Malilla sur	117.704,8	86.017,0	73%
5	Campanar	227.099,6	166.555,0	73%
7	La Torre	26.315,9	19.474,1	74%
8	Malvarrosa	38.543,3	30.460,6	79%
9	Olivereta	214.337,8	172.075,4	80%
2	Benimamet	30.583,9	27.957,4	91%

Tabla 32: Sectores ordenados de menor a mayor rendimiento.

Al analizar los sectores con mayor antigüedad de la red, se observa que corresponden a estos mismos tres sectores:

Sector N°1	Sectores	Año Promedio del Sector
6	Centro	1976,4
10	Pla Del Real	1994,6
11	Rio Cauce	1996,0
8	Malvarrosa	1999,8
5	Campanar	2001,9
4	Cabañal	2003,1
3	Bulevar Sur	2006,4

9	Olivereta	2006,5
1	Benicalap	2009,4
7	La Torre	2010,1
2	Benimamet	2012,2
12	Malilla Sur	2021,2

Tabla 33: Sectores ordenados de Por antigüedad de la Red.

Por otro lado, al analizar los sectores que presentan los mayores rendimientos de la red, sobre el 70% de rendimiento, se puede apreciar que corresponden a los sectores más nuevos, Esto confirma la hipótesis de que la antigüedad de las tuberías es un factor determinante en el rendimiento del sistema de riego y las pérdidas de agua. Es esencial priorizar la renovación de las tuberías más antiguas para mejorar el rendimiento y reducir las fugas.

Por último, al analizar el factor de perdidas en función de la longitud de la red, podemos apreciar que nuevamente los 2 sectores con mayores pérdidas corresponden a los sectores de mayor antigüedad. Ambos sectores son los que presentan una pérdida de m³ en función de metro de la red por sobre el promedio.

N.º de sector	Sectores	Longitud [m]	Longitud [km]	% de longitud	Perdidas [m ³ /m]
11	Rio Cauce	10.578,1	10,58	8%	52,40
10	Pla del Real	33.056,4	33,06	24%	22,89
3	Bulevar Sur	16.141,9	16,14	12%	13,28
1	Benicalap	4.132,2	4,13	3%	11,47
4	Cabañal	4.416,6	4,42	3%	11,15
6	Centro	38.774,8	38,77	28%	10,05
5	Campanar	7.050,2	7,05	5%	8,59
12	malilla sur	3.792,8	3,79	3%	8,35
9	Olivereta	11.202,7	11,20	8%	3,77
7	La Torre	2.147,1	2,15	2%	3,19
2	Benimamet	1.472,6	1,47	1%	1,78
8	Malvarrosa	4.973,7	4,97	4%	1,63

Tabla 34: Sectores ordenados de mayor a menor perdida de m³/m.

Un caso particular es el sector del Rio Cauce, que presenta valores de pérdidas muy elevados, Este alto nivel de pérdidas podría deberse a agua utilizada pero no registrada, lo que sugiere la necesidad de una revisión exhaustiva de la contabilidad del agua en este sector.

El siguiente análisis corresponde a ver si con el agua registrada se cumplen las necesidades hídricas de cada sector. Esto nos permite inducir en cierta manera si el agua no registrada corresponde a fugas o agua no registrada pero que si se está utilizando en riego de las áreas verdes

6.4 Rendimientos de Riego por Sectores

El rendimiento de riego por sectores se evaluó para determinar la eficiencia en el uso del agua en diferentes partes de la red. Este análisis consideró la cantidad de agua inyectada en la red, la facturada y las necesidades hídricas de cada sector de la ciudad. Además, se identificaron las zonas con altos y bajos rendimientos de riego, permitiendo reconocer las áreas que requieren mejoras. Al optimizar el rendimiento de riego, se asegura que todas las áreas reciban suficiente agua para mantener la salud y el crecimiento de las plantas, minimizando al mismo tiempo el desperdicio de recursos hídricos.

El rendimiento hídrico de los sectores se evalúa mediante el parámetro de eficiencia de aplicación, que mide la efectividad con la que el agua destinada al riego es utilizada por las plantas. A continuación, se presenta el rendimiento de riego de cada uno de los sectores en función del agua inyectada en cada uno de ellos:

Sectores	Necesidad Neta anual Césped [m3/año]	Necesidad Neta anual Árbol [m3/año]	Necesidad Neta anual Total [m3/año]	Caudal Facturado [m3/año]	Eficiencia en la aplicación	Estado del Sector
Benicalap	76.871,1	31.985,1	108.856,2	86.662,5	1,26	Déficit
Benimamet	22.283,8	9.272,0	31.555,8	30.583,9	1,03	Déficit
Bulevar Sur	189.991,3	79.053,0	269.044,3	468.729,7	0,57	Suficiente
Cabañal	12.433,8	5.173,5	17.607,3	119.317,1	0,15	Suficiente
Campanar	98.692,4	41.064,7	139.757,1	227.099,6	0,62	Suficiente
Centro	87.469,9	36.395,1	123.865,0	612.416,1	0,20	Suficiente
La Torre	34.858,2	14.504,1	49.362,2	26.315,9	1,88	Déficit
Malvarrosa	28.325,0	11.785,7	40.110,6	38.543,3	1,04	Déficit
Olivereta	119.566,9	49.750,3	169.317,2	214.337,8	0,79	Suficiente
Pla Del Real	422.608,6	175.842,2	598.450,8	1.299.889,1	0,46	Suficiente
Cauce Rio	268.041,2	111.528,7	379.569,9	912.181,2	0,42	Suficiente
Malilla Sur	23.610,0	9.823,8	33.433,8	117.704,8	0,28	Suficiente
Total	1.384.752,0	576.178,3	1.960.930,3	4.153.780,9	0,47	Suficiente

Tabla 35: Rendimiento de riego por sector caudal inyectado.

De la Tabla 37 se observa que, en casi todos los sectores de la red, el agua inyectada es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de las áreas verdes. No obstante, el agua realmente disponible y utilizada para el riego en cada sector corresponde al agua facturada.

A continuación, se presenta el rendimiento de cada uno de los sectores en función del agua facturada:

Sectores	Necesidad Neta anual Césped [m3/año]	Necesidad Neta anual Árbol [m3/año]	Necesidad Neta anual Total [m3/año]	Caudal Facturado [m3/año]	Eficiencia en la aplicación	Estado del Sector
Benicalap	76.871,1	31.985,1	108.856,2	39.251,7	2,77	Déficit
Benimamet	22.283,8	9.272,0	31.555,8	27.957,4	1,13	Déficit
Bulevar Sur	189.991,3	78.813,7	268.804,9	254.347,3	1,06	Déficit
Cabañal	12.433,8	5.173,5	17.607,3	70.070,4	0,25	Suficiente
Campanar	98.692,4	41.064,7	139.757,1	166.555	0,84	Suficiente
Centro	87.469,9	36.395,1	123.865	222.573,5	0,56	Suficiente
La Torre	34.858,2	14.504,1	49.362,2	19.474,1	2,53	Déficit
Malvarrosa	28.325	11.785,7	40.110,6	30.460,6	1,32	Déficit
Olivereta	119.566,9	49.750,3	169.317,2	172.075,4	0,98	Suficiente
Pla Del Real	422.608,6	175.842,2	598.450,8	543.189,5	1,10	Déficit
Cauce Rio	268.041,2	111.528,7	379.569,9	357.902,5	1,06	Déficit
Malilla Sur	23.610	9.823,8	33.433,8	86.017	0,39	Suficiente
Total	1.384.752	575.939,0	1.960.691,0	1.989.874,4	0,99	Suficiente

Tabla 36: Eficiencia en la aplicación Caudal Facturado.

Como se puede apreciar, el agua facturada total en la red es capaz de abastecer las necesidades hídricas de todas las áreas verdes de la ciudad. Sin embargo, al analizar el balance por sector, se observa que en más de la mitad de los sectores existe un déficit de agua suministrada en función de las necesidades hídricas de las zonas de riego.

Se observa que el valor de eficiencia en la aplicación varía dependiendo del sector. Sectores con una eficiencia de riego muy baja indican que se suministra más agua de la necesaria a las plantas, lo cual sugiere que el método de riego puede ser ineficiente. Un sector que llama la atención es Cabañal, el cual factura cuatro veces la cantidad de agua necesaria para las áreas verdes del sector. Esto se debe a que la red no solo se utiliza para riego, sino también para baldeo, especialmente en la playa. Este indicador bajo puede reflejar el uso de agua para otras actividades, como la limpieza del sector. Esta observación fue confirmada por Aguas de Valencia, que indica que zonas del Cabañal utilizan agua para limpieza.

Por otra parte, tenemos los sectores que presentan una eficiencia cercana a 1, lo cual indica que presentan una buena eficiencia en el sistema y que el agua destinada al riego se utiliza de manera óptima. En estos sectores, la cantidad de agua suministrada coincide prácticamente con las necesidades hídricas de las plantas, lo que significa que no se desperdicia agua y que las plantas reciben la cantidad adecuada para su crecimiento y mantenimiento.

Por último, existen sectores que presentan una eficiencia superior a uno, lo que indica que las necesidades hídricas son mayores que el agua suministrada al sector. Sin embargo, al analizar y revisar las condiciones de las áreas verdes de estos sectores, se puede observar que se encuentran en buen estado, con vegetación frondosa.

Un ejemplo de esto es el sector Cauce del Río, que muestra un bajo rendimiento hidráulico y una situación de déficit de riego. No obstante, al estudiar fotografías aéreas, imágenes satelitales y realizar una visita con el personal de Aguas de Valencia, se pudo constatar que este sector presenta buenas condiciones de vegetación, lo cual nos puede indicar que el sector presenta un mal registro del agua facturado, ya sea por error en las lecturas de sus caudalímetros o por la presencia de conexiones no registradas que se utilizan agua de la red de baja el para riego.

Otro sector que llama a atención es Benicalap, el cual presenta un déficit de riego incluso considerando el caudal inyectado al sector, es decir, aunque no existieran fugas y toda el agua inyectada se utilizara en riego, aun así, estaría en déficit. Esto nos puede inducir que sectores como este, presentan otras fuentes de agua para el riego, los cuales pueden ser pozos propios locales, o por conexiones a red de agua potable de la ciudad.

6.4.1 Evolución Mensual de Necesidad hídrica y Caudal Suministrado

Un análisis relevante como se mencionó anteriormente corresponde a la evolución mensual del caudal inyectado y facturado en relación con las necesidades hídricas durante el mismo período. A continuación, se presenta una tabla que muestra las necesidades hídricas mensuales y los caudales inyectados y facturados:

Mes	Necesidades Neta mensuales Césped [m3]	Necesidades Neta mensuales Árboles[m3]	Necesidades mensuales totales de Valencia [m3]	Volumen de agua Inyectado Mensual [m3]	Volumen de agua Facturado Mensual [m3]
Enero	22.999,25	9.300,91	32.300,16	291.523,90	139.642,92
Febrero	43.879,31	18.065,22	61.944,54	274.656,44	131.563,24
Marzo	50.895,49	21.036,43	71.931,92	229.557,88	109.960,57
Abril	108.411,19	45.018,46	153.429,65	236.812,23	113.435,47
Mayo	176.983,15	73.843,39	250.826,54	301.411,02	144.378,95
Junio	240.476,35	100.636,32	341.112,67	419.398,51	200.896,16
Julio	248.720,79	104.086,51	352.807,30	472.712,19	226.433,96
Agosto	248.573,17	104.024,74	352.597,91	498.814,40	238.937,19
Septiembre	134.433,99	55.891,16	190.325,15	411.031,37	196.888,22
Octubre	38.036,70	15.287,42	53.324,12	345.538,73	165.516,58
Noviembre	52.581,37	21.558,07	74.139,43	348.890,35	167.122,04
Diciembre	18.186,05	7.190,33	25.376,37	323.790,90	155.099,14
Totales	1.384.176,79	575.938,96	1.960.115,75	4.154.137,90	1.989.874,44

Tabla 37: Necesidades hídricas y caudales según mes.

En la Figura 61 se presenta la evolución mensual de las necesidades hídricas frente a los caudales inyectados y facturados.

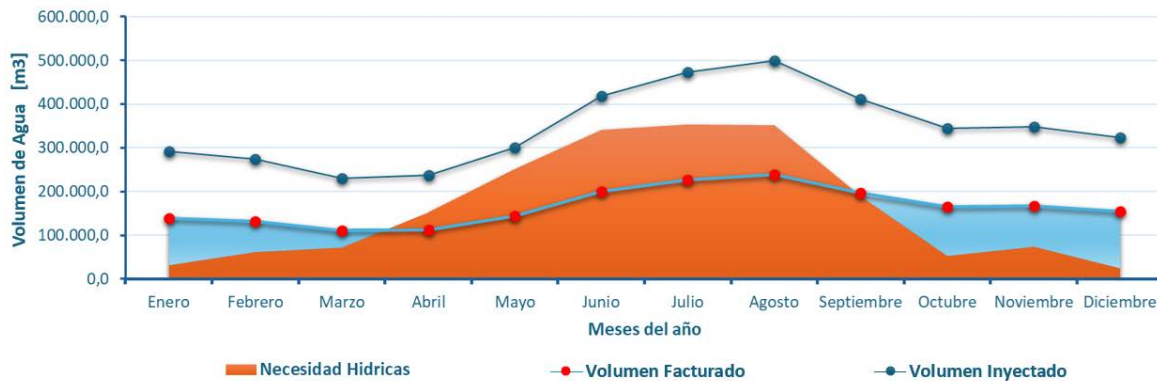


Figura 61: Necesidades Hídricas V/s Caudales inyectado y facturado del total de la red.

Lo primero que se puede observar es que existe una clara relación entre los patrones de caudal y la curva de las necesidades hídricas de la red. Esto nos indica que los regantes de la ciudad tienen jornadas planificadas de riego y que además tienden a acomodar estas jornadas de riego mensual en función de las necesidades hídricas, lo cual es una técnica efectiva en cuanto al ahorro de agua.

Sin embargo, se puede apreciar que en entre los meses de octubre a marzo, las necesidades hídricas son menores al caudal facturado, lo cual nos indica que es posible que se esté regando más de lo necesario por las áreas verdes. Identificar estos patrones es crucial ya que nos permite identificar posibles periodos de mejoras en donde se puede ajustar el caudal suministrado en función de las necesidades hídricas.

Este volumen de agua que se genera entre el caudal facturado versus caudal necesitado por las áreas verdes, que en que la Figura 61 se ve representado de color celeste corresponde a **516.456 m³**, el cual representa un 26% del total del caudal facturado, es decir se podría ahorrar un 26% del caudal facturado, modificando la jornada y cantidad de riego en los meses de menor demanda hídrica.

Además, se puede observar que el caudal inyectado a la red presenta un valor mayor a las necesidades hídricas en todos los meses del año, pero el caudal facturado está por debajo en los 6 meses de verano, en donde existe más demanda hídrica que el caudal facturado por Aguas de Valencia. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, en las áreas verde de la ciudad no se aprecia estrés hídrico, esto reafirma que muy probablemente existen tomas en la red que están utilizando agua para riego pero que no están contabilizada.

Lo anterior resulta interesante ya puede ser una herramienta para poder identificar si el agua no registrada corresponde a fugas o aguas no contabilizada. Para ello se puede ir realizando un análisis sector por sector. A continuación, a modo de ejemplo se estudiará la evolución mensual del sector Cauce del río, ya que tal como se analizó en el apartado de los rendimientos hidráulicos, el sector centro presenta un rendimiento de 36% el cual es el más bajo de la red, por lo cual se estudiará su balance hidráulico.

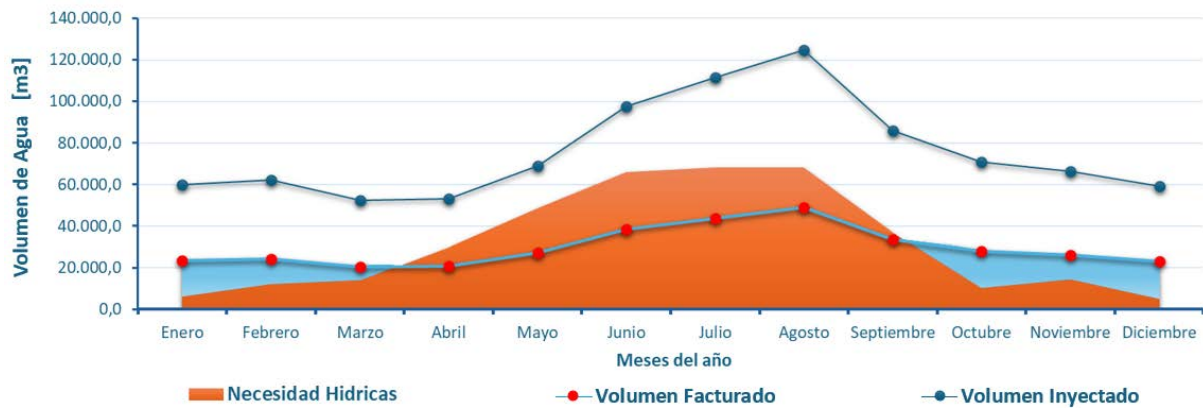


Figura 62: Necesidades Hídricas V/s Caudales inyectado y facturado Sector Centro

Se puede observar que, durante los meses de abril a septiembre, las necesidades hídricas superan el caudal facturado del sector. Esto sugiere que, en ausencia de otras fuentes de agua en el sector, se está utilizando agua de la red de baja sin facturar para el riego del sector, por lo que se podría inducir que el rendimiento del sector centro no solo corresponde a fugas, sino que también a consumo no registrado.

Por otro lado, al igual que en el análisis de todas las áreas verdes de la red, se observa en el sector Centro que, durante los meses de octubre a marzo, correspondientes a la época invernal, el caudal facturado supera el caudal necesario para el riego de las áreas verdes. Esto sugiere un posible exceso en el suministro de agua durante estos meses, lo que indica que sería recomendable ajustar el caudal para optimizar su consumo y mejorar la eficiencia del sistema.

Por último, es importante destacar que este análisis comparativo entre las necesidades hídricas y los caudales suministrados valida los cálculos realizados. La determinación de las necesidades hídricas de las áreas verdes y el cálculo de los caudales suministrados se llevaron a cabo utilizando metodologías completamente independientes. A pesar de esto, se observa que tanto los patrones como la magnitud de los datos obtenidos son similares.

7 PROPUESTAS DE MEJORAS Y OPTIMIZACION DE LA RED

A Continuación, se presentan una serie de propuestas para mejorar y optimizar la red de distribución de agua de Valencia. Basadas en el análisis del funcionamiento hidráulico y del sistema de riego, estas recomendaciones buscan abordar las deficiencias identificadas y promover la eficiencia y sostenibilidad del suministro de agua.

7.1 Propuestas a la Red

Se presentan recomendaciones específicas dirigidas a Aguas de Valencia, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y reducir las pérdidas de agua. Las propuestas incluyen estrategias para la detección y prevención de fugas, la mejora en la precisión de las mediciones de los contadores y la optimización de las presiones en la red. Implementar estas recomendaciones ayudará a minimizar las pérdidas de agua.

7.1.1 Identificación de Fugas

Para reducir las fugas en la red, se recomienda implementar un programa de detección y reparación proactiva de fugas. Esto incluye el uso de tecnologías avanzadas como sensores acústicos y sistemas de monitoreo en tiempo real. Además, se deben llevar a cabo inspecciones regulares y mantenimiento preventivo de las tuberías, especialmente en las zonas con mayor antigüedad y los sectores que fueron identificados con rendimiento hidráulico bajo.

7.1.2 Contadores

Para mejorar la gestión del agua y reducir las pérdidas, se recomienda aumentar la precisión de los contadores de agua. La implementación de contadores inteligentes y tecnologías de lectura remota permitirá obtener datos más precisos y en tiempo real sobre el consumo de agua. Esto facilitará la detección temprana de anomalías y permitirá tomar medidas correctivas de manera más eficiente.

7.1.3 Disminuir Presiones

Reducir las presiones en la red puede ayudar a disminuir las fugas y prolongar la vida útil de las tuberías. Se recomienda ajustar las válvulas de control de presión y considerar la implementación de zonas de presión regulada. Además, es importante monitorear continuamente las presiones en la red para identificar y corregir excesos que puedan provocar daños en la infraestructura.

7.1.4 Ajustar Jornadas de Riego

Como se pudo observar en el análisis mensual, existen meses donde es posible reducir el caudal suministrado, ya que las necesidades hídricas son menores que la cantidad de agua

aportada a la red. Por lo tanto, es necesario revisar y ajustar las jornadas de riego para aumentar el rendimiento hidráulico y optimizar el uso del agua.

7.2 Propuestas al Estudio

Además de las propuestas a la red, se presentan una serie de propuestas diseñadas para mejorar la precisión y la eficiencia del estudio realizado sobre la red de distribución de agua. Estas propuestas buscan optimizar las simulaciones y análisis realizados, proporcionando una representación más precisa del comportamiento hidráulico de la red.

7.2.1 Simulación con Bombas y no Embalses

Una de las propuestas para mejorar el estudio es realizar simulaciones utilizando bombas en lugar de embalses. Esto permitirá obtener una representación más precisa del comportamiento dinámico de la red, considerando las variaciones en presión y caudal que las bombas pueden generar. Al simular con bombas, se puede evaluar mejor la eficiencia y respuesta de la red ante diferentes escenarios operativos, como fluctuaciones en la demanda y condiciones extremas.

Además, se puede realizar un estudio de coste energético, eficiencia y rendimiento de los sistemas de bombeo existentes. Este análisis incluiría la identificación de posibles mejoras en el sistema de bombeo, la optimización de los horarios de operación de las bombas para reducir el consumo de energía y la evaluación de la vida útil de los equipos de bombeo

7.2.2 Incluir Ramales de Tuberías no Conectados

Es recomendable incluir los ramales aislados que no están conectados con la red, en el modelo para tener una visión más completa del sistema de distribución de agua. Los sectores aislados pueden tener características particulares que influyen en el comportamiento general de la red, y su inclusión permitirá identificar problemas específicos y optimizar el uso de los recursos hídricos en todas las áreas.

7.2.3 Determinación en mayor detalle de las necesidades hídricas.

Un posible estudio para realizar corresponde al análisis más detallado de las necesidades hídricas de los sectores regados por la red de Baja Presión. Este estudio podría involucrar la evaluación de las características específicas de las áreas verdes, incluyendo el tipo de vegetación, las condiciones del suelo, la climatología local y las prácticas de riego actuales. Al profundizar en estos aspectos, se pueden obtener datos más precisos sobre el consumo de agua ideal para cada zona, lo que permitiría ajustar los patrones de riego de manera más eficiente.

8 CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido caracterizar hidráulicamente y optimizar la red de "Baja Presión" de la ciudad de Valencia, proporcionando una base sólida para la gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico. A lo largo de este trabajo, se han abordado múltiples aspectos críticos del funcionamiento de la red, desde la recopilación y análisis de datos hasta la calibración y validación del modelo hidráulico.

Se ha logrado una comprensión detallada de la infraestructura de la red de "Baja Presión", identificando sus componentes principales, como tuberías, válvulas y puntos de abonados. La red presenta una longitud total de 144,4 km, está compuesta por tuberías de diversos materiales y diámetros, destacándose el uso predominante de polietileno, fundición dúctil, y fibrocemento. La información sobre la longitud, diámetro y material de las tuberías, así como el estado y ubicación de las válvulas, ha sido crucial comprender su funcionamiento y lograr construir un modelo preciso de la red.

El modelo hidráulico desarrollado con EPANET 2 y QGISRed ha sido calibrado y validado con datos reales de caudal y presión, garantizando su precisión. La implementación de emisores dependientes de la presión para simular fugas ha mejorado la capacidad del modelo para representar el comportamiento real de la red, convirtiéndolo en una herramienta confiable para la gestión y planificación del sistema de distribución de agua.

Paralelamente se ha llevado a cabo un cálculo exhaustivo de las necesidades hídricas de las áreas verdes de Valencia, considerando tanto césped como árboles. Este análisis ha sido fundamental para determinar el volumen de agua necesario para mantener estas áreas en condiciones óptimas, calculando la cantidad de agua suministrada en función de las variaciones estacionales y climáticas. Los resultados han demostrado que, en general, el agua facturada es suficiente para cubrir las necesidades hídricas anuales, aunque existen variaciones significativas entre los diferentes sectores.

Del análisis de las necesidades hídricas, se pudo observar que, durante los meses de verano, cuando las necesidades hídricas son máximas, el caudal facturado es insuficiente para satisfacer las necesidades hídricas de las áreas verdes, mientras que en los meses de invierno se riega más de lo estrictamente necesario. Esta evaluación ha permitido identificar áreas y periodos de meses donde se podría optimizar el uso del agua, ajustando las jornadas de riego y las cantidades suministradas lo cual permite generar una planificación de riego más precisa y eficiente.

El análisis de los rendimientos hidráulicos revela diferencias significativas en el rendimiento entre los sectores. La red en su conjunto muestra un rendimiento del 48%, con sectores como Benimamet y Olivereta destacándose por sus altos rendimientos de 91% y 80% respectivamente. En contraste, sectores como Centro y Rio Cauce presentan rendimientos



bajos de 36% y 39%, indicando problemas de pérdidas de agua significativas. Este análisis también subraya la relación entre la antigüedad de las tuberías y el rendimiento, confirmando que las tuberías más antiguas tienen mayores pérdidas, como se observa en los sectores de Centro y Pla del Real.

Finalmente he de comentar que este fin de máster ha proporcionado una visión comprensiva y detallada de la red de "Baja Presión" de Valencia, ofreciendo soluciones prácticas y estratégicas para optimizar el uso del recurso hídrico. Los resultados y recomendaciones aquí presentados contribuirán significativamente a la gestión eficiente y sostenible del agua en la ciudad de Valencia, beneficiando tanto a los operadores de la red como a la población en general.

9 REFERENCIAS

- [1] Aguas de Valencia. (2023). *Descripción red en Baja Valencia* [Informe técnico]. Aguas de Valencia.
- [2] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos* (Informe técnico FAO Riego y Drenaje, No. 56). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- [3] Alocén, J. C. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego* [Informe técnico]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- [4] Ayuntamiento de Valencia. (2024). *Arbolado Urbano—Open Data Valencia* [Página de datos abiertos]. Arbolado Urbano - Open Data Valencia. <https://valencia.opendatasoft.com/explore/dataset/arbratge-arbolado/>
- [5] Carrasco, V. J. G. (2003). *Modelación de la demanda urbana de agua* [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de València.
- [6] Casanova, A., Viguera-Rodríguez A, García J.T., & Castillo L.G. (2017). Evaluación y clasificación de efectos de fugas en la red de abastecimiento de Moratalla (Murcia) para la priorización del mantenimiento de tuberías. *V Jornadas de Ingeniería del Agua*, 17.
- [7] Generalitat Generalitat. (2024). *Visor cartográfico de la Generalitat* [Página informativa]. Visor cartográfico de la Generalitat Valenciana. https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv0403_COSCV

- [8] Generalitat Valenciana. (2024). *Catálogo de Ortofotografías—GVA* [Catálogo digital].
Visor de ortofotografías - Generalitat Valenciana.
<https://geocataleg.gva.es/#/results/ortofotos>
- [9] Generalitat Valenciana - Dades Obertes. (2024). *MDT de 25 m de resolució de la Comunitat Valenciana* [Página de datos abiertos]. MDT 25 m - Comunitat Valenciana.
<https://dadesobertes.gva.es/dataset/mdt-de-25-m-de-resolucio-de-la-comunitat-valenciana>
- [10] Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). (2024). *Cartografía Tridimensional 2009—Datos por Municipio* [Página de descargas]. Descargas - Cartografía Tridimensional 2009.
https://descargas.icv.gva.es/CartografiaTridimensional2009_DATO_MUNICIPIO_ZIP
- [11] Instituto Nacional de Estadística (INE). (2023). *Población residente por fecha, sexo y edad (grupos quinquenales)—INE* [Base de datos estadística]. Población residente - INE. <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2903&L=0>
- [12] Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). (2024). *Necesidades de Riego—IVIA* [Página informativa]. Necesidades de Riego - IVIA.
<http://riegos.ivia.es/necesidades-de-riego>
- [13] Martínez Alzamora, F., & Lerma, N. (2022). *Manual de Usuario de QGISRed v. 0.16*. Grupo REDHISP, Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València.
- [14] Martínez-Solano, F. J., Iglesias-Rey, P. L., & Arce, S. X. M. (2017). Simultaneous Calibration of Leakages, Demands and Losses from Measurements. Application to the



Guayaquil Network (Ecuador). *Procedia Engineering*, 186, 397–404.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.237>

[15] MASA. (2018). *Tuberías de Polietileno MASA 2018* [Catalogo Tecnico]. grupo ALIAXIS.

