

**GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA**

**MINISTERIO DE SERVICIOS PÚBLICOS**

**SECRETARÍA DE SERVICIOS PÚBLICOS**

**PROVISIÓN DE AGUA POTABLE**

**MEMORIA DE CÁLCULO**

**OBRA: AMPLIACION DE LA OBRA BASICA DE  
PROVISION DE AGUA POTABLE Y MEJORAMIENTO  
DE LAS REDES DE DISTRIBUCION DE LA  
LOCALIDAD DE QUILINO**

- CIUDAD DE CÓRDOBA -

- NOVIEMBRE 2022 -

## CONTENIDO

<b>1. ESTUDIO DE POBLACIÓN .....</b>	<b>2</b>
1.1 Horizonte de Diseño y antecedentes .....	2
1.2 Proyección Población de Quilino .....	2
1.2.1 <i>Método de la Tasa Geométrica Constante</i> .....	2
1.2.2 <i>Ajuste Lineal Tendencia Histórica</i> .....	5
1.2.3 <i>Método de la Relación-Tendencia</i> .....	7
1.2.4 <i>Resumen de los resultados obtenidos</i> .....	12
1.3 Proyección Población de villa Quilino .....	13
1.3.1 <i>Método de la Tasa Geométrica Constante</i> .....	13
1.3.2 <i>Ajuste Lineal Tendencia Histórica</i> .....	16
1.3.3 <i>Método de la Relación-Tendencia</i> .....	18
1.3.4 <i>Resumen de los resultados obtenidos</i> .....	23
<b>2 ESTUDIO DE CAUDALES.....</b>	<b>24</b>
2.1 Dotación de Diseño .....	24
2.2 Caudal de Diseño.....	25
<b>3 MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE AGUA DE QUILINO .....</b>	<b>26</b>
3.1 Herramientas computacionales utilizadas .....	26
3.2 Procedimiento de cálculo .....	27
3.3 Escenarios De Modelación Del Sistema de Provisión de Agua .....	30
3.4 Resultados de Simulación Hidráulica .....	33
3.4.1 <i>Presiones del sistema</i> .....	33
3.4.2 <i>Velocidades de trabajo</i> .....	39
<b>4 MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE AGUA DE VILLA QUILINO .....</b>	<b>42</b>
4.1 Escenarios De Modelación Del Sistema de Provisión de Agua .....	43
4.2 Resultados de Simulación Hidráulica .....	44
4.2.1 <i>Presiones del sistema</i> .....	44
4.2.2 <i>Velocidades de trabajo</i> .....	44

## 1. ESTUDIO DE POBLACIÓN

### 1.1 HORIZONTE DE DISEÑO Y ANTECEDENTES

Se adoptó como población inicial la correspondiente a la fecha prevista para la habilitación de las obras. Esta fecha fue el año 2025, por lo que el período de diseño se extenderá hasta el año 2045.

Las proyecciones poblacionales de la localidad de Quilino y de Villa de Quilino se realizaron a partir de los últimos dos Censos Nacionales (2021 y 2010) y del padrón electoral del año 2019. Estos valores fueron extraídos de la página oficial del INDEC (INDEC, Portal Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) y de la página oficial de la Municipalidad de Córdoba, a la fecha de elaboración del presente estudio para las localidades arriba mencionadas.

La cantidad de habitantes en cada periodo se puede observar en las tablas siguientes:

*Tabla 1: Poblaciones Censadas*

Año	2001	2010	2019
Argentina	36260130	40117096	43273250
Córdoba	3066801	3308876	3508479
Ischilín	30105	31312	32291
Quilino	3644	4259	6846
Villa Quilino	890	1003	1834

### 1.2 PROYECCIÓN POBLACIÓN DE QUILINO

#### 1.2.1 Método de la Tasa Geométrica Constante

Un crecimiento de la población en forma geométrica supone que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo, pero en número absoluto, las personas aumentan en forma creciente. Si la población está disminuyendo, lo hará también a una tasa constante, pero el número absoluto irá disminuyendo.

El crecimiento geométrico se puede expresar, respectivamente, como sigue:

$$P_t = P_0(1 + i)^n$$

Donde,  $P_t$  es la población en el momento  $t$ ,  $P_0$  es la población en el momento 0,  $i$  es la tasa de crecimiento,  $n$  es el periodo de tiempo ( $t-0$ ).

Para proyectar la población a partir de una curva geométrica, se requiere contar al menos con la población en dos momentos en el tiempo.

La tasa media anual para la proyección de la población se define en base al análisis de las tasas medias anuales de los dos últimos períodos intercensales.

Se determinan las tasas medias anuales de variación poblacional de los dos últimos períodos intercensales (basándose en datos oficiales de los tres últimos censos de población y vivienda):

$$i_I = \sqrt[n_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \quad i_{II} = \sqrt[n_2]{\frac{P_3}{P_2}} - 1$$

Donde:

$i_I$  = tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal.

$i_{II}$  = tasa media anual de variación de la población del último período censal.

$P_1$  = Número de habitantes correspondientes al primer Censo en estudio.

$P_2$  = Número de habitantes correspondientes al penúltimo Censo en estudio.

$P_3$  = Número de habitantes correspondientes al último Censo.

$n_1$  = número de años del período censal entre el primero y segundo Censo.

$n_2$  = número de años del período censal entre el segundo y el último Censo.

Teniendo en cuenta las poblaciones mencionadas en Tabla 1 y el número de años entre censos:

$$n_1 = 9 \text{ años}$$

$$n_2 = 9 \text{ años}$$

Tasas medias anuales de variación de la población:

$$i_I = 0.017479047$$

$$i_{II} = 0.054152033$$

Se adopta aquella tasa que resulte más consistente en función de la tendencia que presente el crecimiento de la población.

$$P_a = P_3 \cdot (1 + i)^{n_a}$$

$$P_0 = P_a \cdot (1 + i)^{n_0}$$

$$P_{n/2} = P_0 \cdot (1 + i)^{n/2}$$

$$P_n = P_0 \cdot (1 + i)^n$$

Siendo:

$P_a$  = estimaciones de población existente a la fecha de ejecución del proyecto.

$P_0$  = estimaciones de población al año previsto para la habilitación del sistema.

$P_n$  = estimaciones de población al año "n".

$i$  = Tasa media anual de proyección.

$n_a$  = número de años transcurridos entre el último censo y la fecha de ejecución del proyecto.

$n_0$  = número de años transcurridos entre la fecha de ejecución del proyecto y la habilitación del sistema.

$n$  = número de años transcurridos entre la población base y el año inicial de proyección.

Fecha de ejecución del proyecto = 2022

Fecha de habilitación del proyecto = 2025

Años de proyección del diseño = 20

Se realizará un promedio ponderado de las tasas medias anuales de los últimos periodos intercensales, dándole mayor probabilidad a la tasa del último periodo anual, para la determinación de la tasa de proyección.

Luego:

$$i = 0.041927704$$

$$n_a = 3 \text{ años}$$

$$P_a = 7744 \text{ hab.}$$

$$n_0 = 3 \text{ años}$$