[16] Molina, S. (2014). *Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión* [Trabajo Fin de Máster]. Universitat Politècnica de València (UPV).

[17] Rossman, L. A., Woo, H., Tryby, M., Shang, F., Janke, R., & Haxton, T. (2020). *Manual del usuario de EPANET 2.2* [Manual del usuario]. Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (U.S. Environmental Protection Agency - EPA).



ANEXOS

Calatrava. Tramo VIII – Alameda.

El pozo Calatrava se encuentra en realidad en el tramo VII del antiguo cauce del río Turia, entre los puentes de la Trinidad y el Puente del Real, próximo a la estación de metro de Alameda. Fue construido para el drenaje y alivio de la estación de metro, y se cedió posteriormente para su aprovechamiento por la red de Baja Presión. Su ubicación en la red se presenta en la siguiente ilustración:

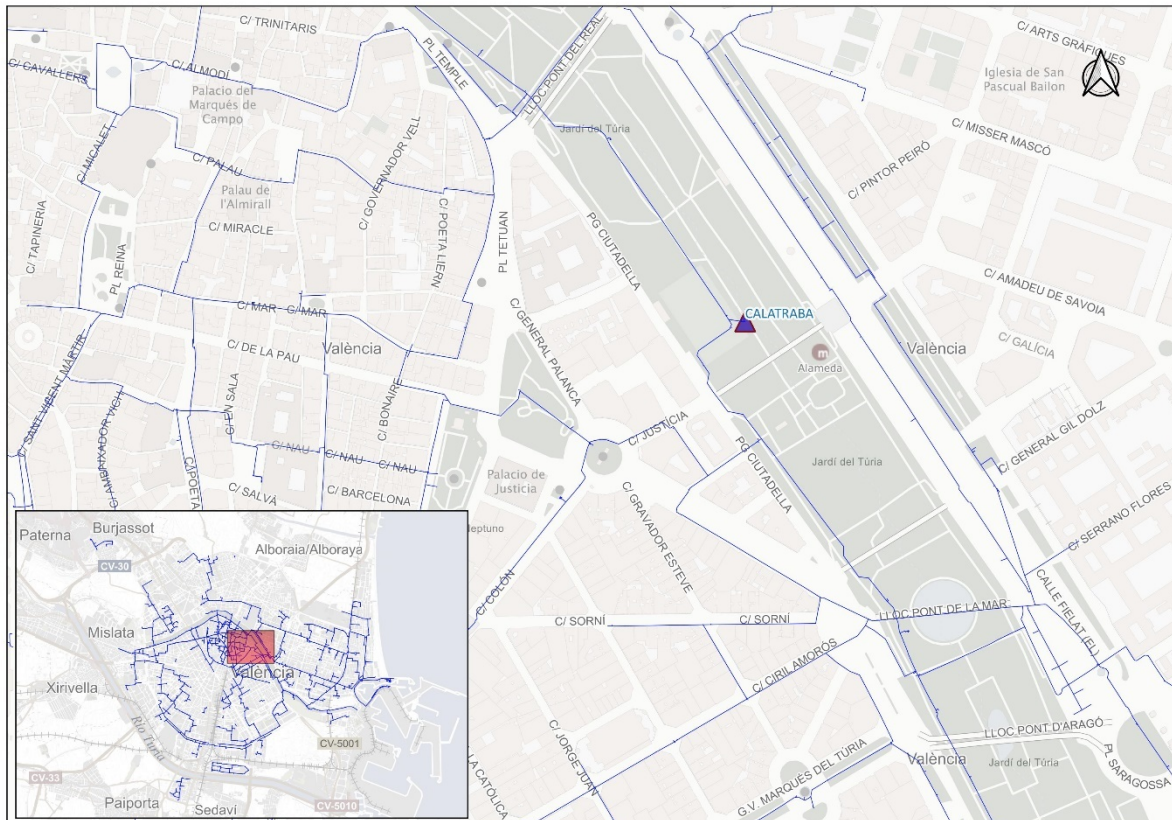


Figura 64: Ubicación del pozo de Calatrava.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Potencia bomba	15 kW
Profundidad de la bomba	25 m
Caudal nominal	20 l/s
Punto de funcionamiento	20 l/s – 45 m.c.a.
Calibre contador	100 mm

Tabla 39: Características Bombas Pozo Calatrava

Gulliver. Tramo XII – Alcoholera.

El pozo Gulliver se encuentra ubicado en el Paseo de la Alameda, en el exterior del antiguo cauce del río Turia, en los terrenos de la Unión Alcoholera a la cual perteneció en su día. Su ubicación se presenta a continuación:

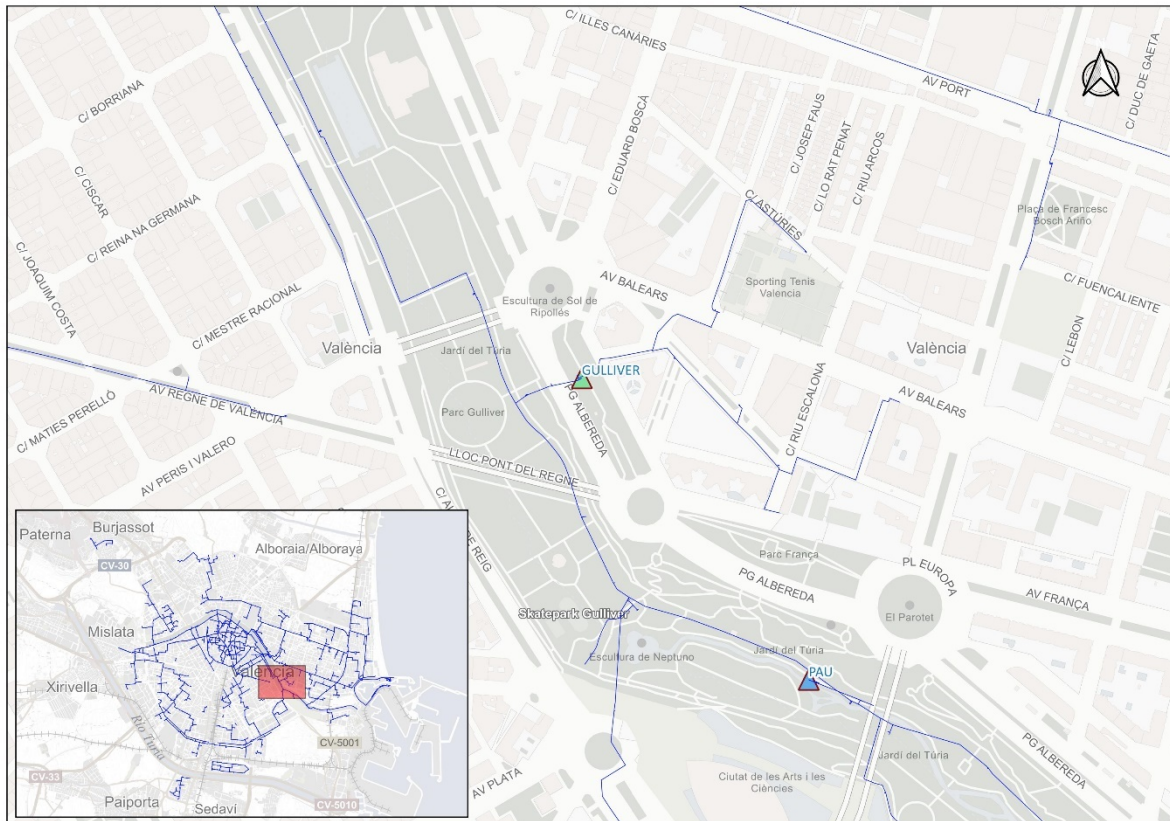


Figura 65: Ubicación Pozo Gulliver.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Profundidad perforación	115 m
Potencia bomba	66 kW
Profundidad de la bomba	52,7 m
Punto de funcionamiento	86 l/s – 50 m.c.a.
Calibre contador	200 mm

Tabla 40: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Este sondeo está equipado con un variador de frecuencia que permite controlar su caudal. Debido a problemas de arrastres, su caudal nominal útil es actualmente de 60 l/s a 30 mca.

Ayuntamiento Nuevo.

El Pozo Ayuntamiento Nuevo se emplaza en uno de los parkings superficiales junto al campo de Mestalla, en la Avenida de Aragón, próximo a la rotonda de Blasco Ibáñez. Su ubicación se presenta a continuación:

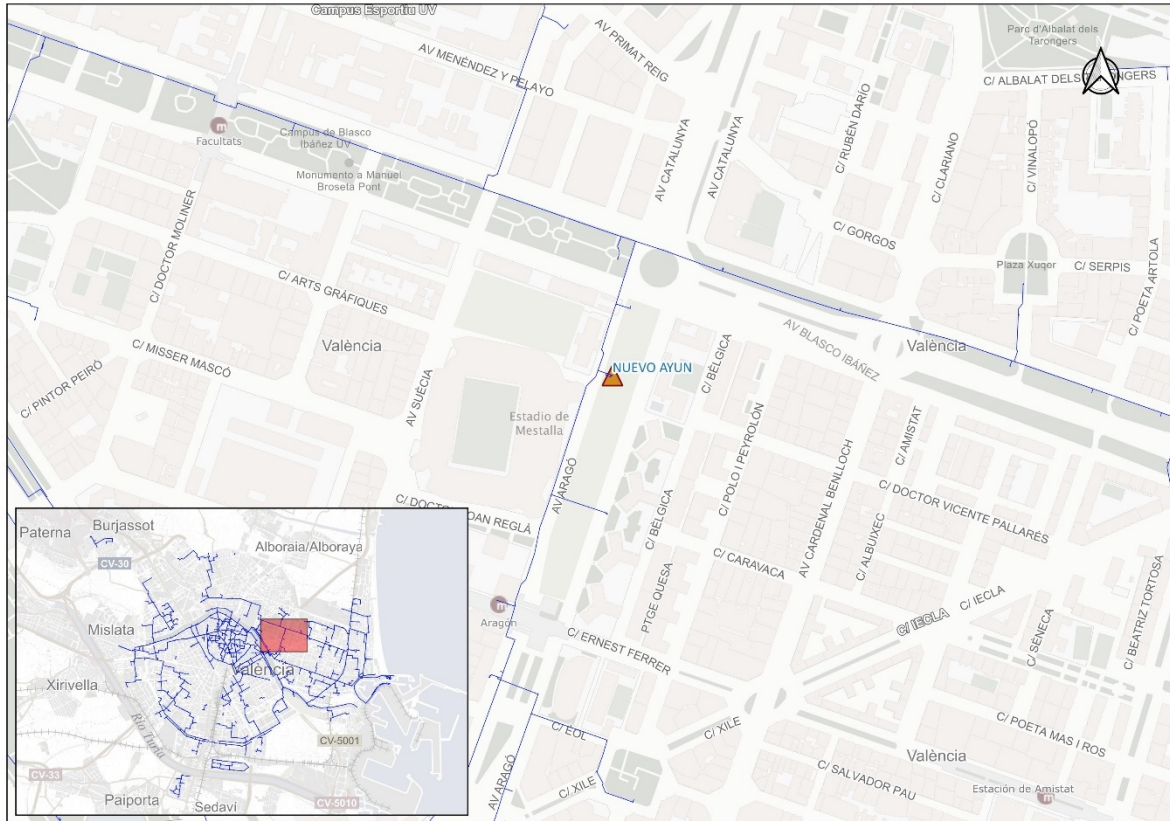


Figura 66: Ubicación Pozo Ayuntamiento nuevo.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Potencia bomba	25 kW
Punto de funcionamiento	25 l/s – 55 m.c.a.
Calibre contador	150 mm

Tabla 41: Características Bombas Pozo.

Anzuelos Bulevar Sur.

El pozo Anzuelos se encuentra ubicado en la rotonda de los Anzuelos del Bulevar Sur con Ausias March. Su ubicación se presenta a continuación:

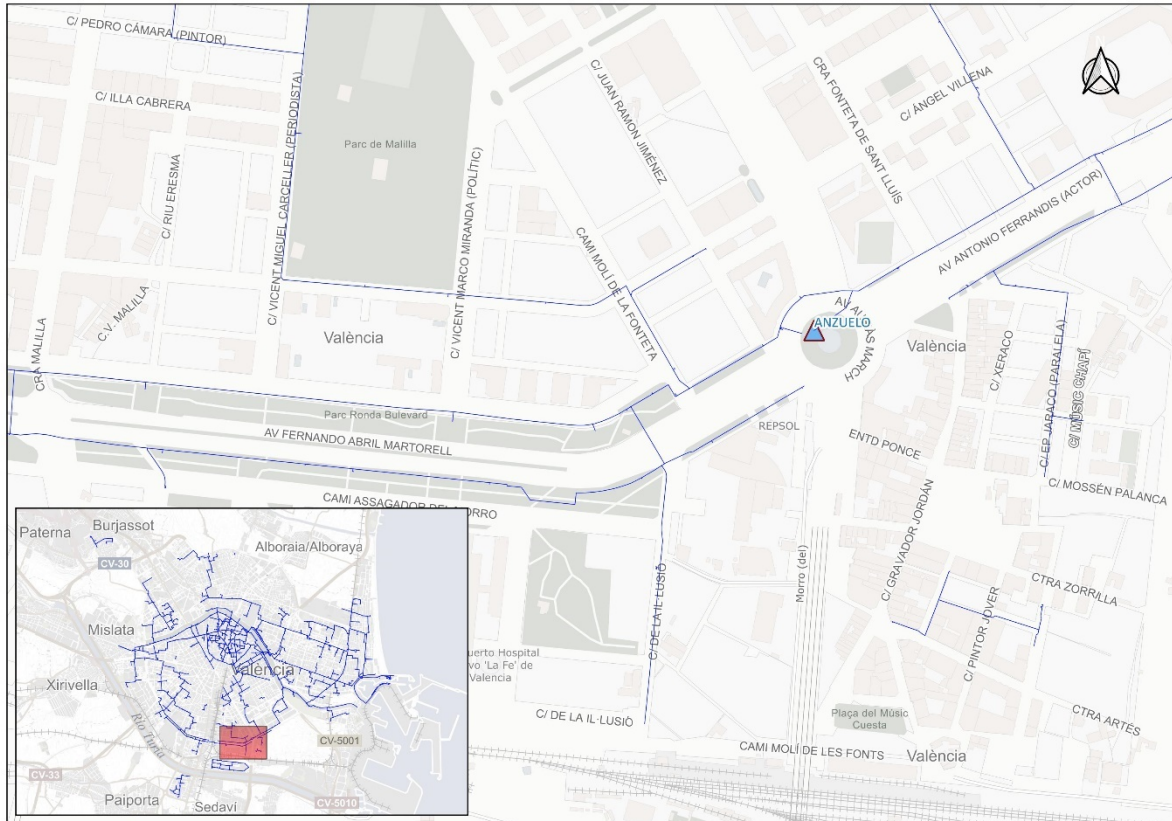


Figura 67: Ubicación Pozo Anzuelos.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Profundidad perforación	62 m
Potencia bomba	92 kW
Profundidad de la bomba	59 m
Punto de funcionamiento	100 l/s – 59,5 m.c.a.
Calibre contador	250 mm

Tabla 42: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Pau. Tramo XIV – Avenida de Francia.

Situado en el tramo XIV del antiguo cauce del río Turia, entre el puente de Monteolivete y el puente de l'Assut de l'Or, fue ejecutado por el Plan de Actuación Urbana (PAU) de la Avenida de Francia para la urbanización de la zona y cedido posteriormente para la red de Baja Presión a partir del año 2000. Su ubicación se presenta a continuación:

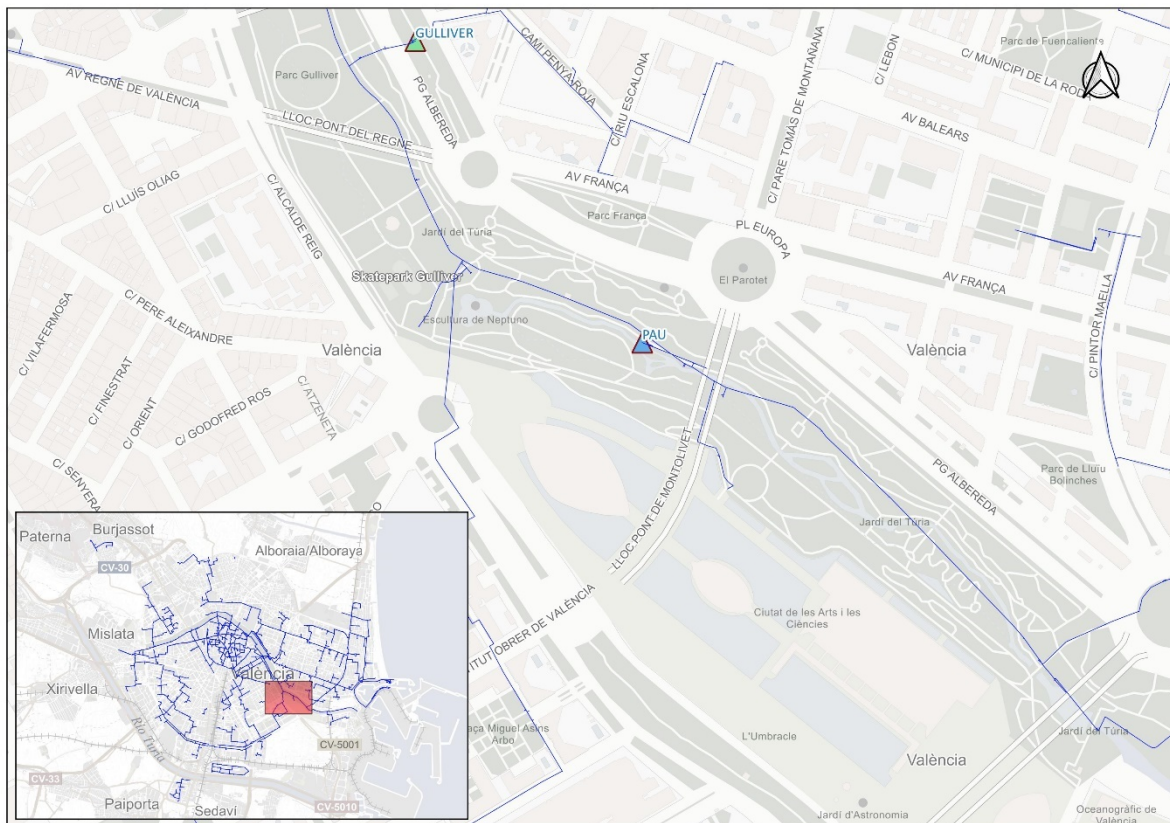


Figura 69: Ubicación Pozo Pau.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Profundidad perforación	72 m
Potencia bomba	100 CV
Profundidad de la bomba	39,2 m
Punto de funcionamiento	83 l/s – 55 m.c.a.
Calibre contador	200 mm

Tabla 44: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Benicalap Nuevo.

Situado en la Plaza José maría Giménez Fayos consta de un sondeo totalmente equipado que actualmente se encuentra fuera de servicio procediéndose al riego de la zona a través de la red en alta de Valencia. Su ubicación se presenta a continuación:

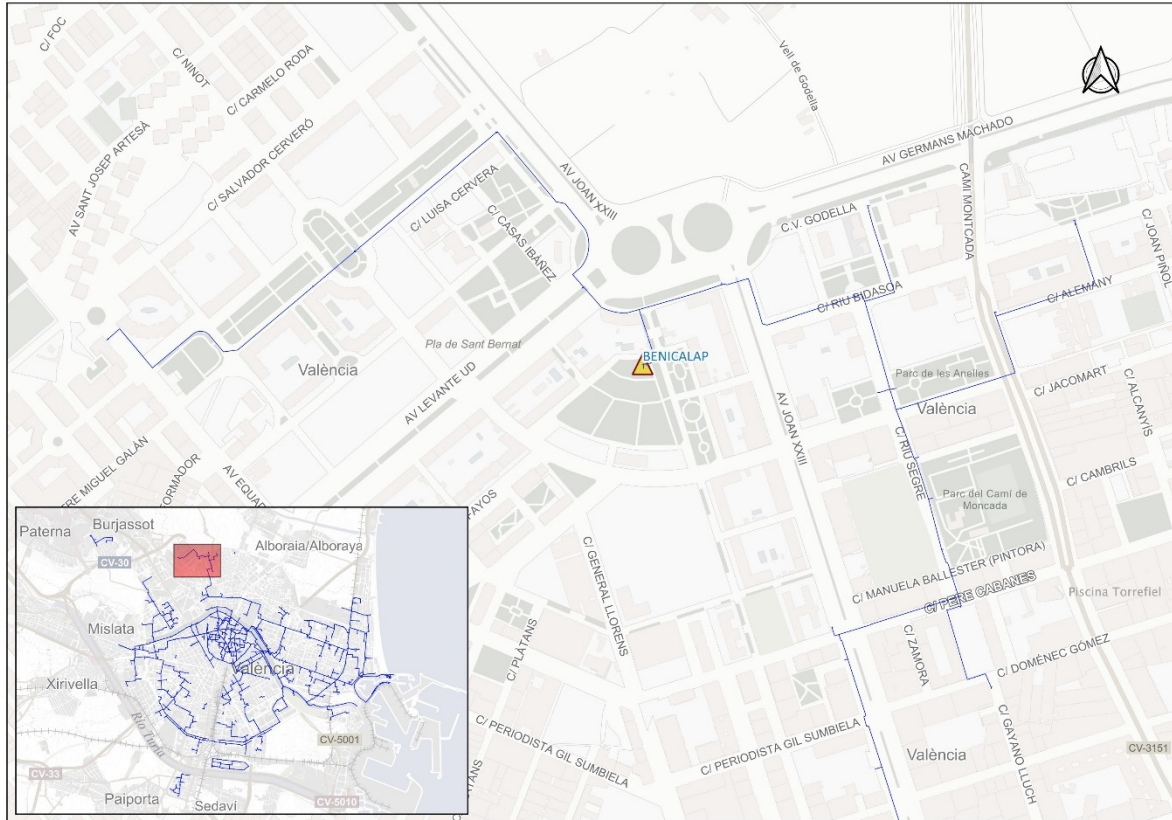


Figura 70: Ubicación Pozo Benicalap.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Profundidad perforación	82 m
Potencia bomba	11 kW
Profundidad de la bomba	48,2 m
Punto de funcionamiento	9,7 l/s – 60 m.c.a.
Calibre contador	100 mm

Tabla 45: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Avenida Alfahuir

Ubicado en la Avenida Alfahar con la C/ Santiago Rusiñó. Su ubicación se presenta a continuación:

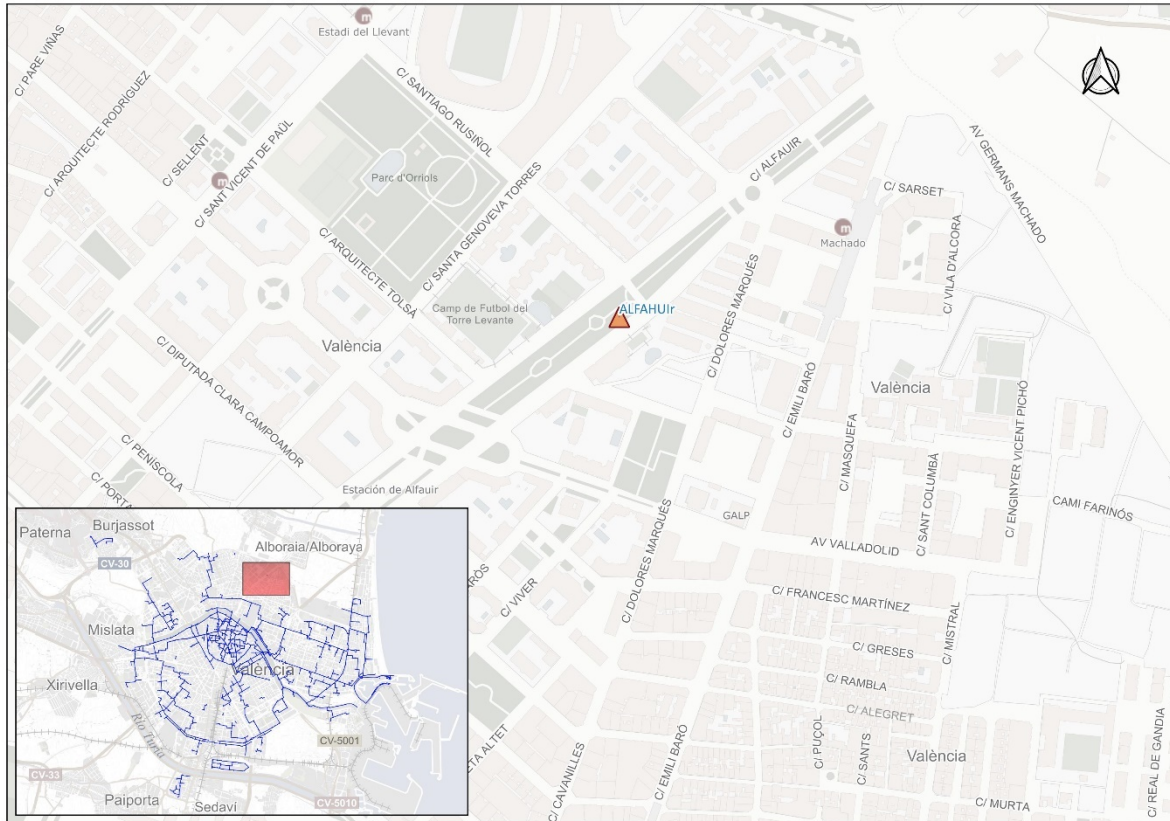


Figura 71: Ubicación Pozo Alfahuir.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Profundidad perforación	40 m
Potencia bomba	5,5 kW
Punto de funcionamiento	6,9 l/s – 38 m.c.a.

Tabla 46: Características bombas pozo Alfahuir.

La Torre.

El Pozo de La Torre está ubicado en un edificio anexo a la zona Faitanar y La Torre, próximo a la C/ Pintor Joan Miró y la V-30. Su ubicación se presenta a continuación:

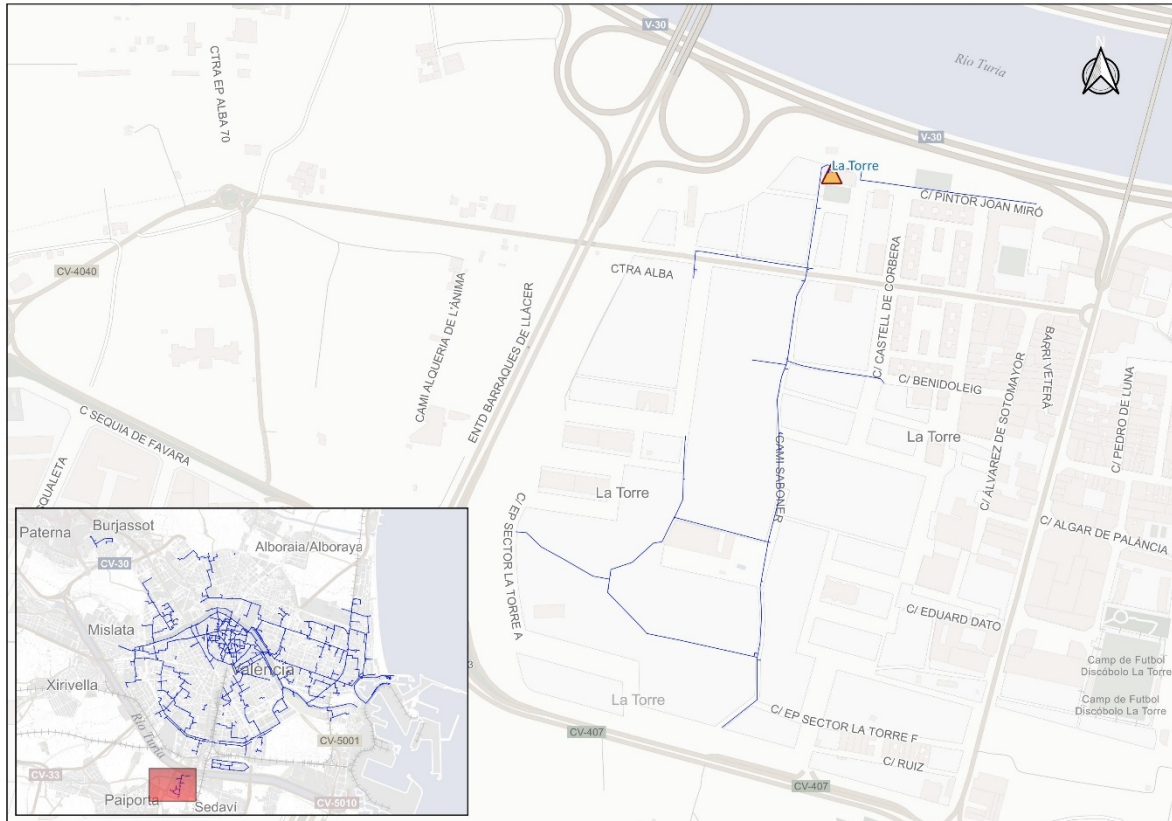


Figura 72: Ubicación Pozo La Torre.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Potencia bomba	8 kW
Caudal nominal	4 l/s

Tabla 47: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Benimamet.

Este pozo se encuentra ubicado en una parcela de acceso restringido situada en la C/ Cullera número 77. Cuenta con variador de frecuencia. Su ubicación se presenta a continuación:

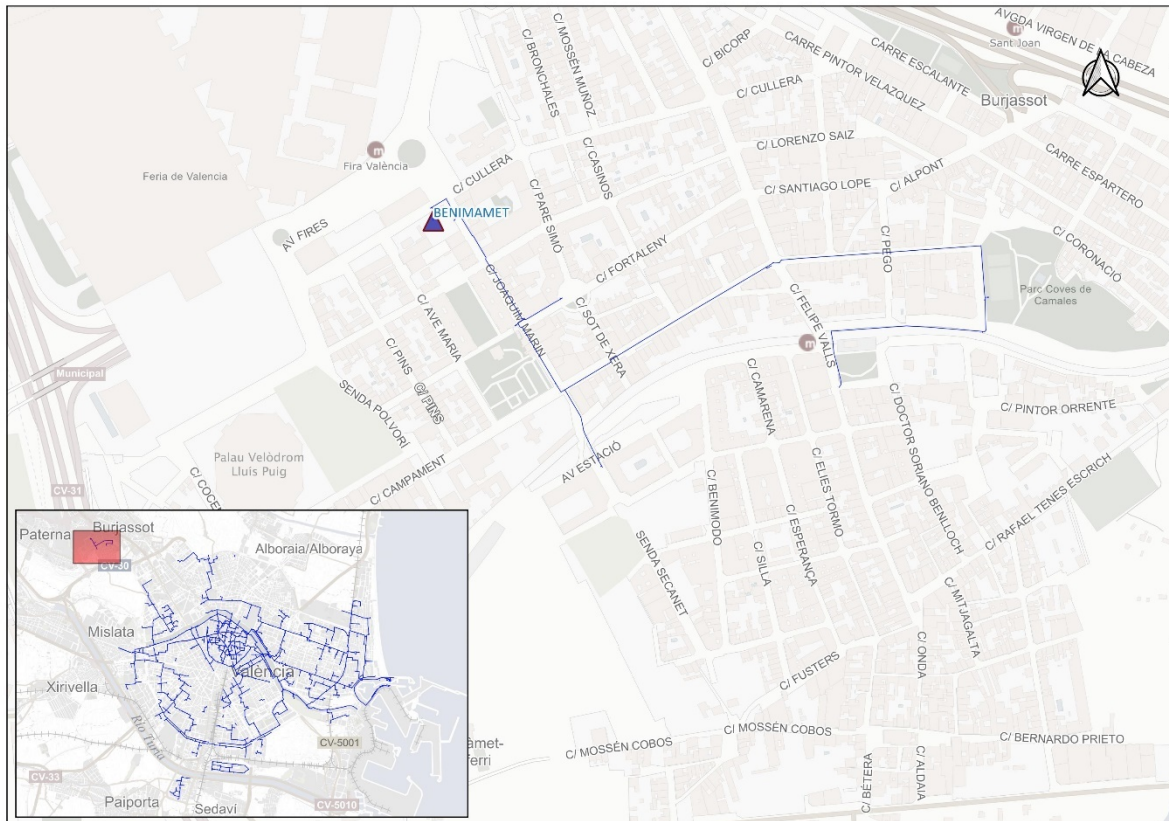


Figura 73: Ubicación Pozo Benimamet.

A continuación, se presentan las principales características hidráulicas de la estación de bombeo presente en el pozo:

Potencia bomba	22 kW
Punto de funcionamiento	30 l/s – 55 m.c.a.

Tabla 48: Características Bombas Pozo Tramo IV.

Anexos Nº1: Caudales y curvas de modulación de los sectores:

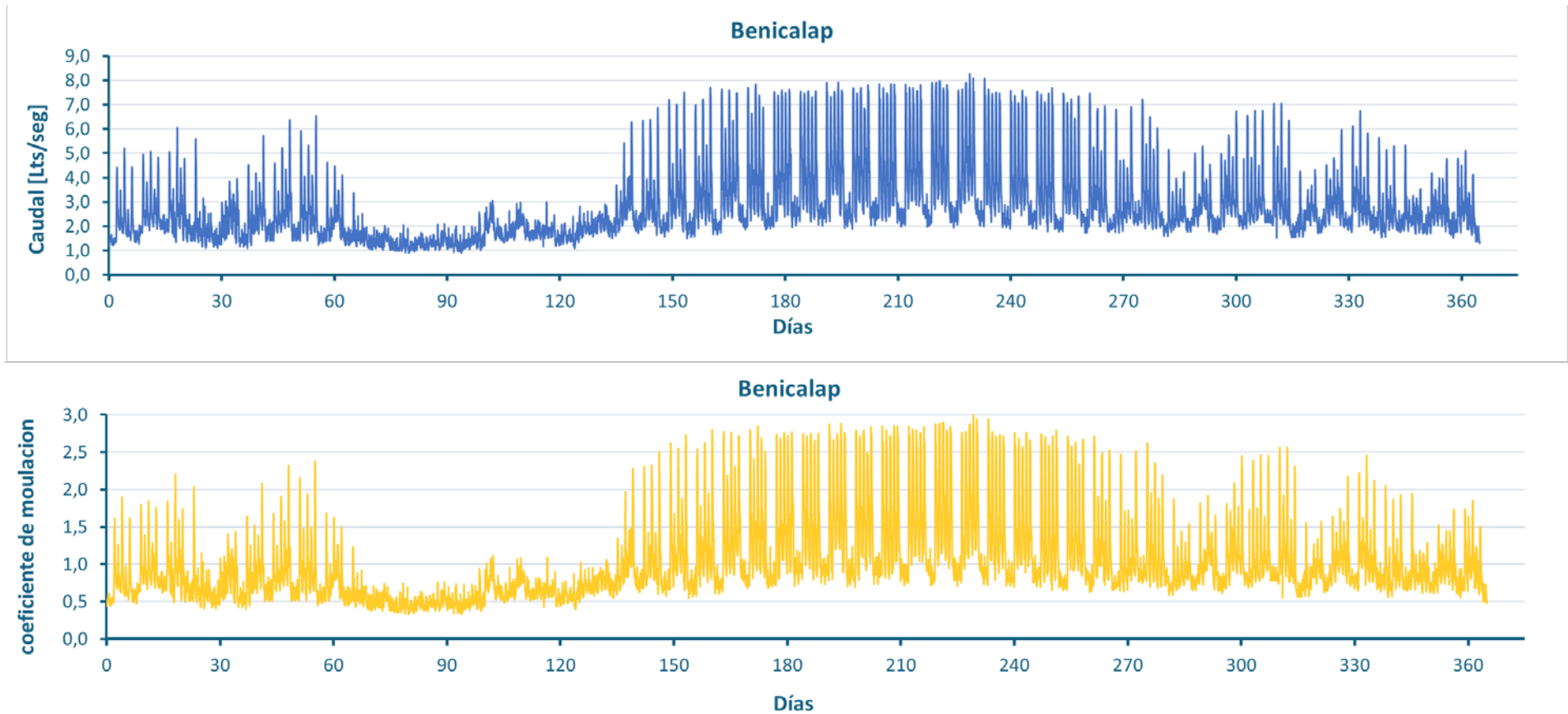


Figura 74: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benicalap en un periodo de tiempo de un año.

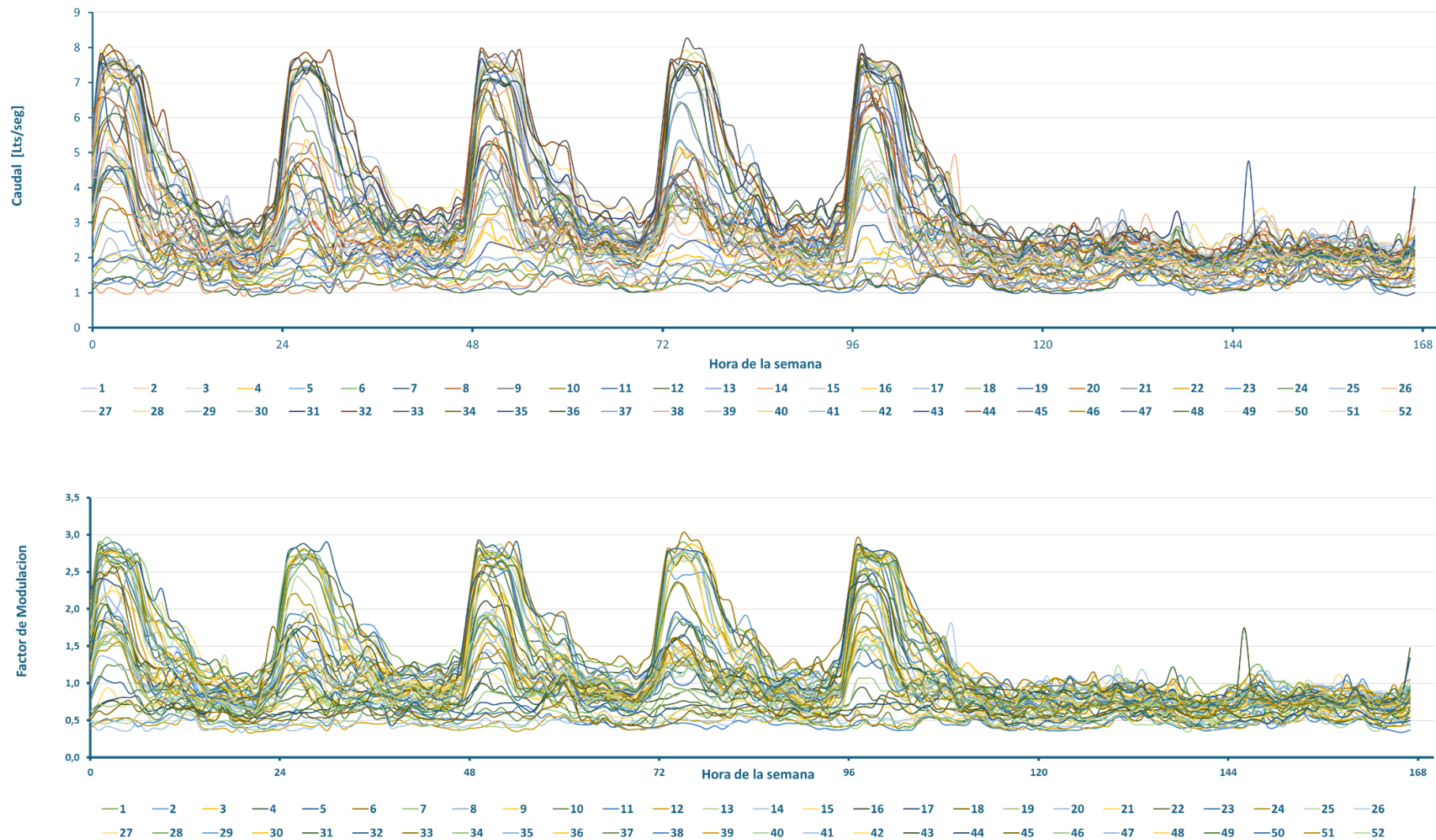


Figura 75: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benicalap en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

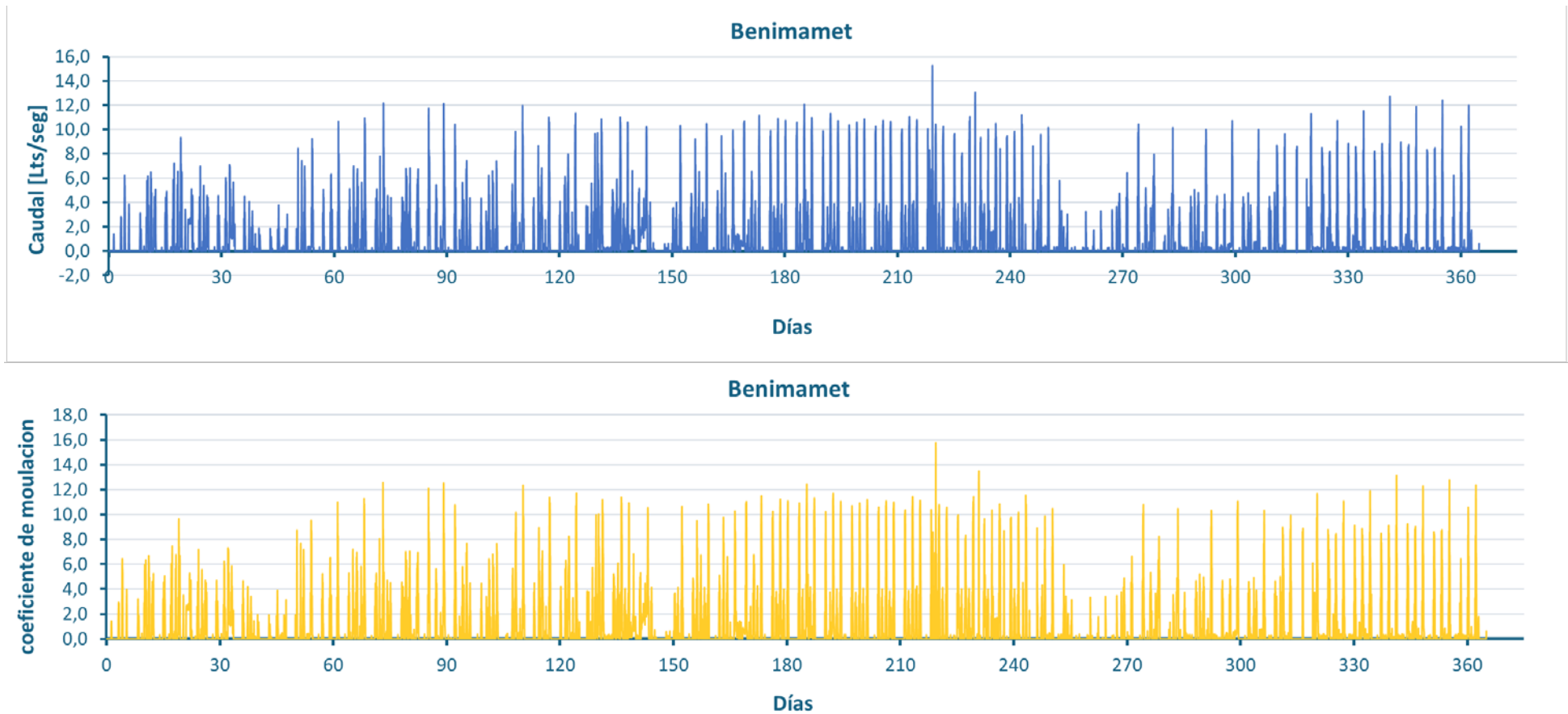


Figura 76: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo de un año.

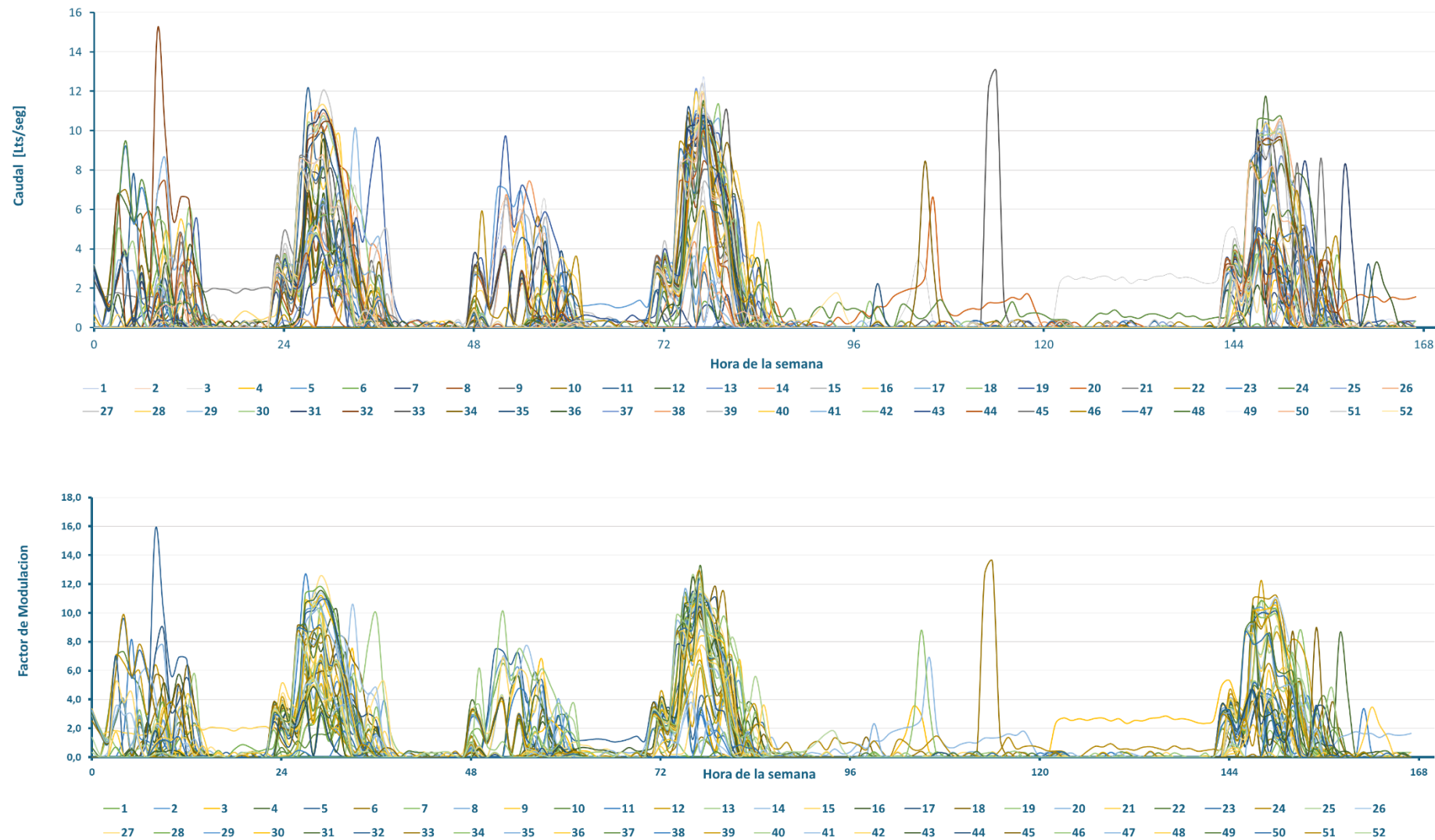


Figura 77: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

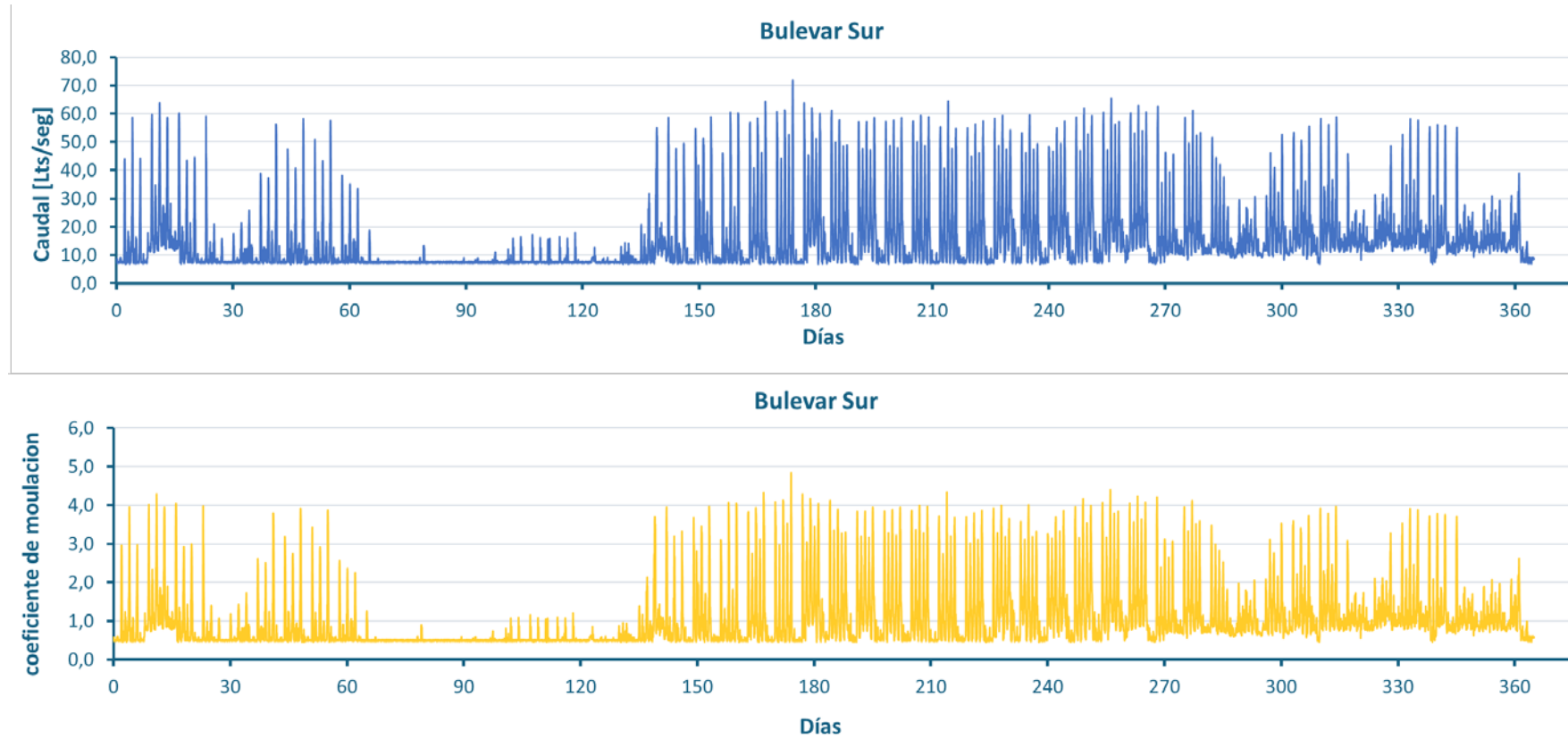


Figura 78: Caudales y coeficientes de modulación del sector Bulevar Sur en un periodo de tiempo de un año.

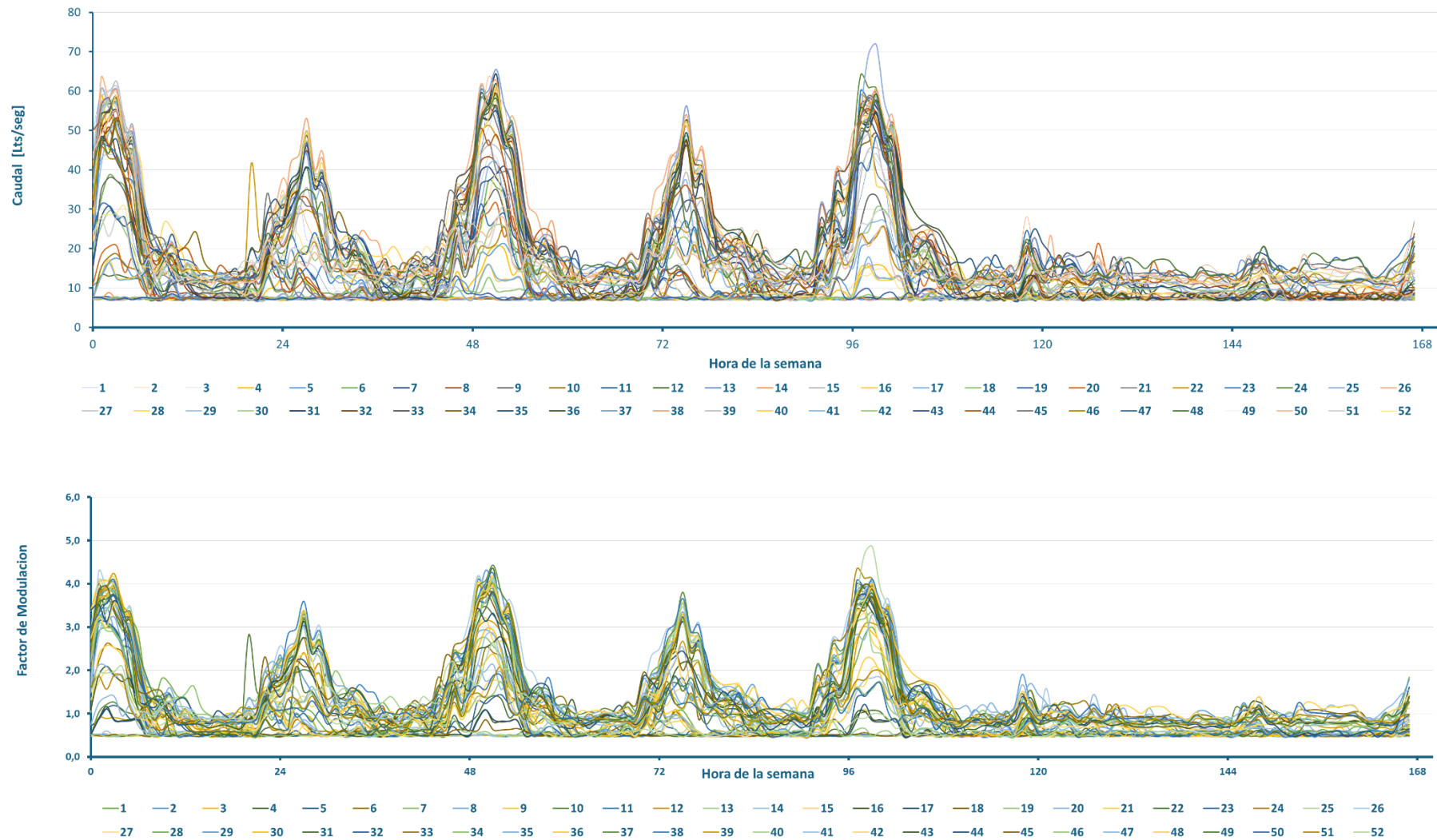


Figura 79: Caudales y coeficientes de modulación del sector Benimamet en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

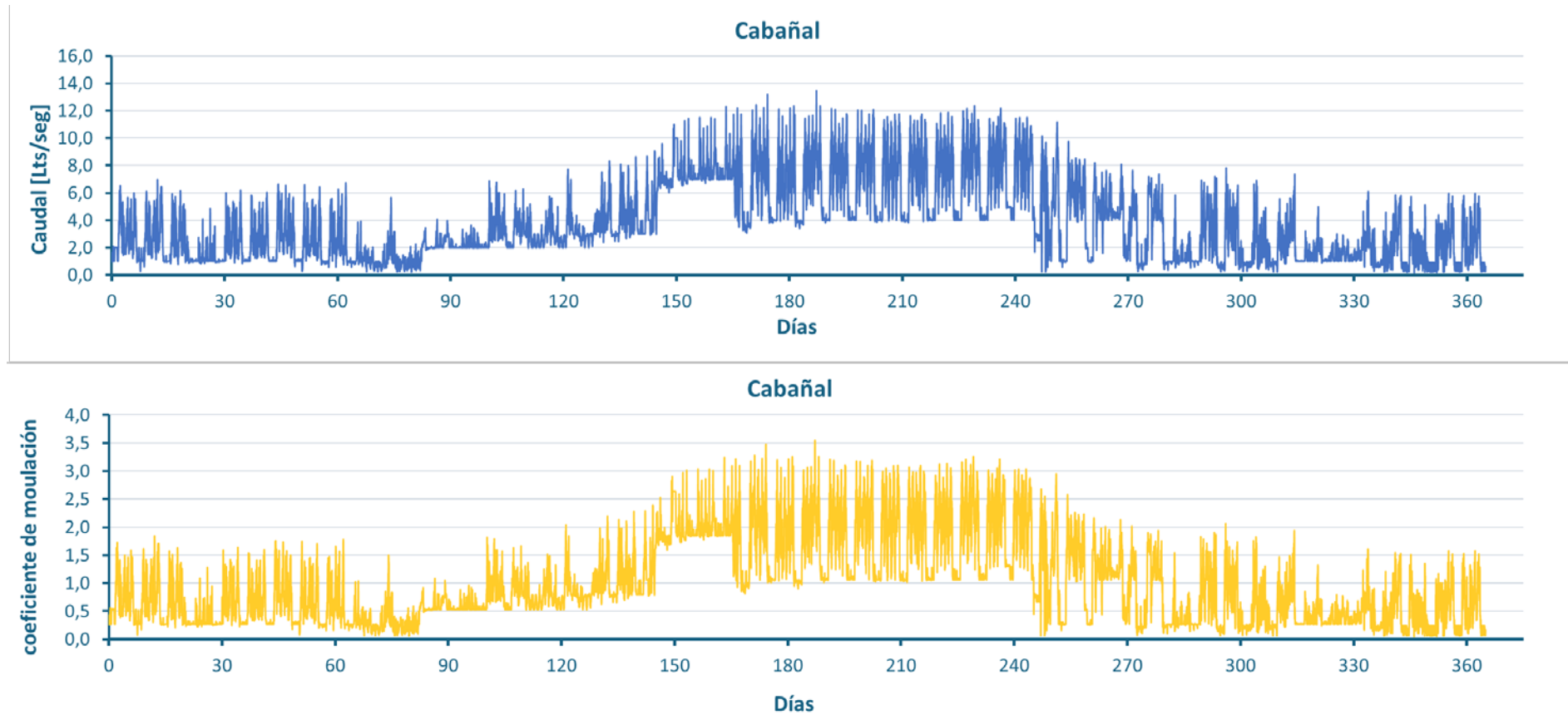


Figura 80: Caudales y coeficientes de modulación del sector Cabañal en un periodo de tiempo de un año.

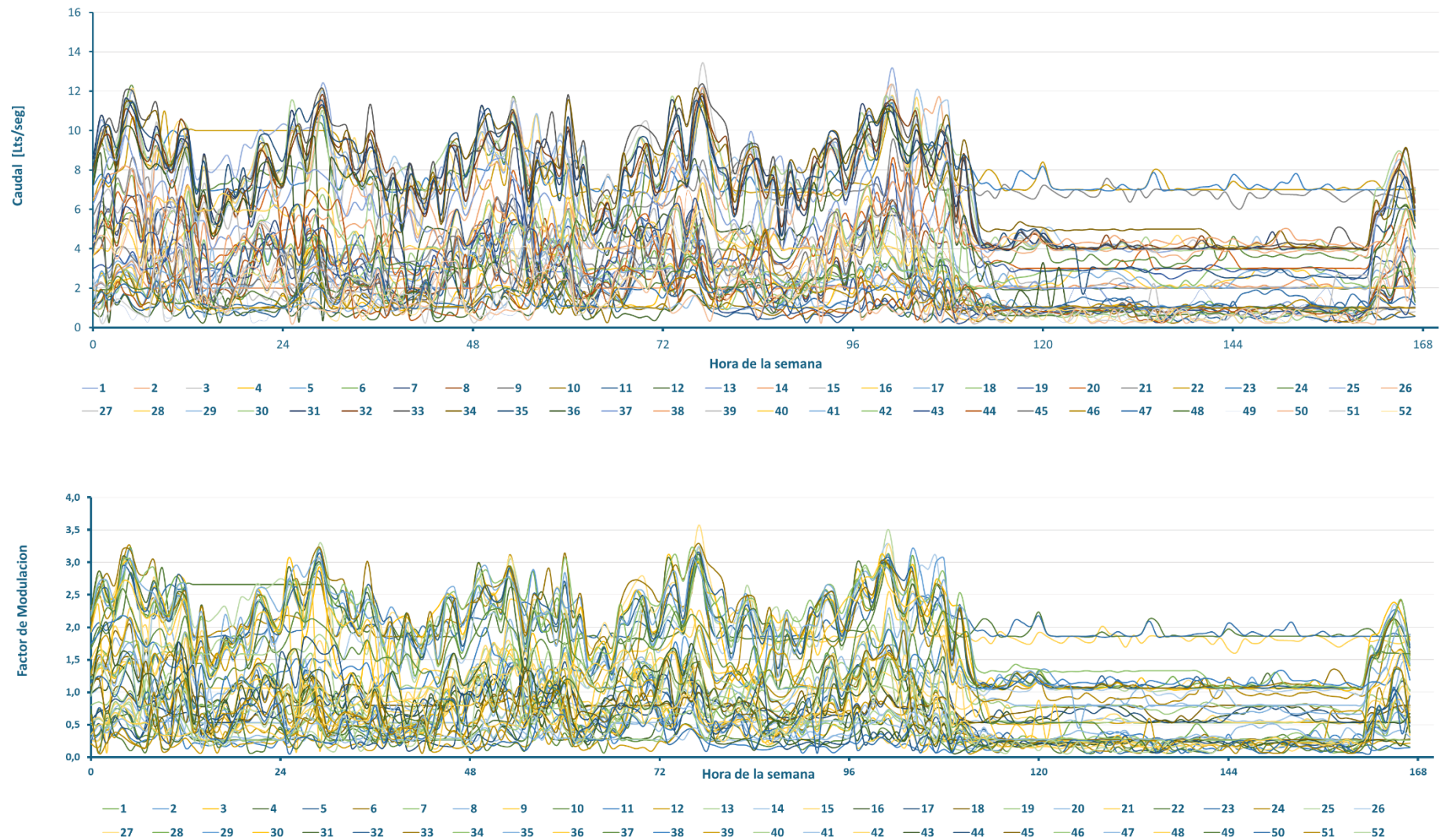


Figura 81: Caudales y coeficientes de modulaci3n del sector Cabañal en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

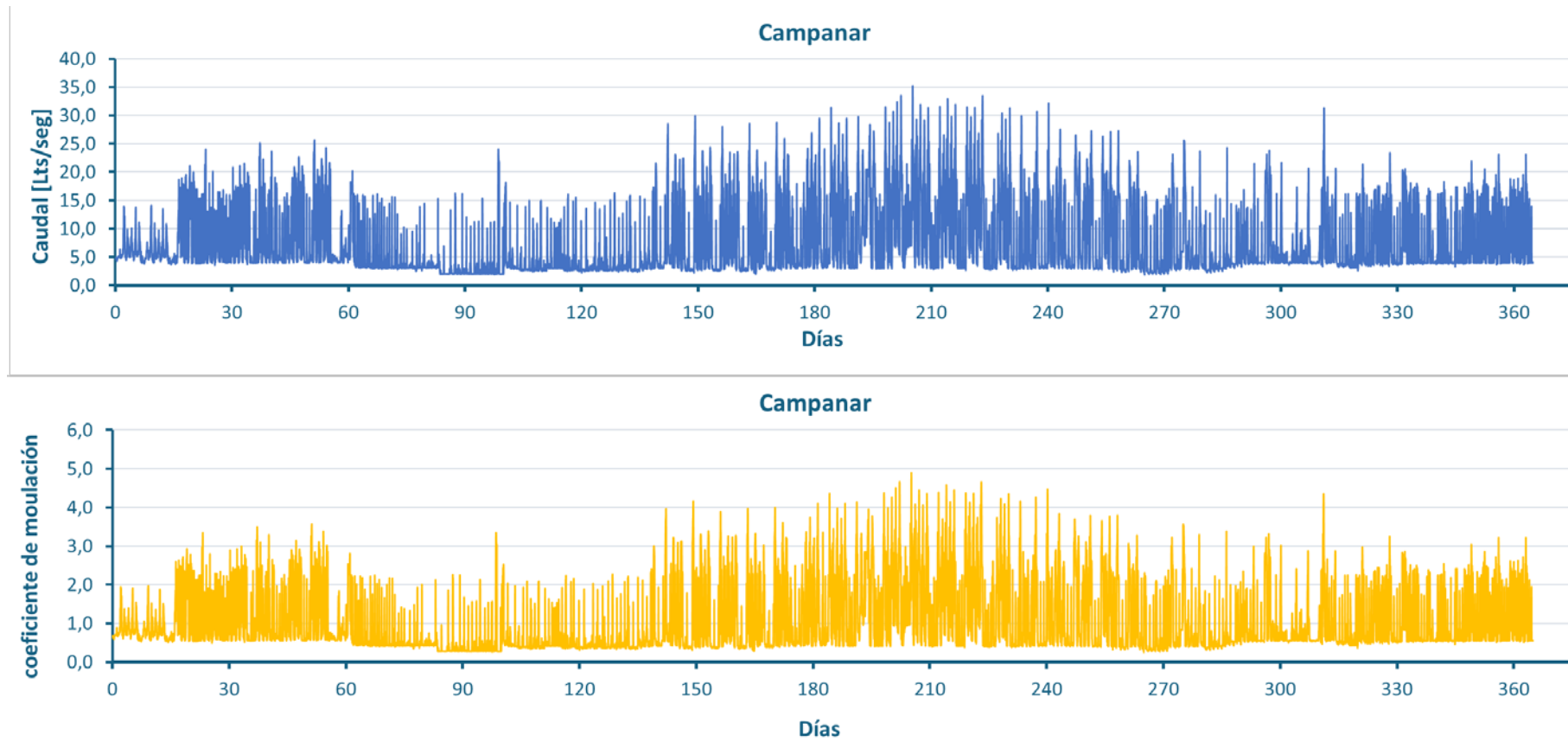


Figura 82: Caudales y coeficientes de modulación del sector Campanar en un periodo de tiempo de un año.

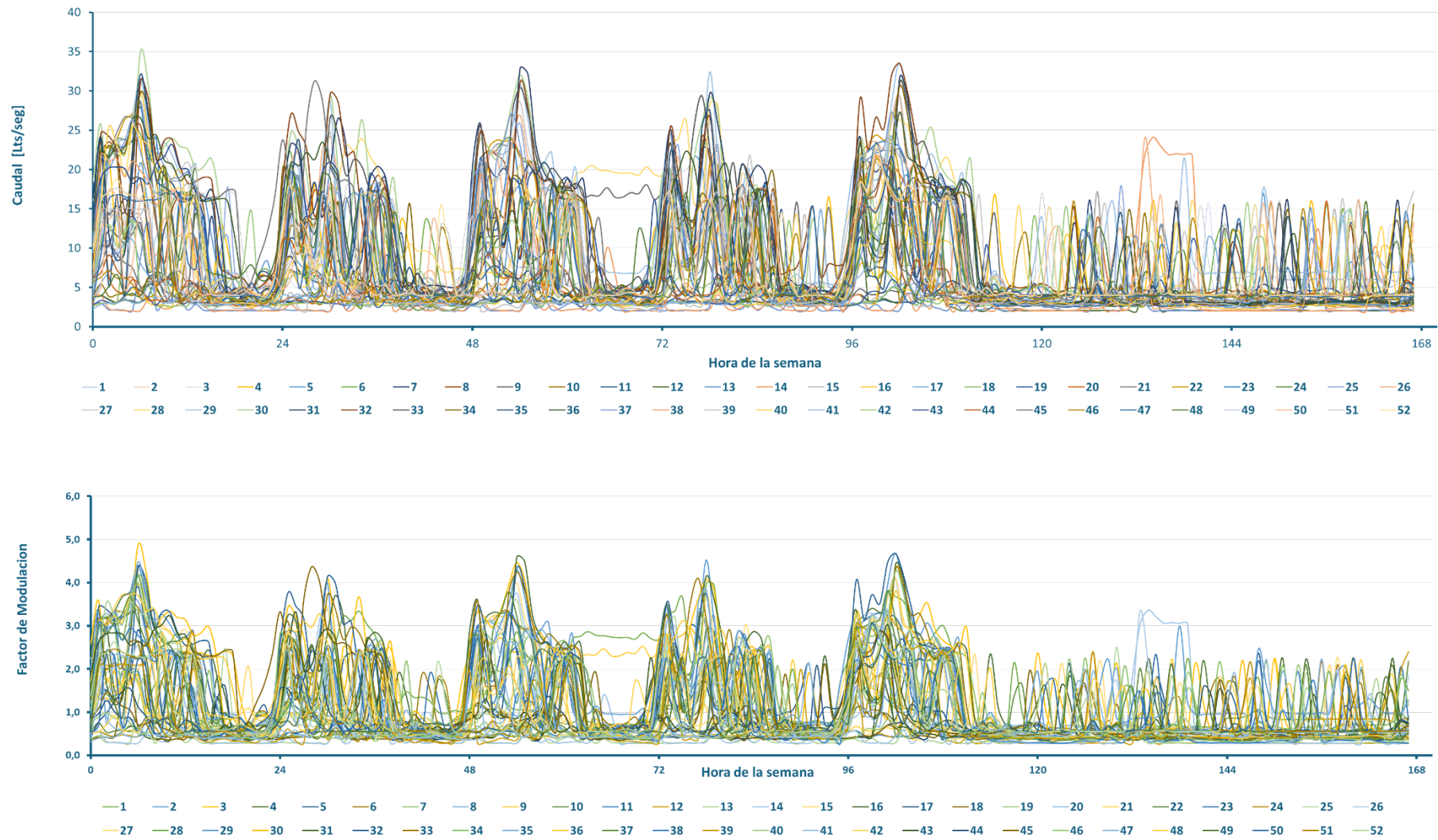


Figura 83: Caudales y coeficientes de modulación del sector Campanar en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

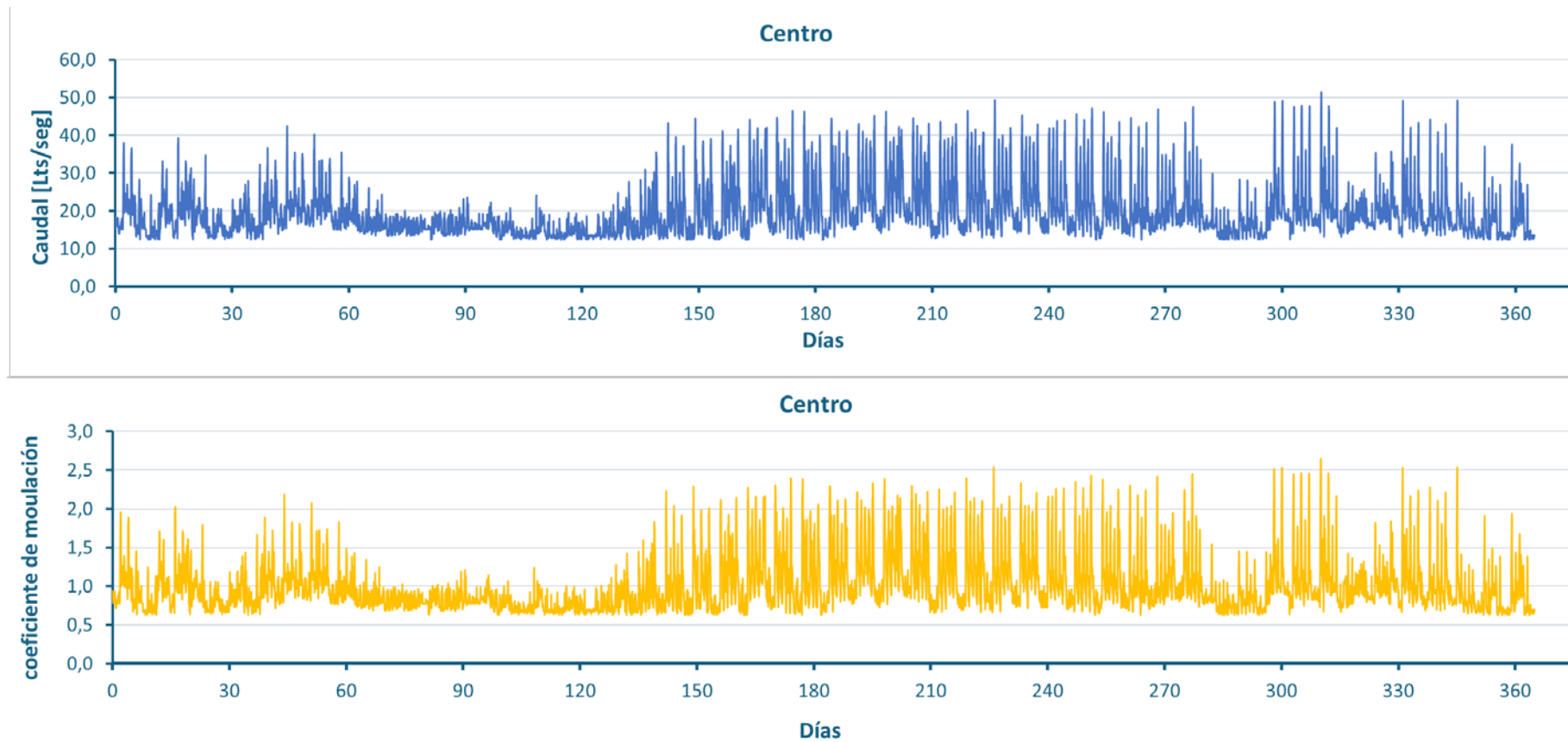


Figura 84: Caudales y coeficientes de modulación del sector Centro en un periodo de tiempo de un año.

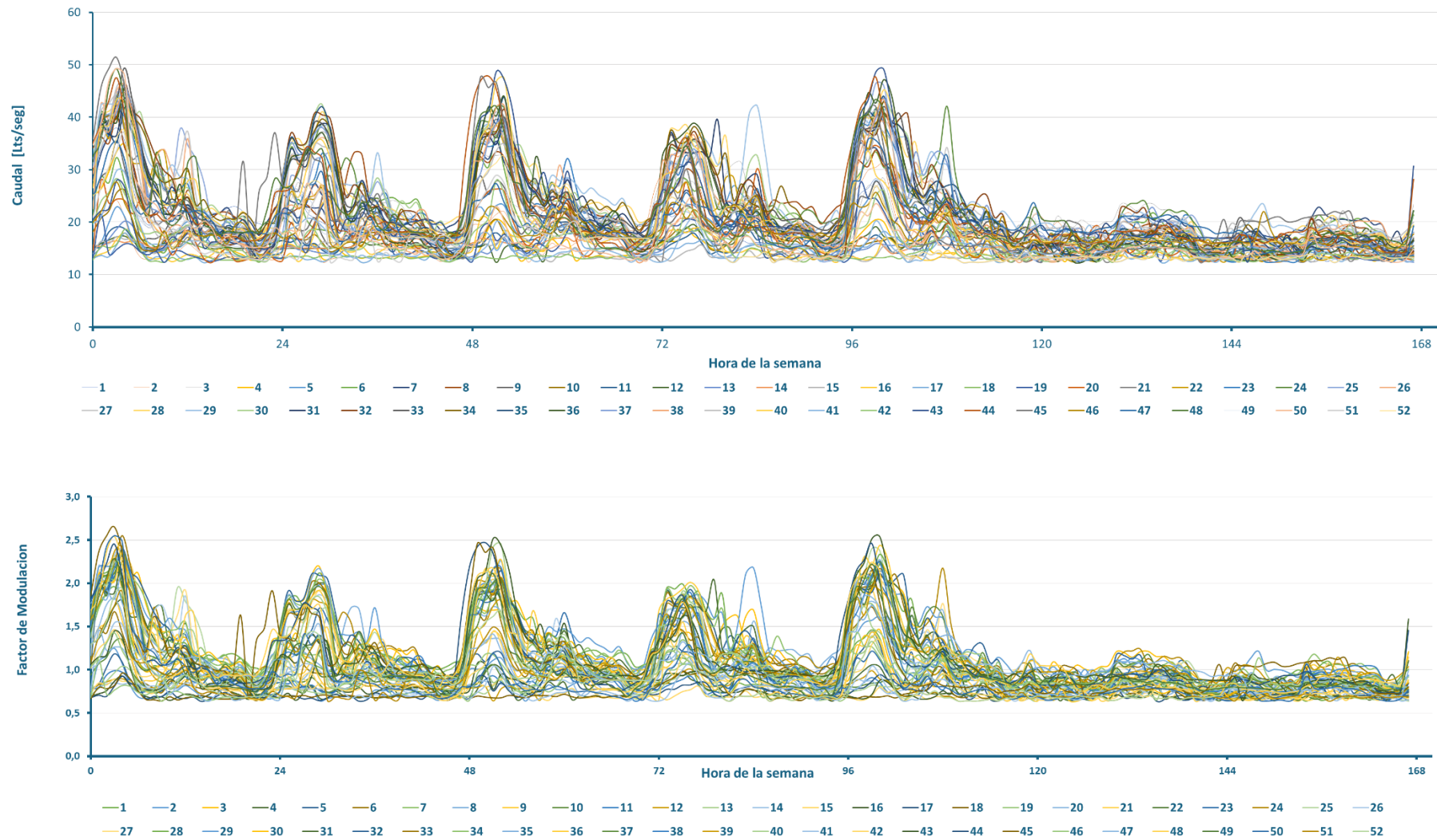


Figura 85: Caudales y coeficientes de modulación del sector Centro en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

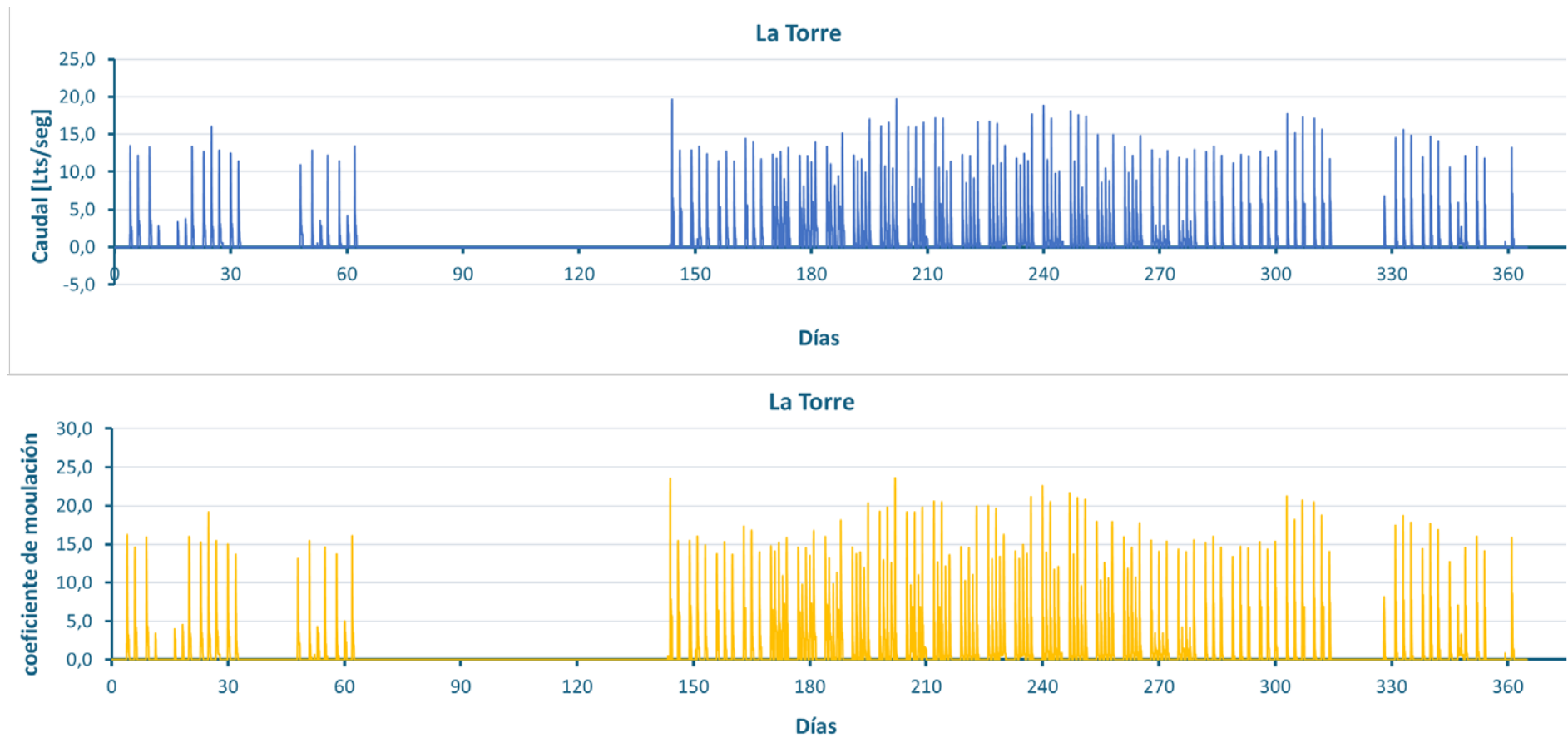


Figura 86: Caudales y coeficientes de modulación del sector La Torre en un periodo de tiempo de un año.

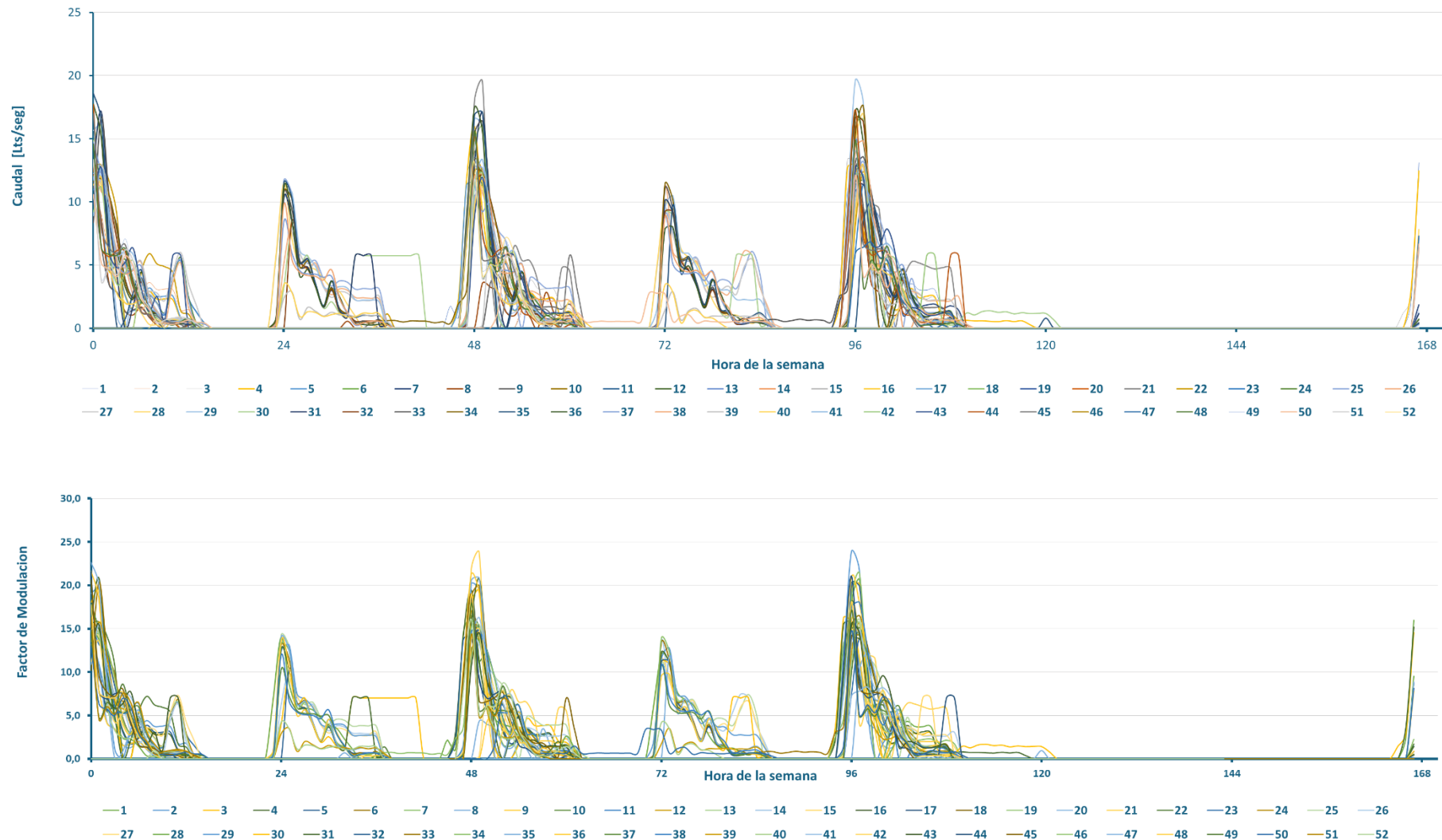


Figura 87: Caudales y coeficientes de modulación del sector La torre en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

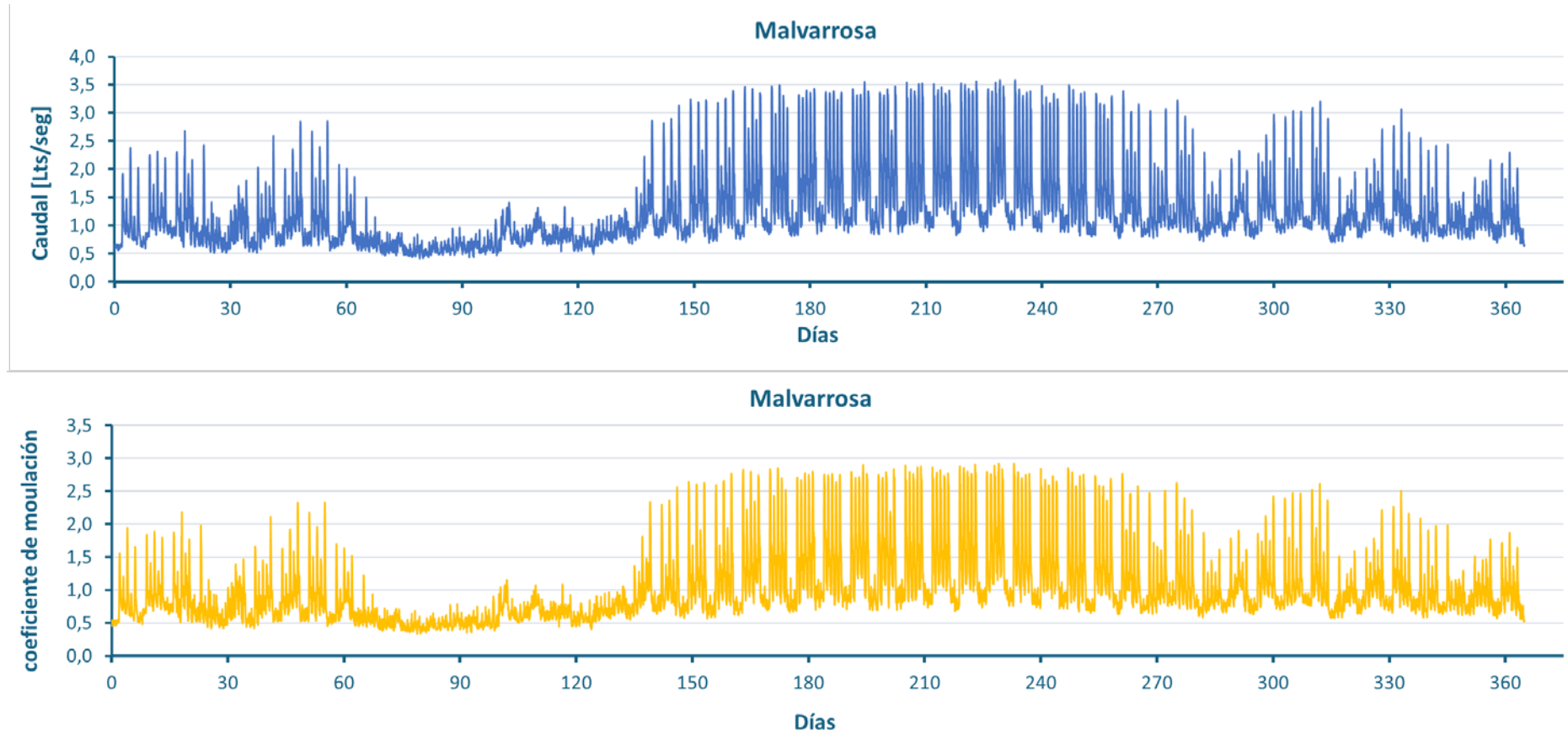


Figura 88: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malvarrosa en un periodo de tiempo de un año.

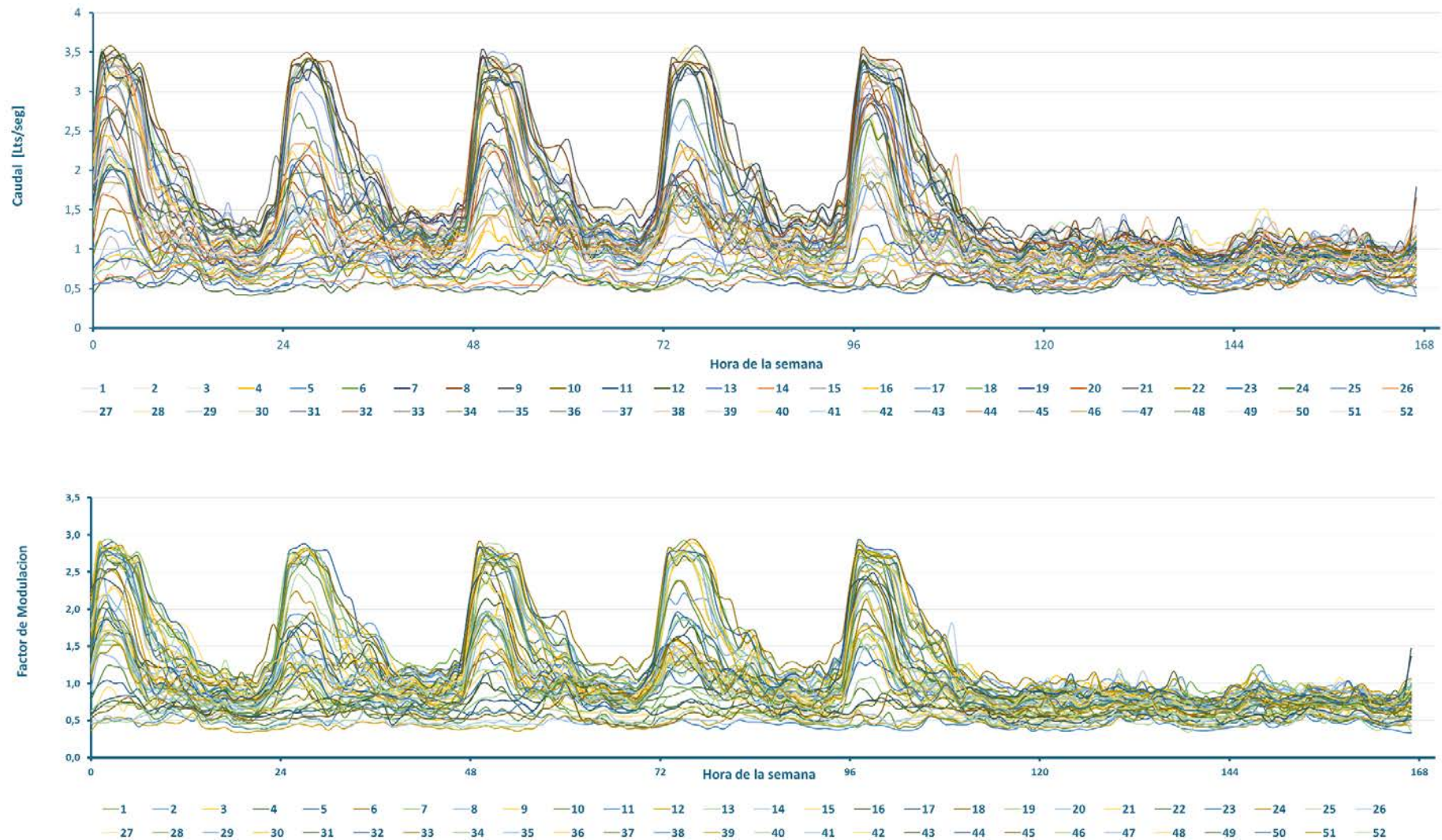


Figura 89: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malvarrosa en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

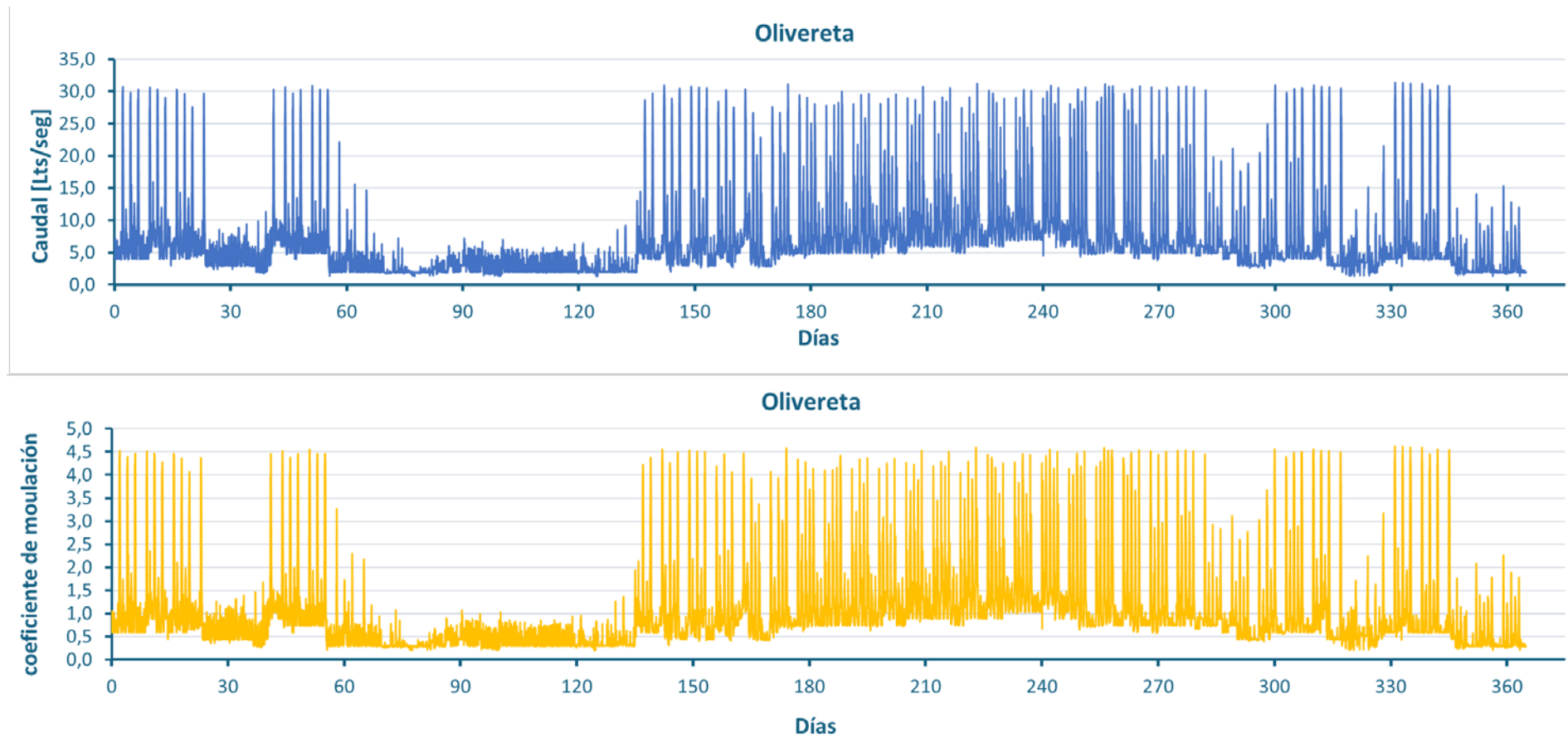


Figura 90: Caudales y coeficientes de modulación del sector Olivereta en un periodo de tiempo de un año.

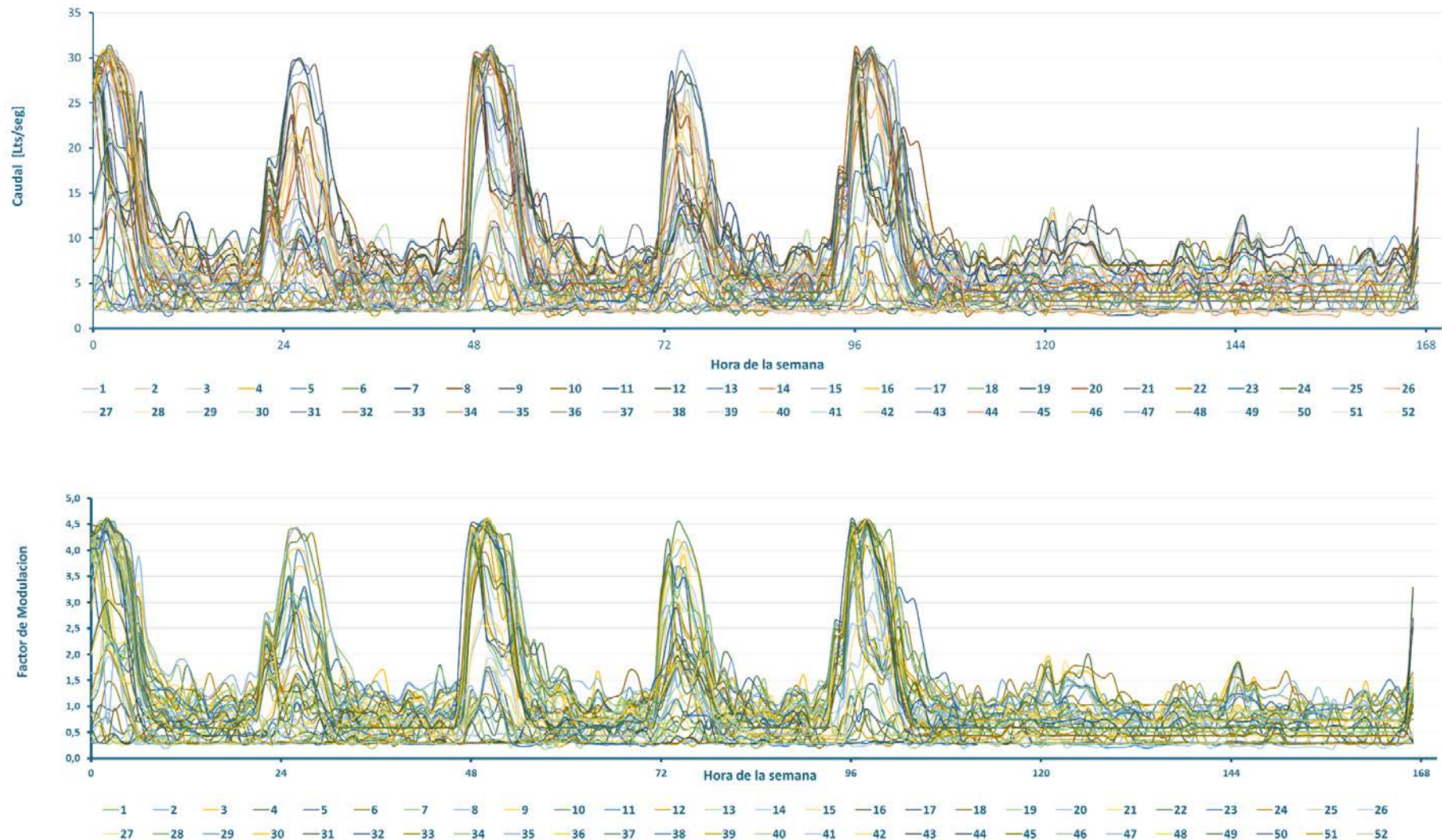


Figura 91: Caudales y coeficientes de modulación del sector Olivereta en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

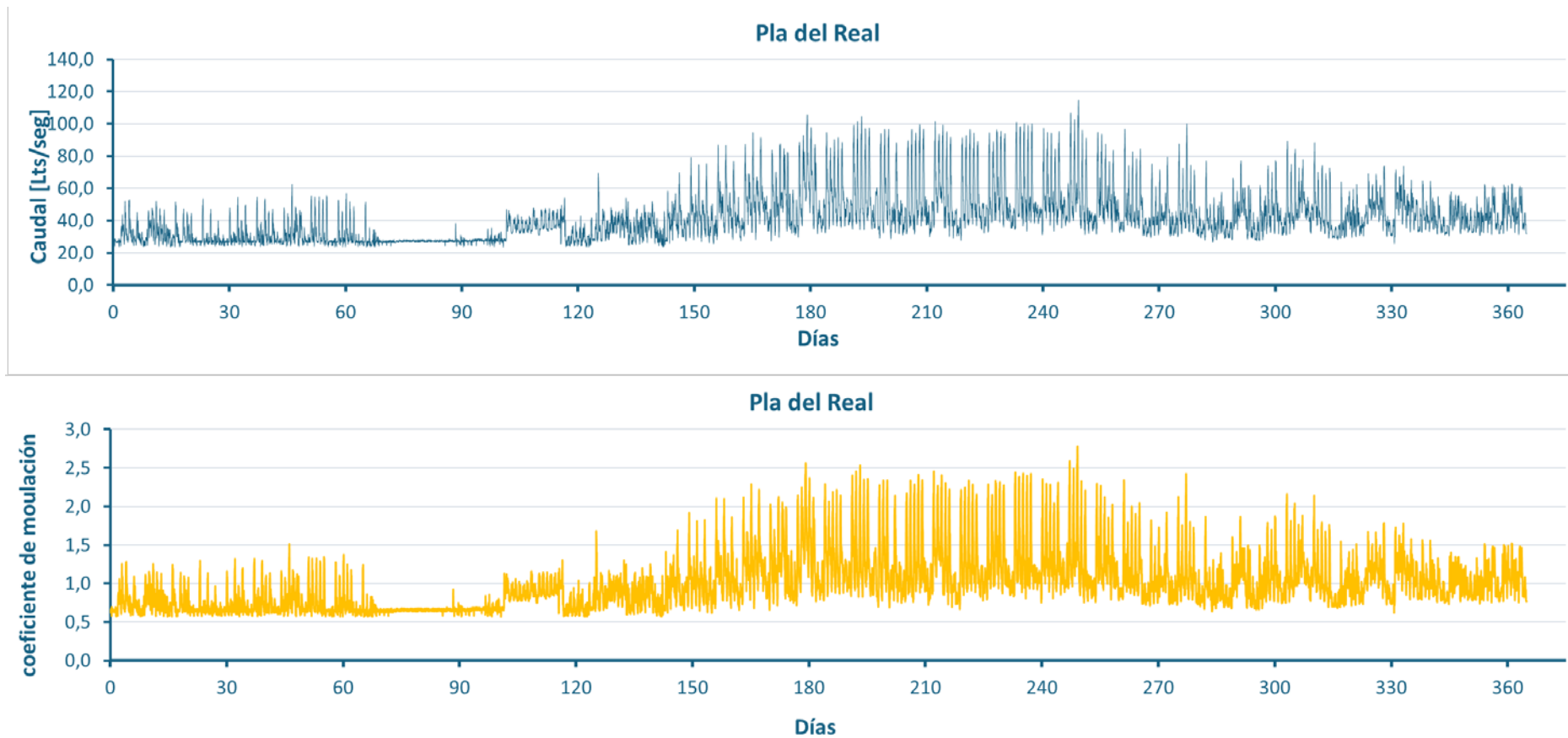


Figura 92: Caudales y coeficientes de modulación del sector Pla del Real en un periodo de tiempo de un año.



Figura 93: Caudales y coeficientes de modulación del sector Pla del Real en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

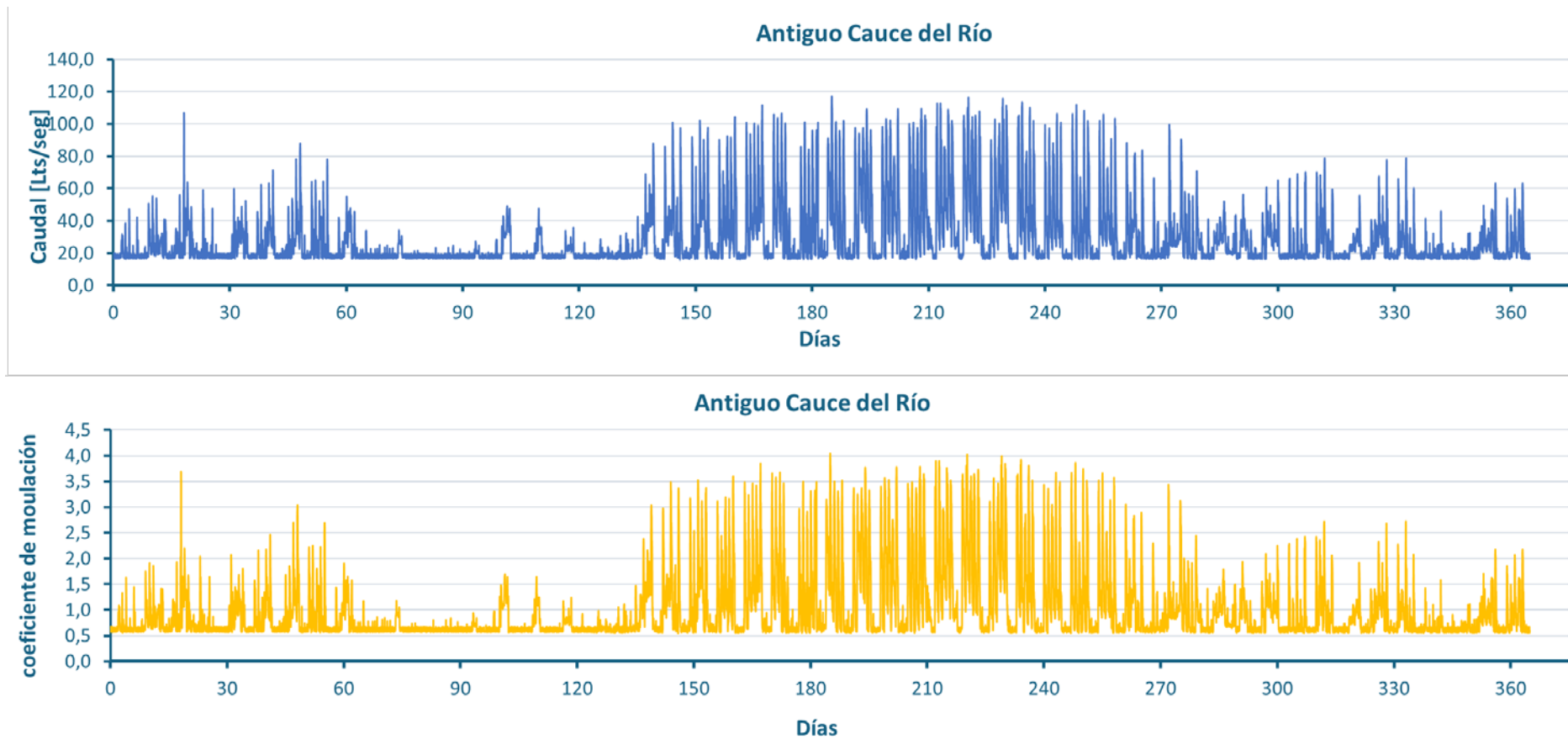


Figura 94: Caudales y coeficientes de modulación del sector antiguo cauce del río en un periodo de tiempo de un año.

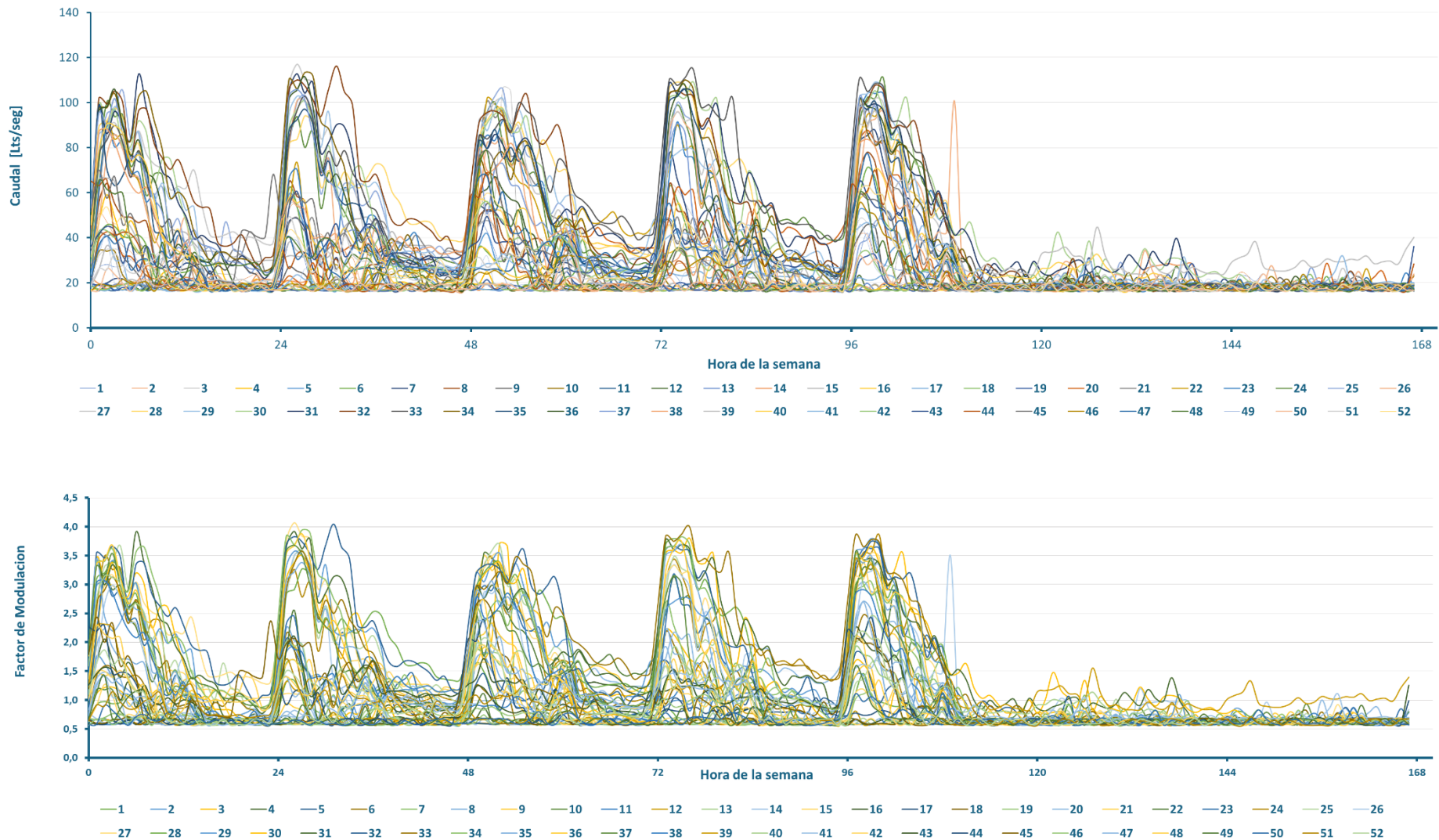


Figura 95: Caudales y coeficientes de modulación del sector Antiguo Cauce del Rio en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

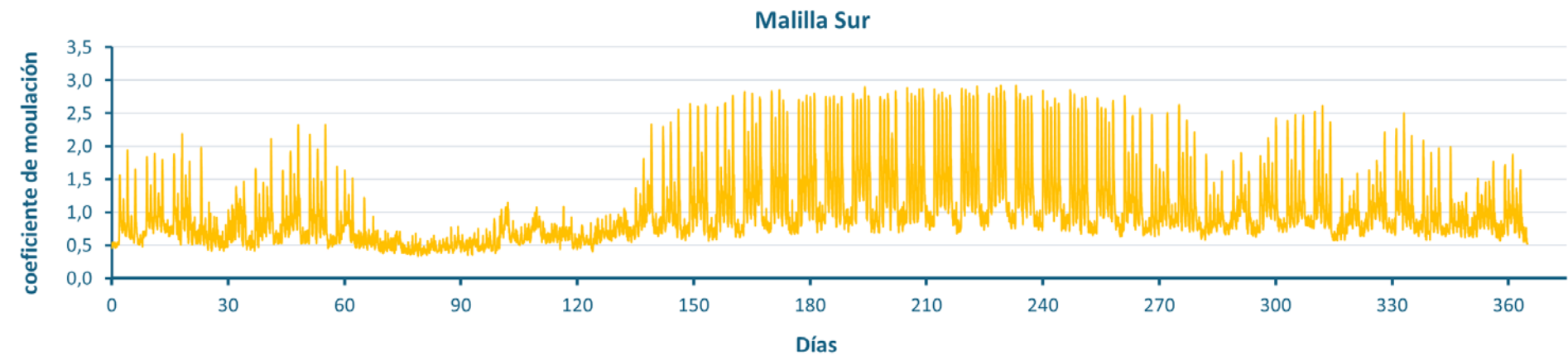
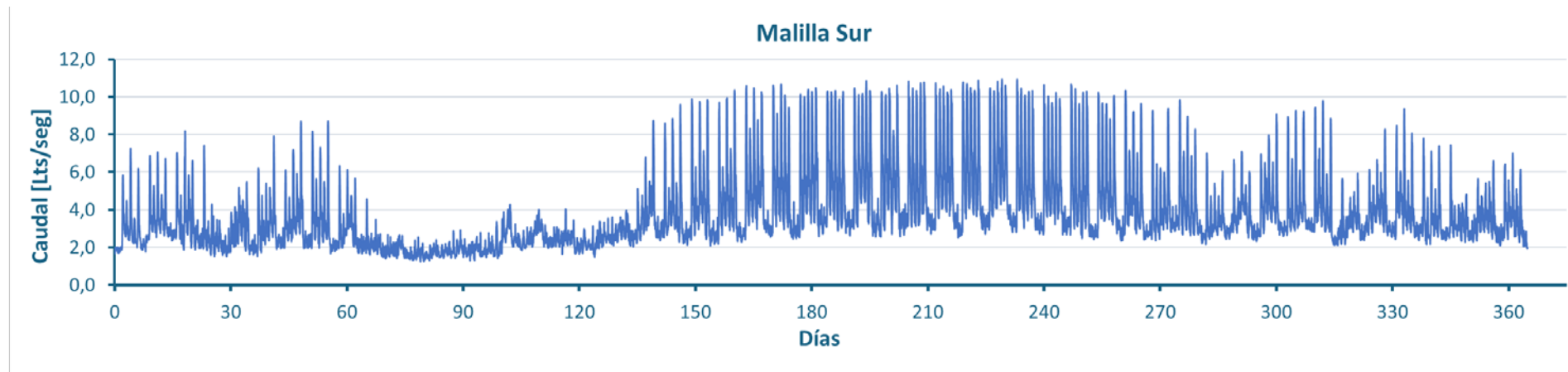


Figura 96: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malilla Sur en un periodo de tiempo de un año.

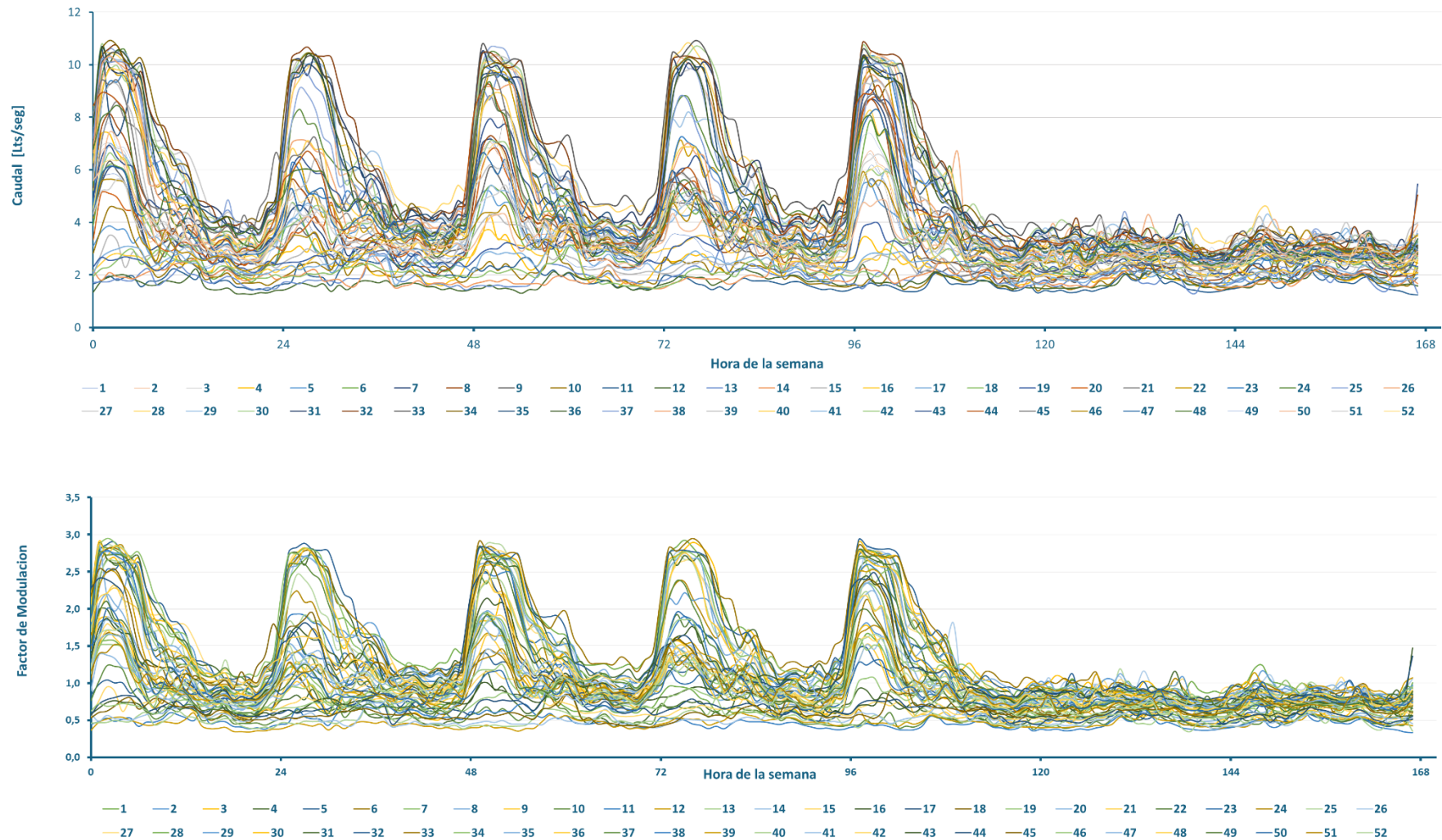


Figura 97: Caudales y coeficientes de modulación del sector Malilla Sur en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.

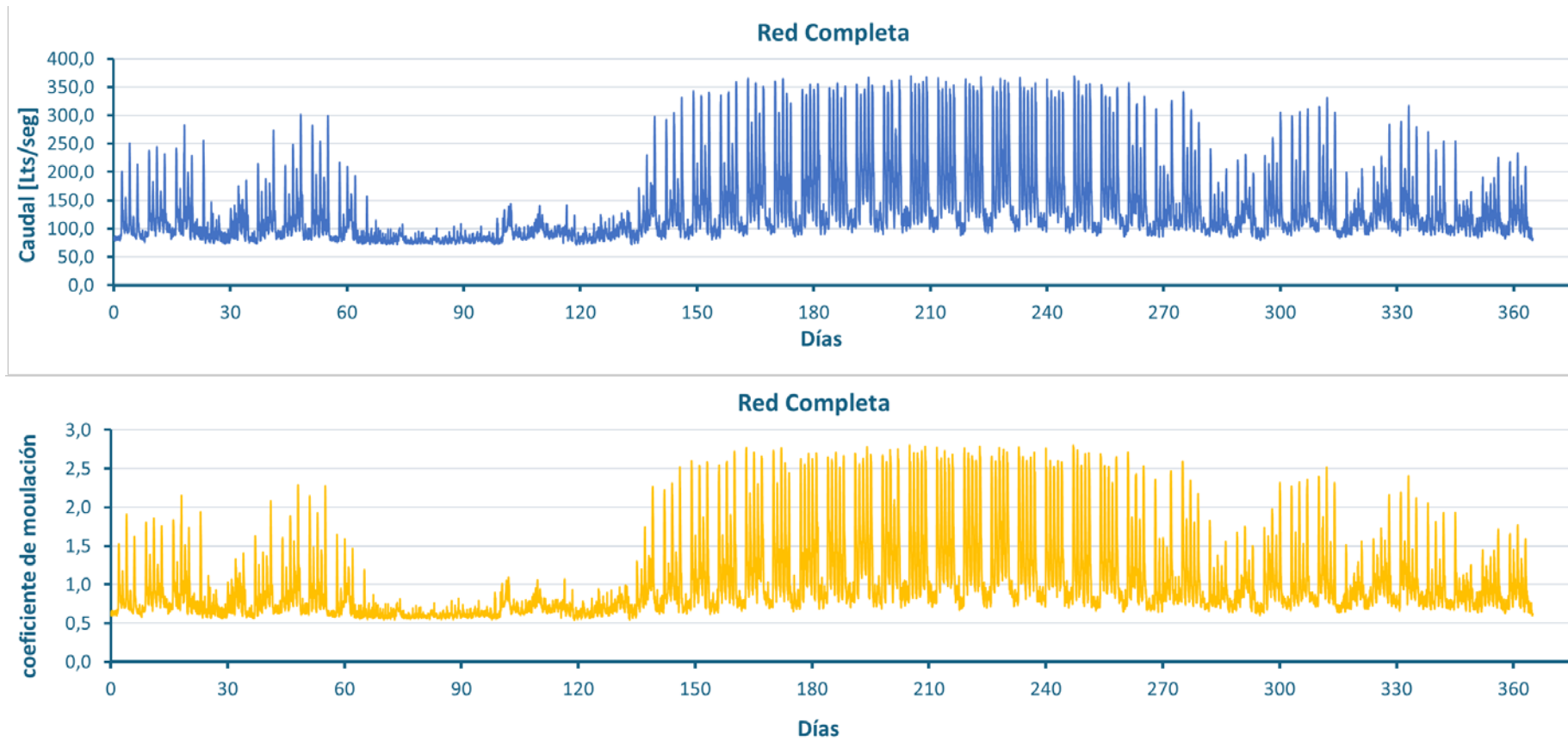


Figura 98: Caudales y coeficientes de modulación de la red completa en un periodo de tiempo de un año.

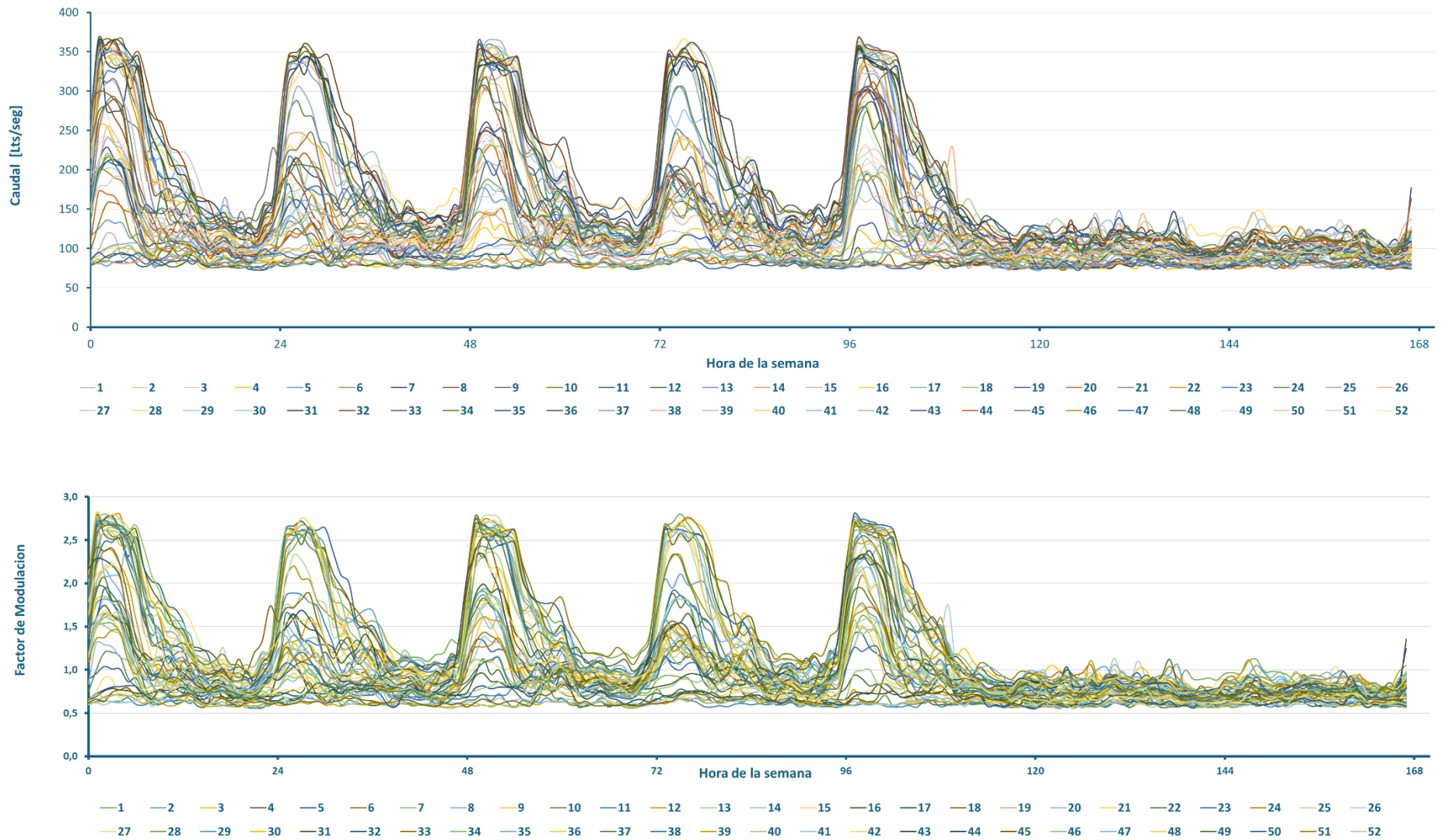
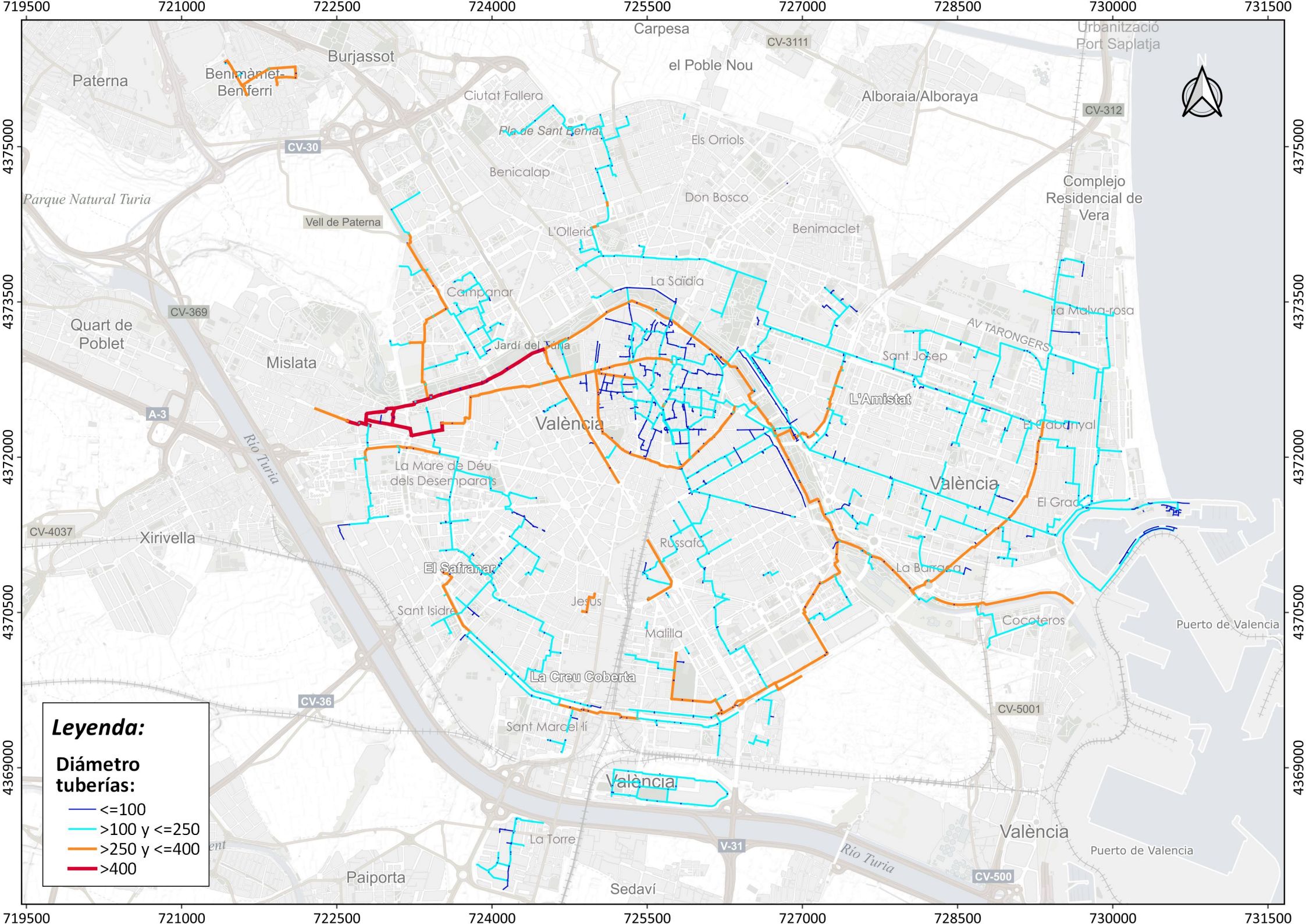


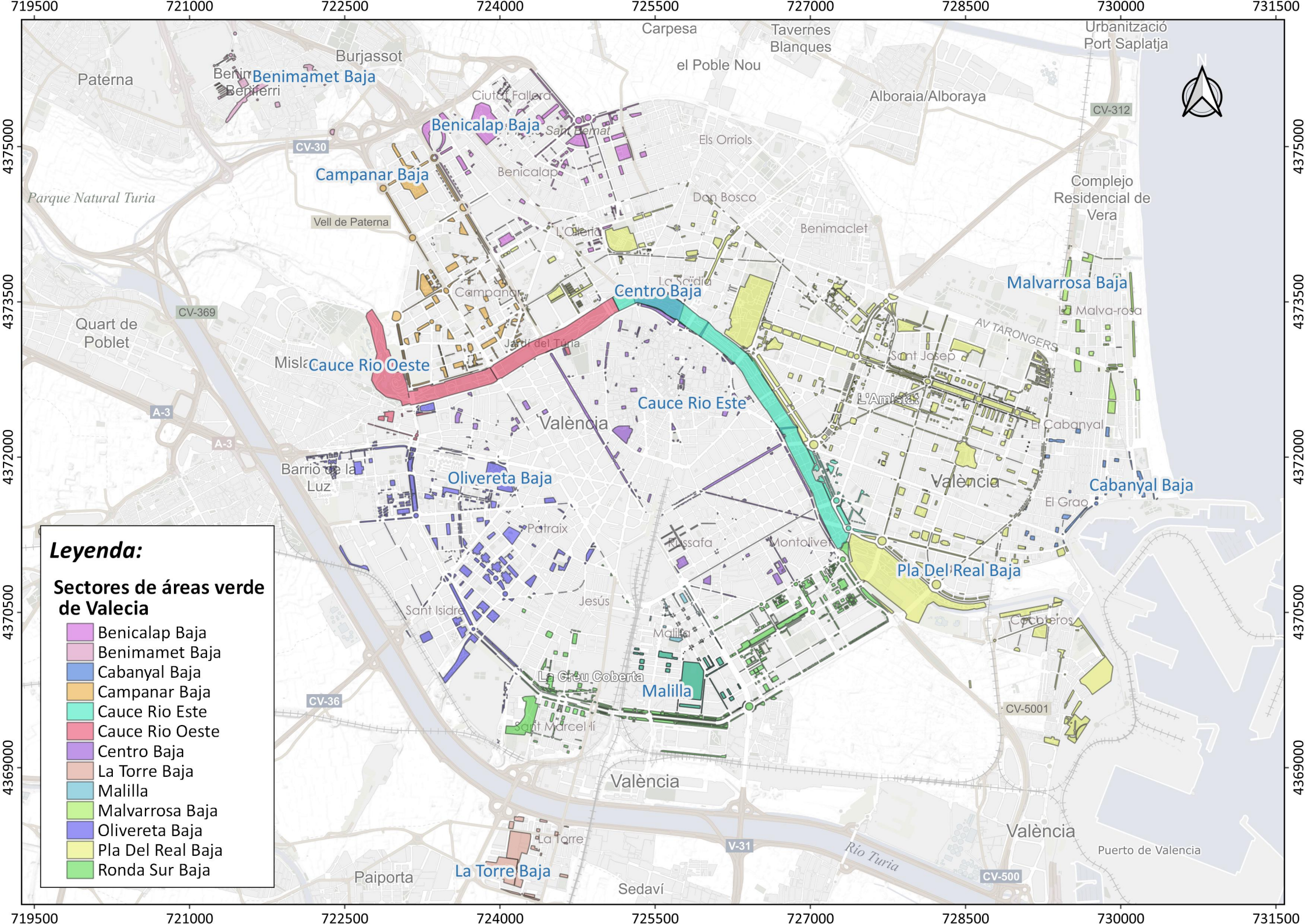
Figura 99: Caudales y coeficientes de modulación de la red Completa en un periodo de tiempo semanal, considerando las 52 semanas del año.



Leyenda:

Diámetro tuberías:

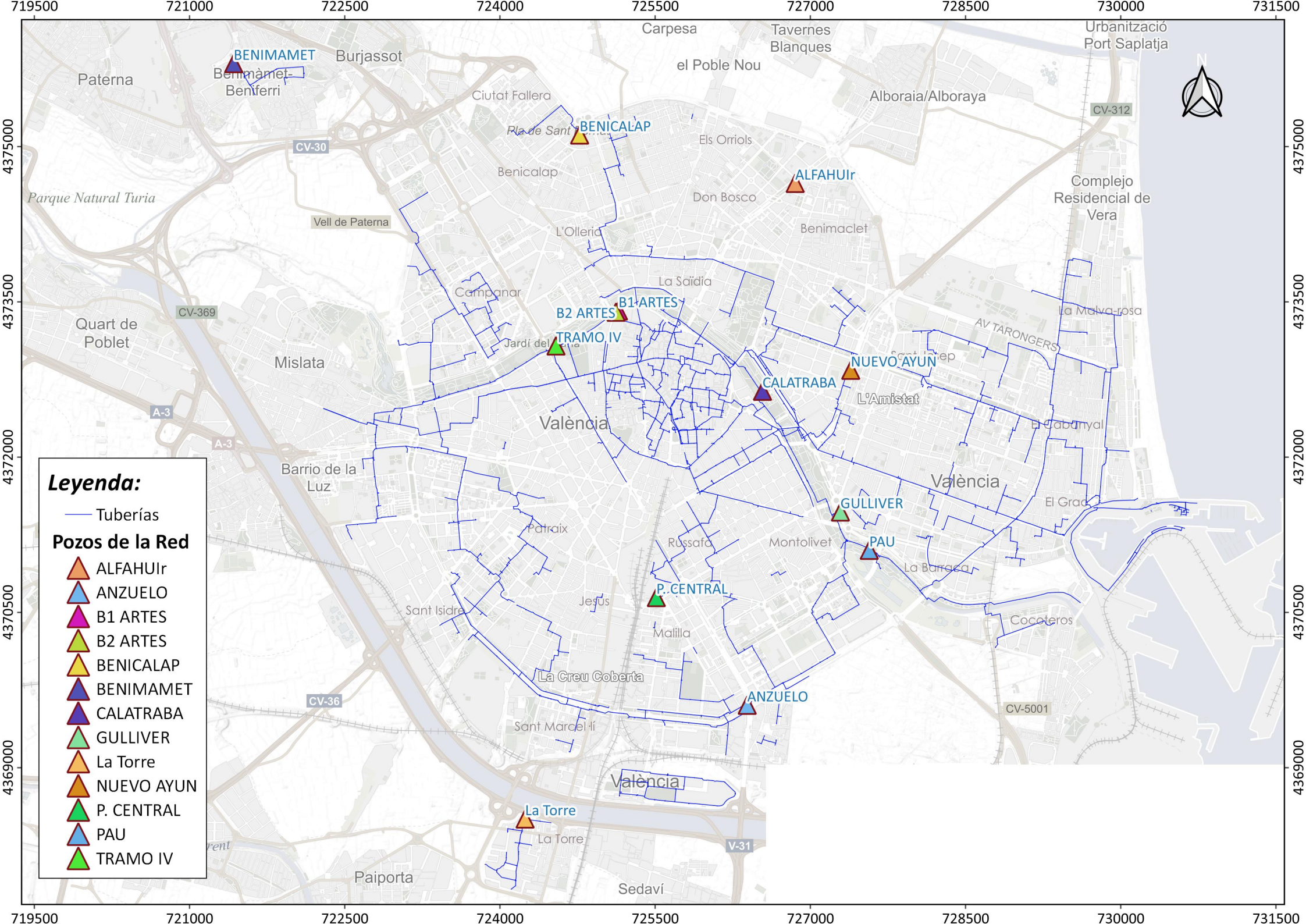
- Blue line: ≤ 100
- Cyan line: > 100 y ≤ 250
- Orange line: > 250 y ≤ 400
- Red line: > 400



Leyenda:

Sectores de áreas verde de Valencia

- Benicalap Baja
- Benimamet Baja
- Cabanyal Baja
- Campanar Baja
- Cauce Rio Este
- Cauce Rio Oeste
- Centro Baja
- La Torre Baja
- Malilla
- Malvarrosa Baja
- Olivereta Baja
- Pla Del Real Baja
- Ronda Sur Baja

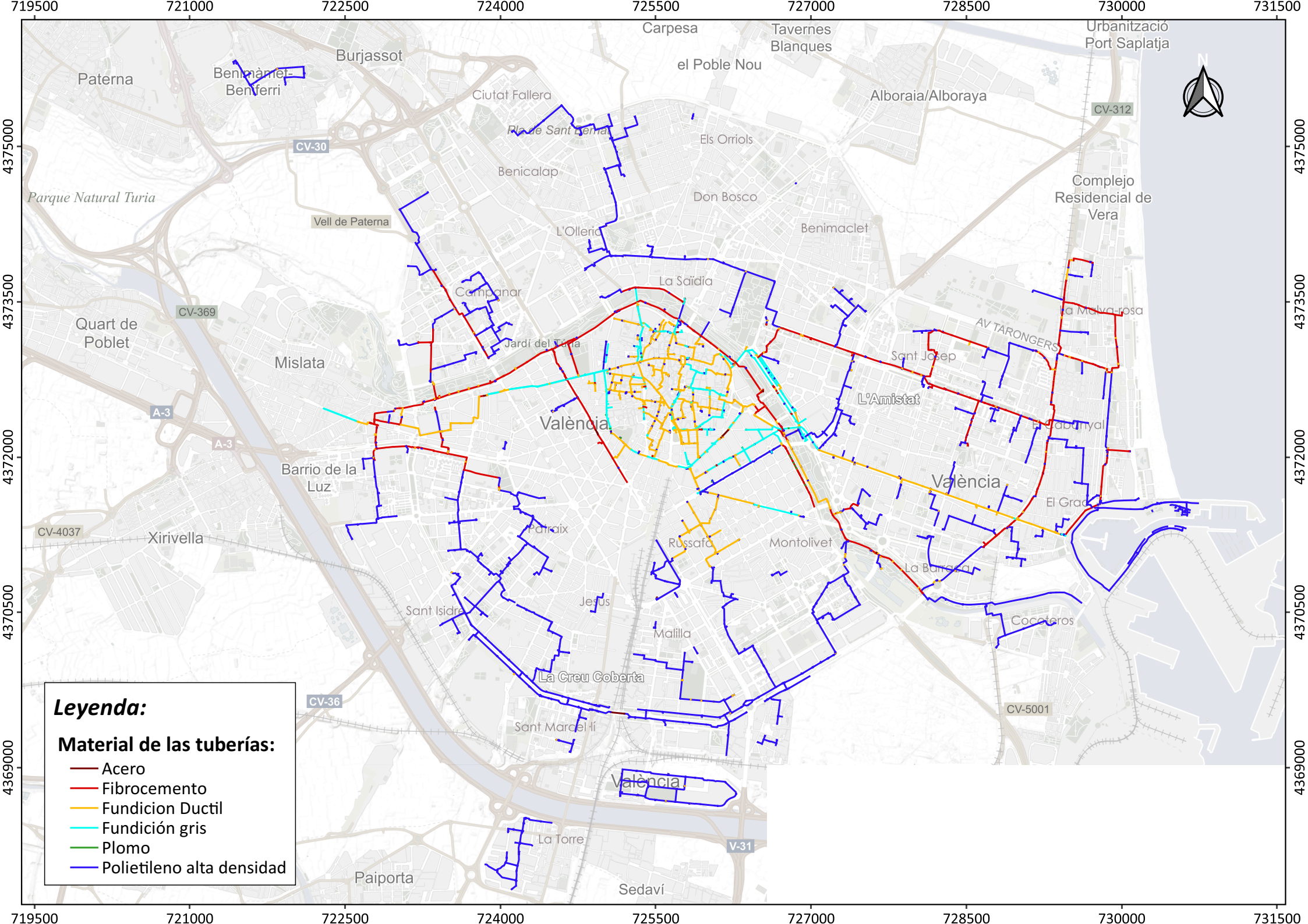


Leyenda:

- Tuberías

Pozos de la Red

- ▲ ALFAHUir
- ▲ ANZUELO
- ▲ B1 ARTES
- ▲ B2 ARTES
- ▲ BENICALAP
- ▲ BENIMAMET
- ▲ CALATRABA
- ▲ GULLIVER
- ▲ La Torre
- ▲ NUEVO AYUN
- ▲ P. CENTRAL
- ▲ PAU
- ▲ TRAMO IV



Leyenda:

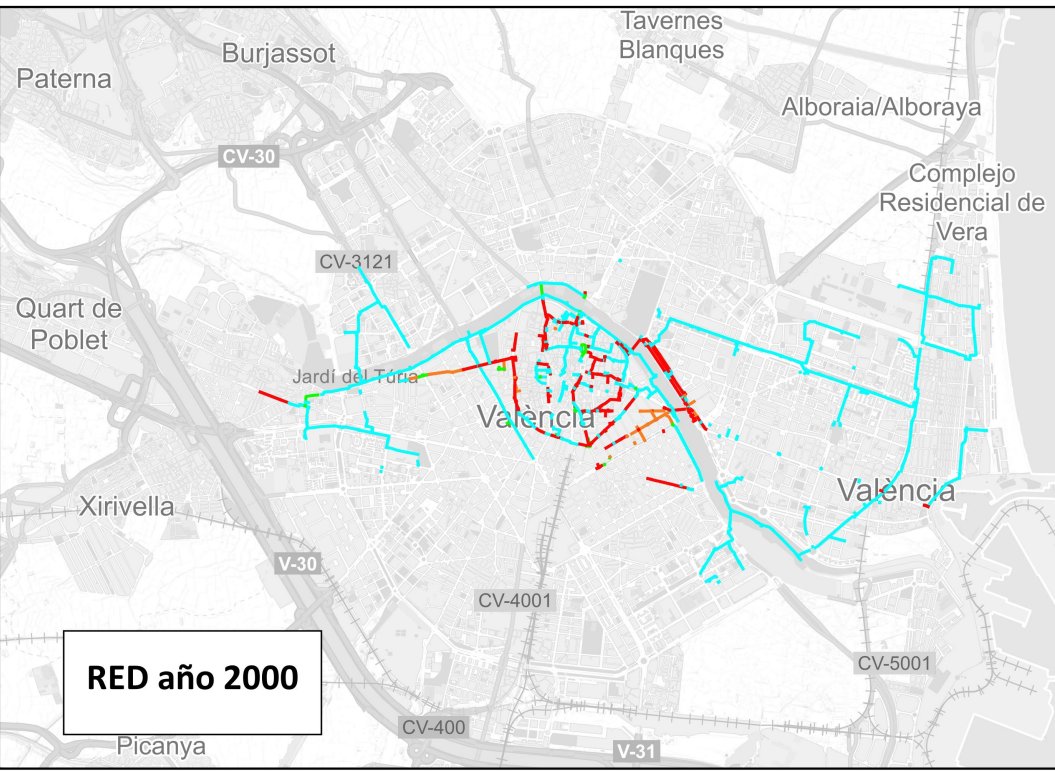
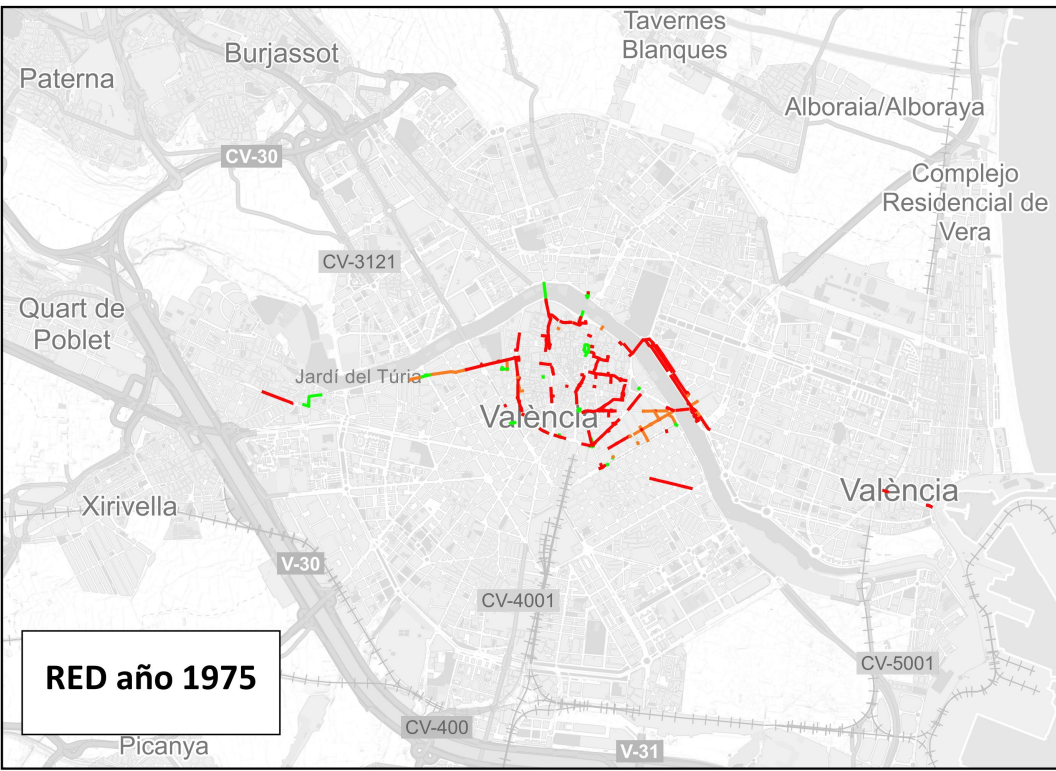
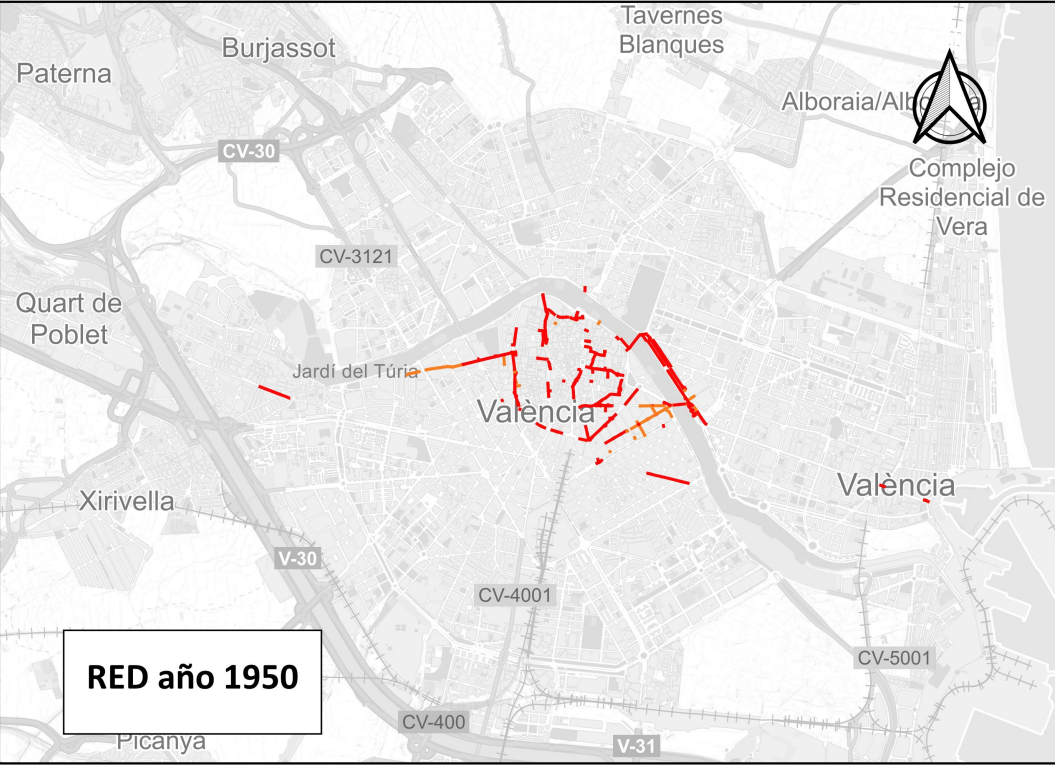
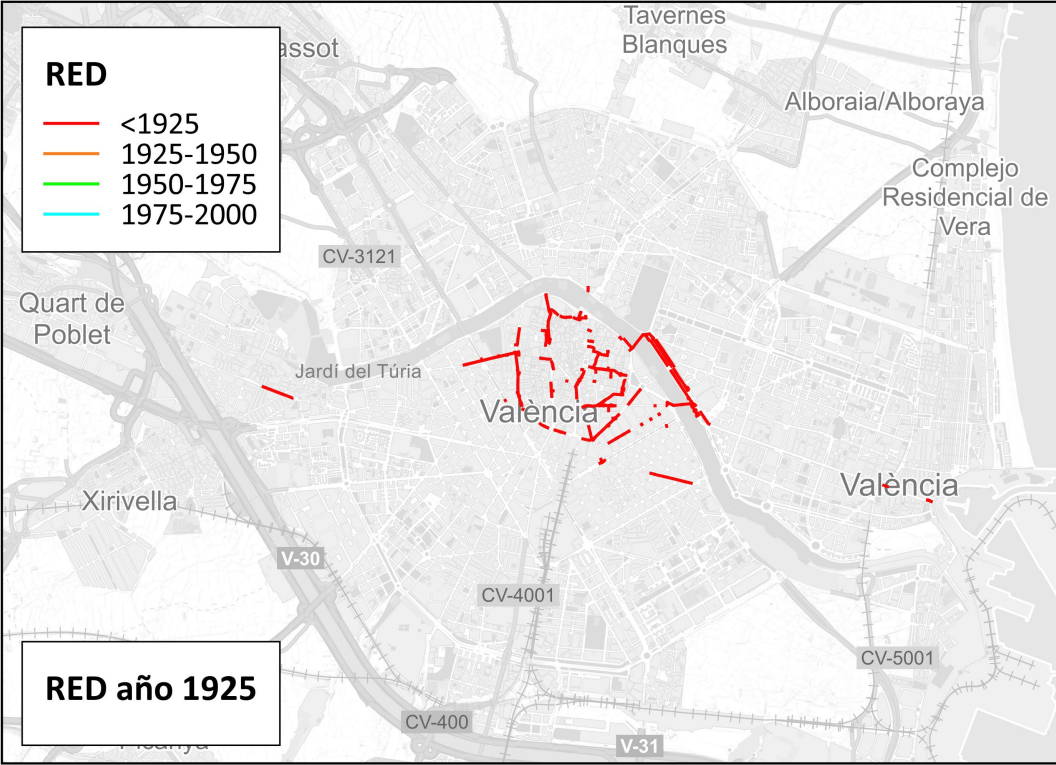
Material de las tuberías:

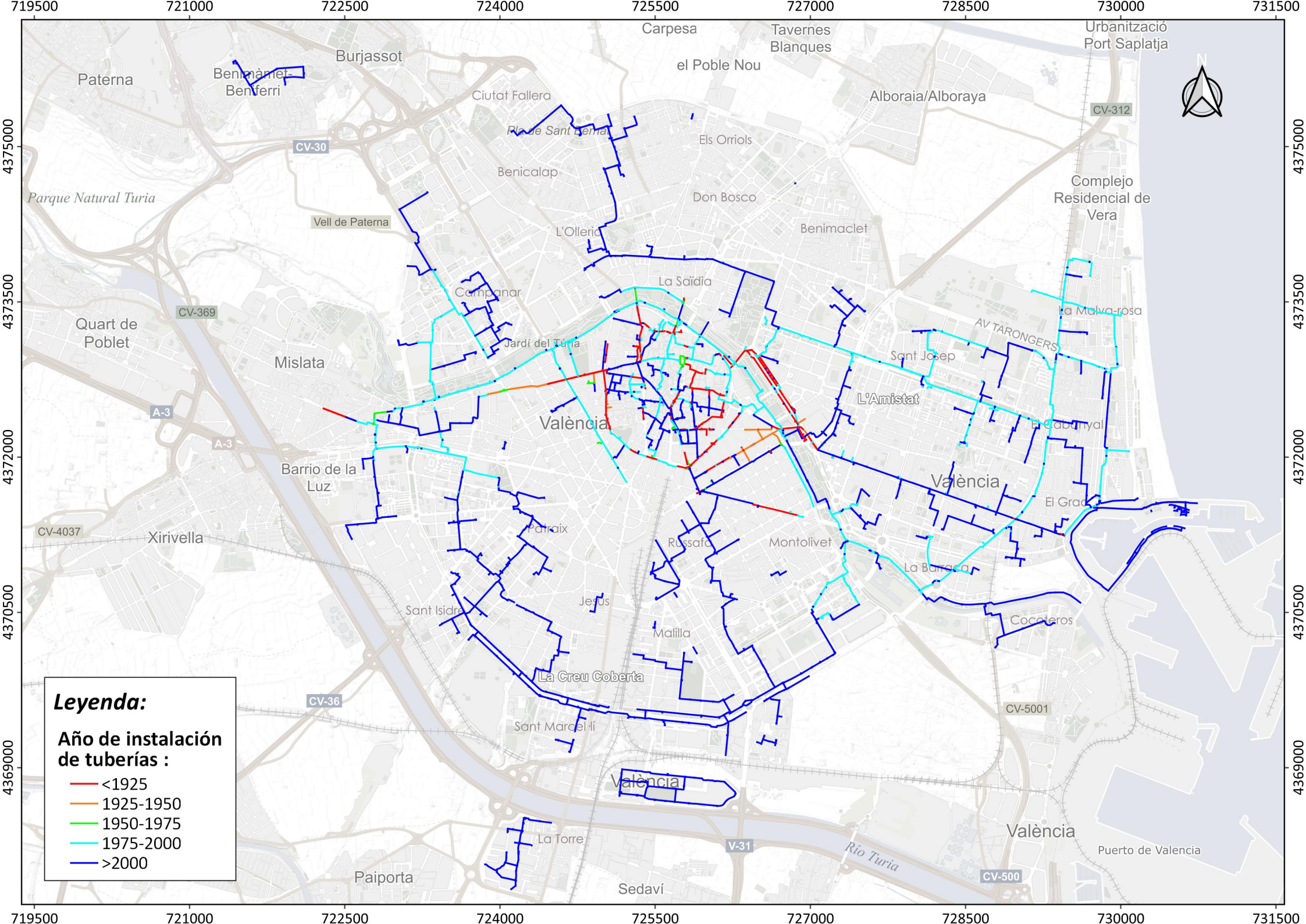
- Acero
- Fibrocemento
- Fundicion Ductil
- Fundición gris
- Plomo
- Polietileno alta densidad

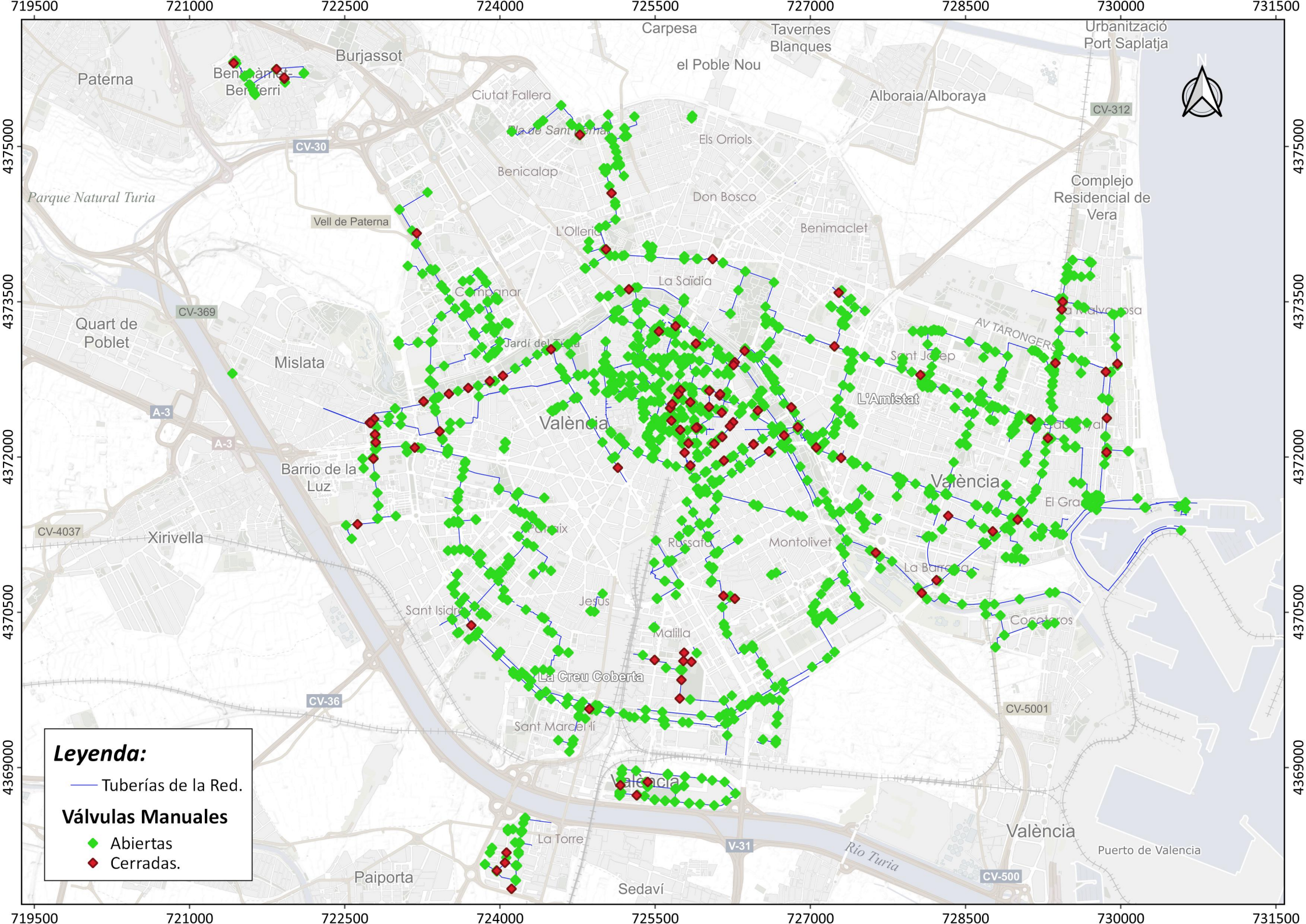


RED

- <1925
- 1925-1950
- 1950-1975
- 1975-2000

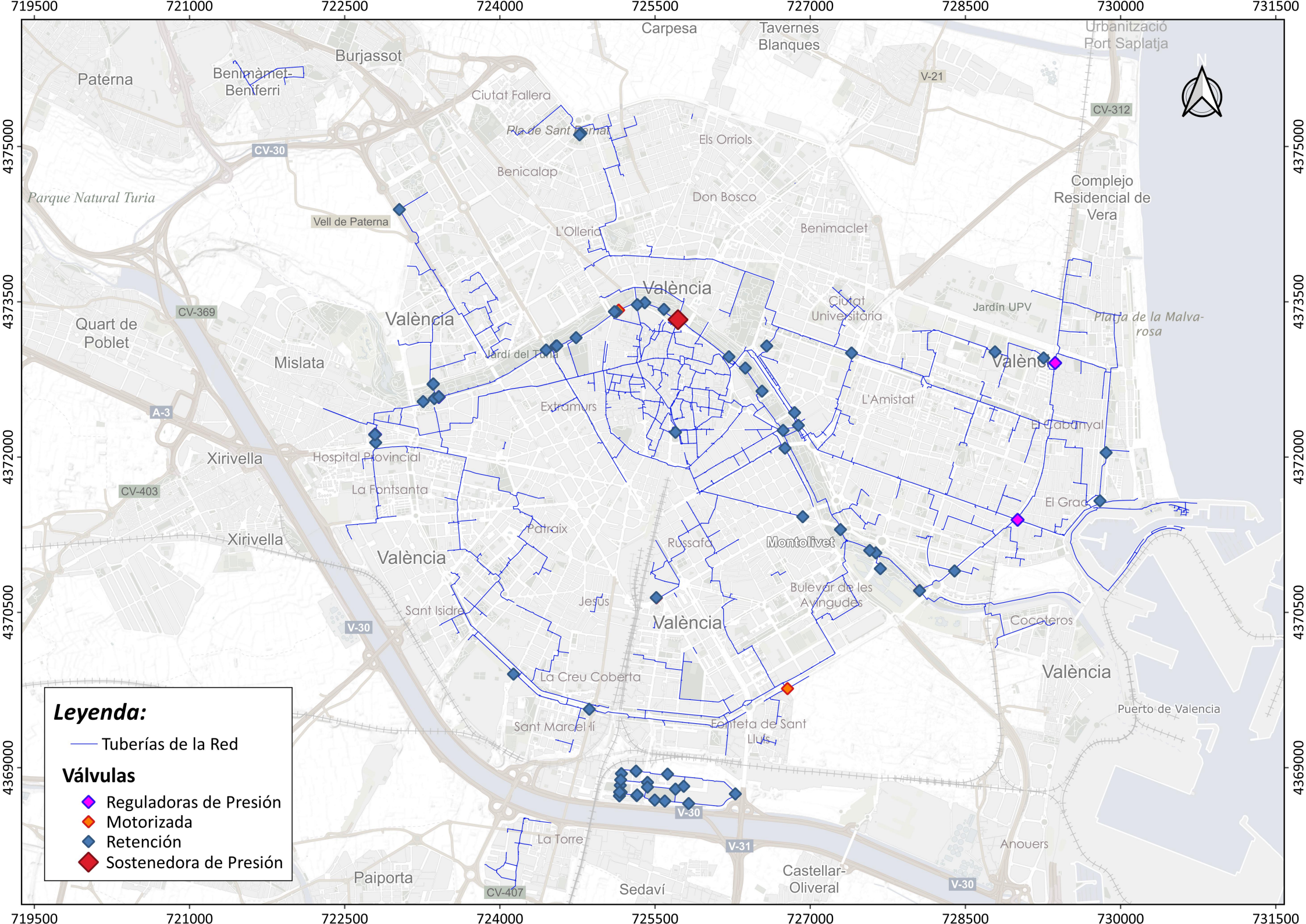




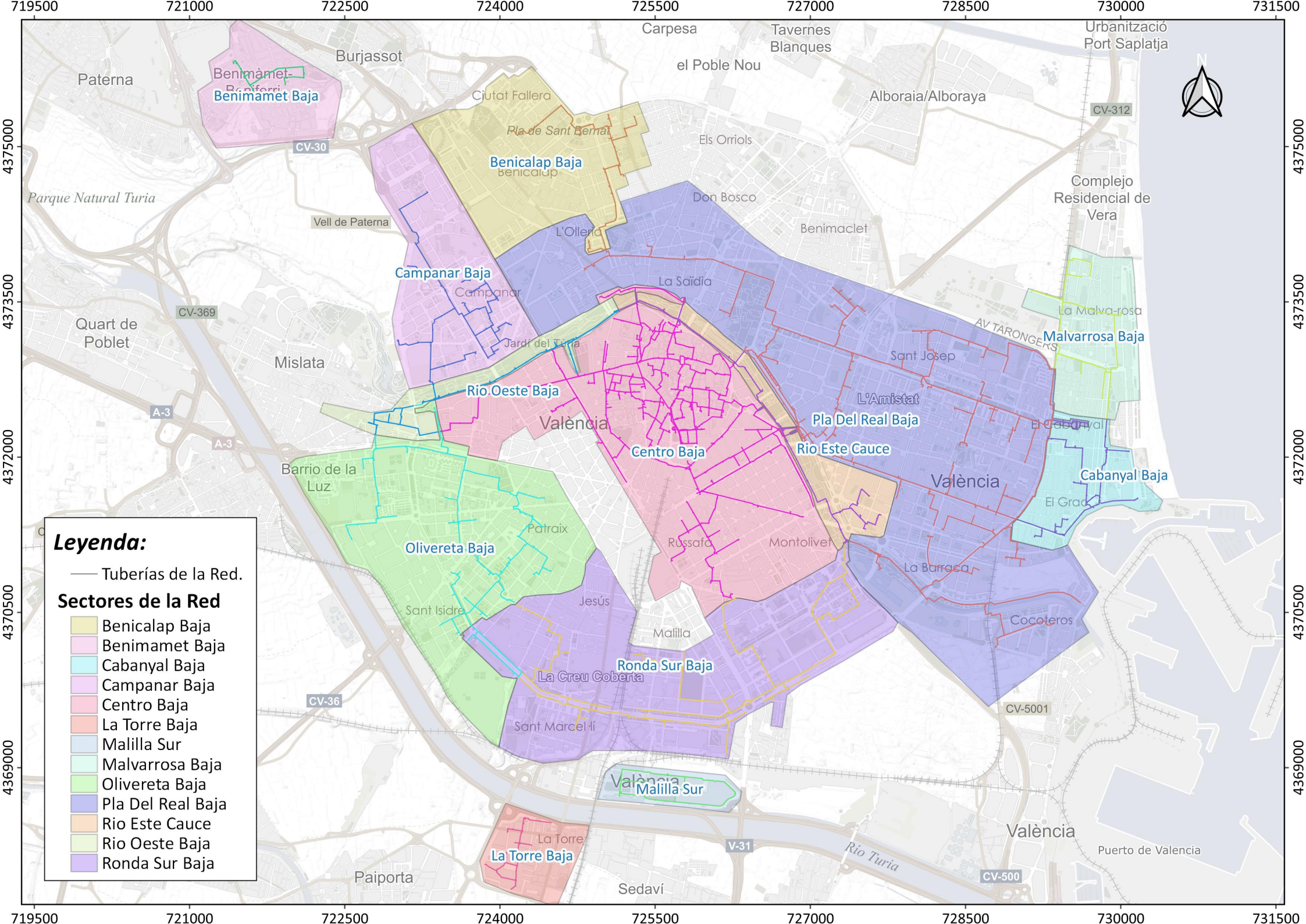


Leyenda:

- Tuberías de la Red.
- Válvulas Manuales**
 - ◆ Abiertas
 - ◆ Cerradas.

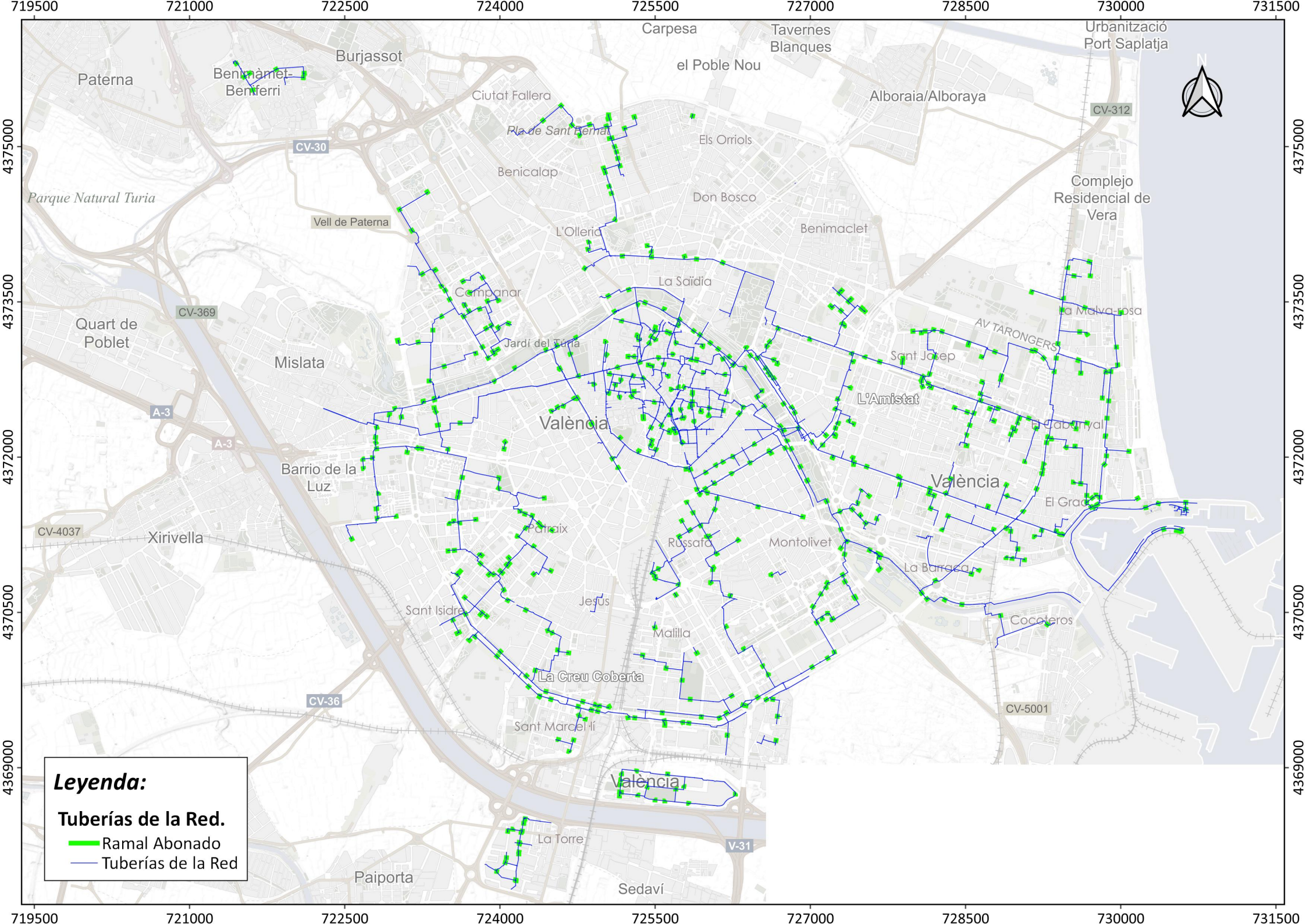






Leyenda:

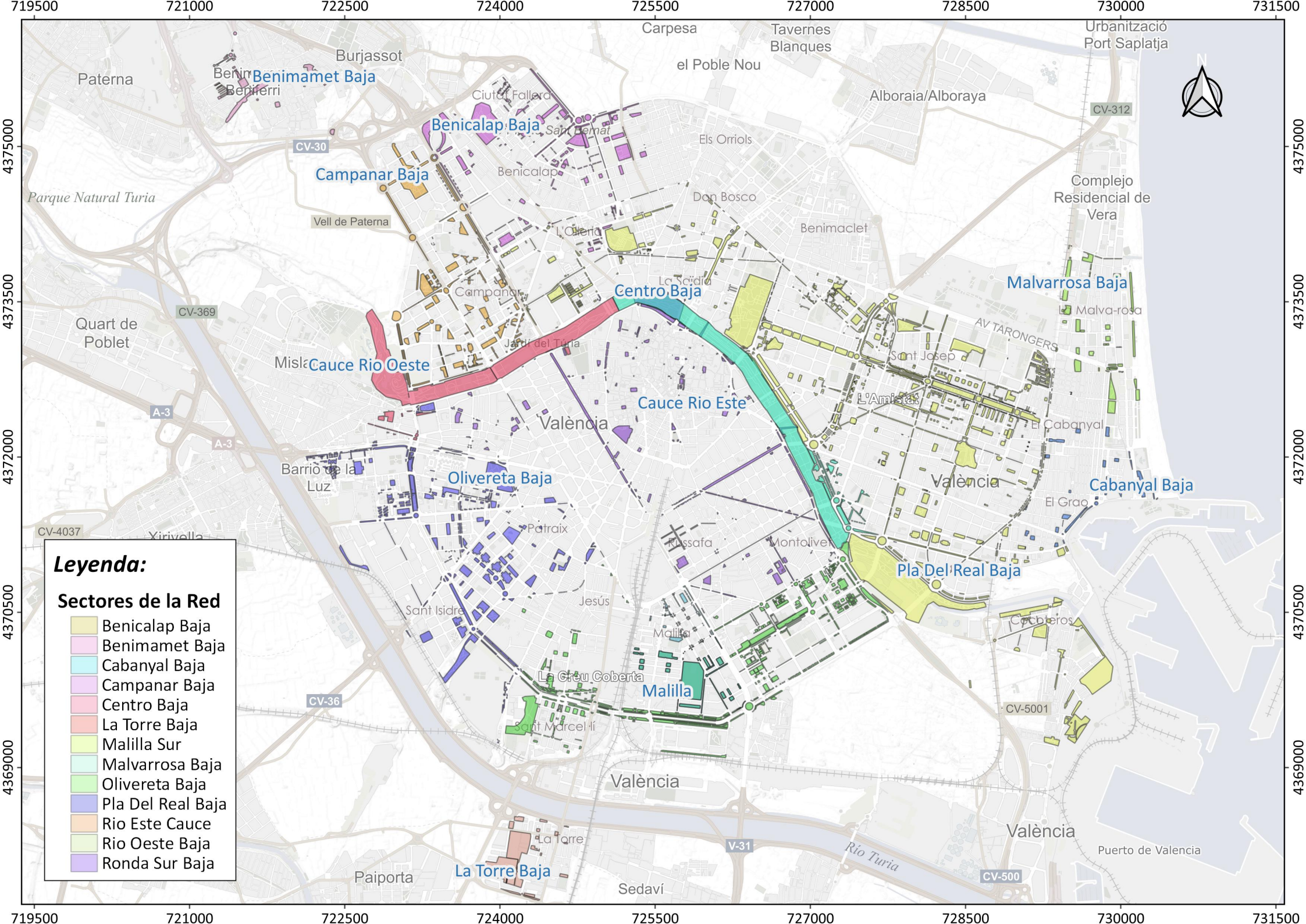
- Tuberías de la Red.
- Sectores de la Red**
- Benicalap Baja
- Benimamet Baja
- Cabanyal Baja
- Campanar Baja
- Centro Baja
- La Torre Baja
- Malilla Sur
- Malvarrosa Baja
- Olivereta Baja
- Pla Del Real Baja
- Rio Este Cauce
- Rio Oeste Baja
- Ronda Sur Baja



Legenda:

Tuberías de la Red.

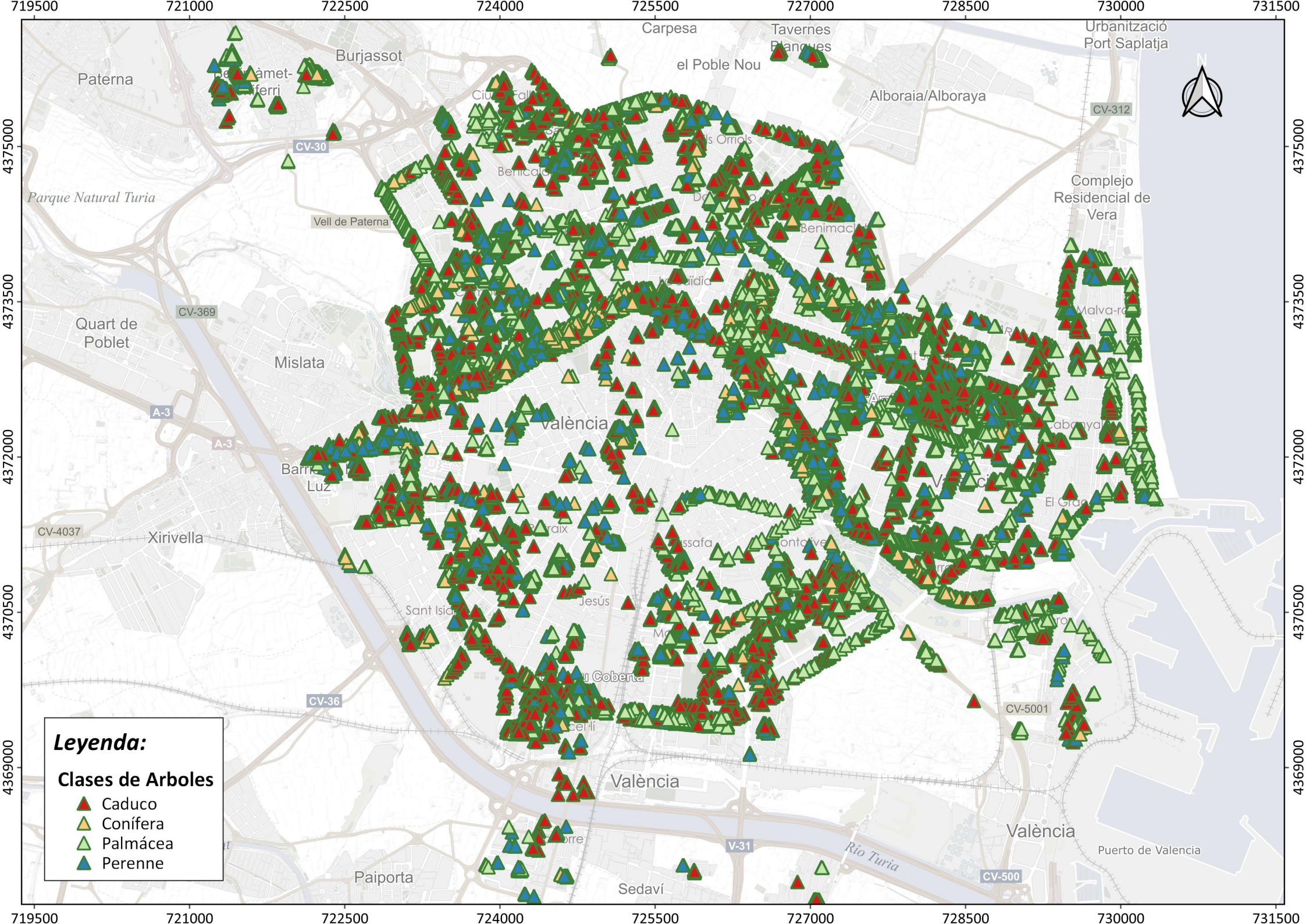
- Ramal Abonado
- Tuberías de la Red



Leyenda:

Sectores de la Red

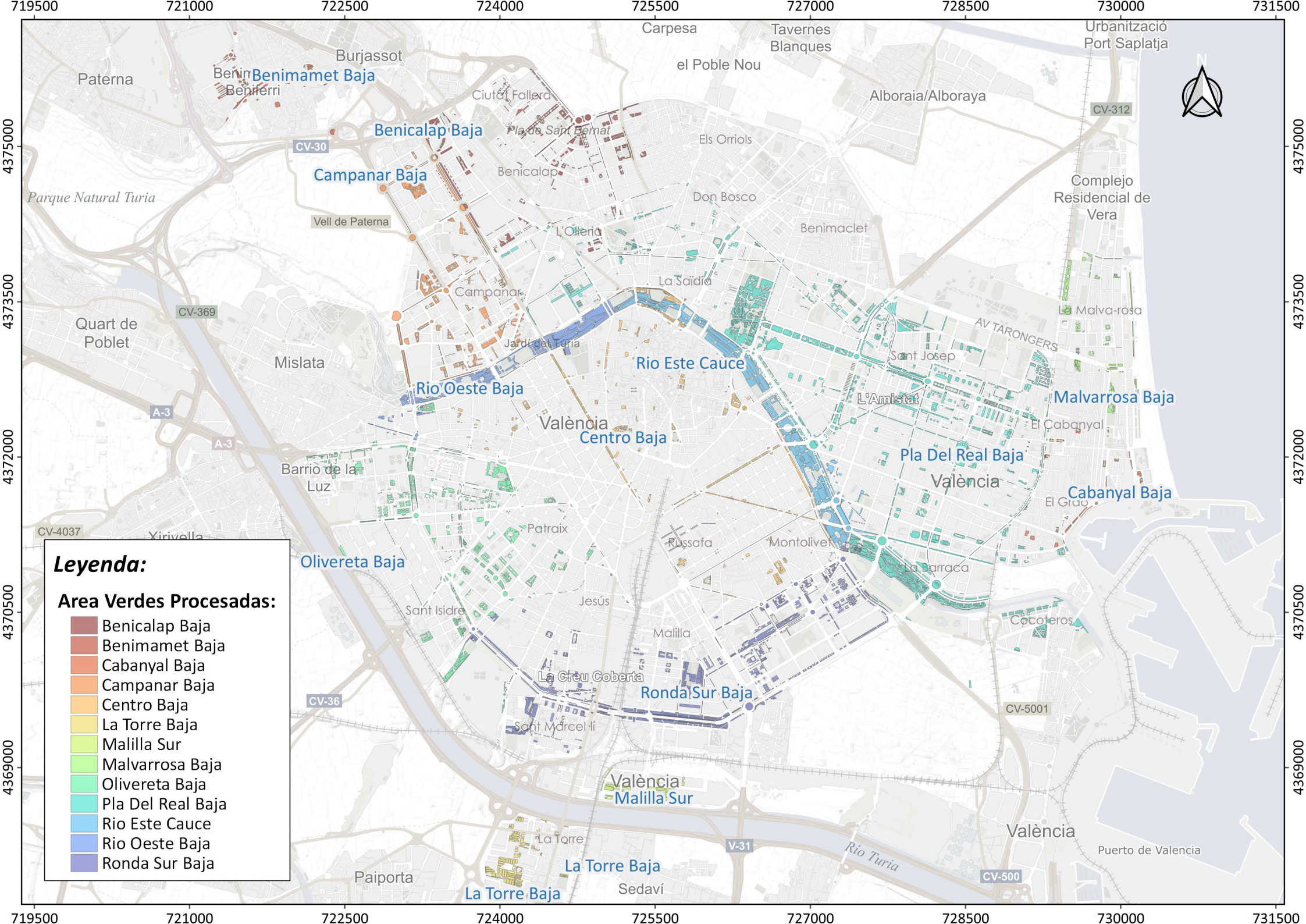
- Benicalap Baja
- Benimamet Baja
- Cabanyal Baja
- Campanar Baja
- Centro Baja
- La Torre Baja
- Malilla Sur
- Malvarrosa Baja
- Olivereta Baja
- Pla Del Real Baja
- Rio Este Cauce
- Rio Oeste Baja
- Ronda Sur Baja



Leyenda:

Clases de Arboles

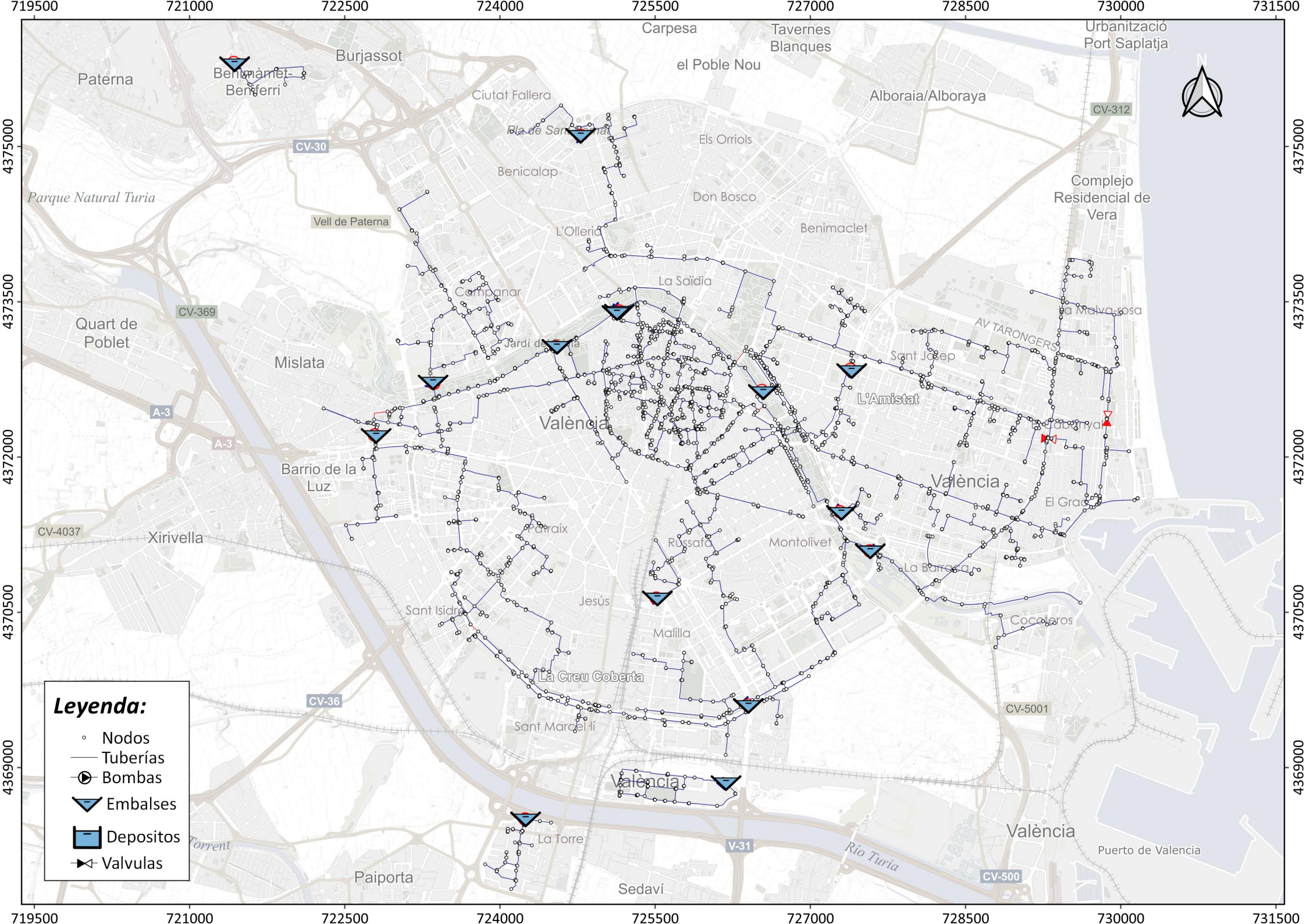
- ▲ Caduco
- ▲ Conífera
- ▲ Palmácea
- ▲ Perenne



Leyenda:

Area Verdes Procesadas:

- Benicalap Baja
- Benimamet Baja
- Cabanyal Baja
- Campanar Baja
- Centro Baja
- La Torre Baja
- Malilla Sur
- Malvarrosa Baja
- Olivereta Baja
- Pla Del Real Baja
- Rio Este Cauce
- Rio Oeste Baja
- Ronda Sur Baja
- La Torre Baja



Leyenda:

- Nodos
- Tuberías
- Bombas
- ▼ Embalses
- ▭ Depositos
- ▶ Valvulas

Leyenda:

- Tuberías de la Red
- Val_Cerradas_Sectores

Caudalímetros

- Benimamet
- P. Artes
- Av. del Puerto
- Benicalap
- Bolevar Sur
- CACSA
- Campanar
- Luis Peixo
- Oliveta
- P. Aragon
- P. del Real
- Plaza America
- Beato Gaspar
- Campana 2
- Centro 1
- Centro 2
- Luis Marca
- Pl. Sainetero
- Rincón De Ademu
- S. San Miguel

Sectores_Red_Baja_V02

- Benicalap Baja
- Benimamet Baja
- Cabanyal Baja
- Campanar Baja
- Centro Baja
- La Torre Baja
- Malilla Sur
- Malvarrosa Baja
- Olivereta Baja
- Pla Del Real Baja
- Rio Este Cauce
- Rio Oeste Baja
- Ronda Sur Baja

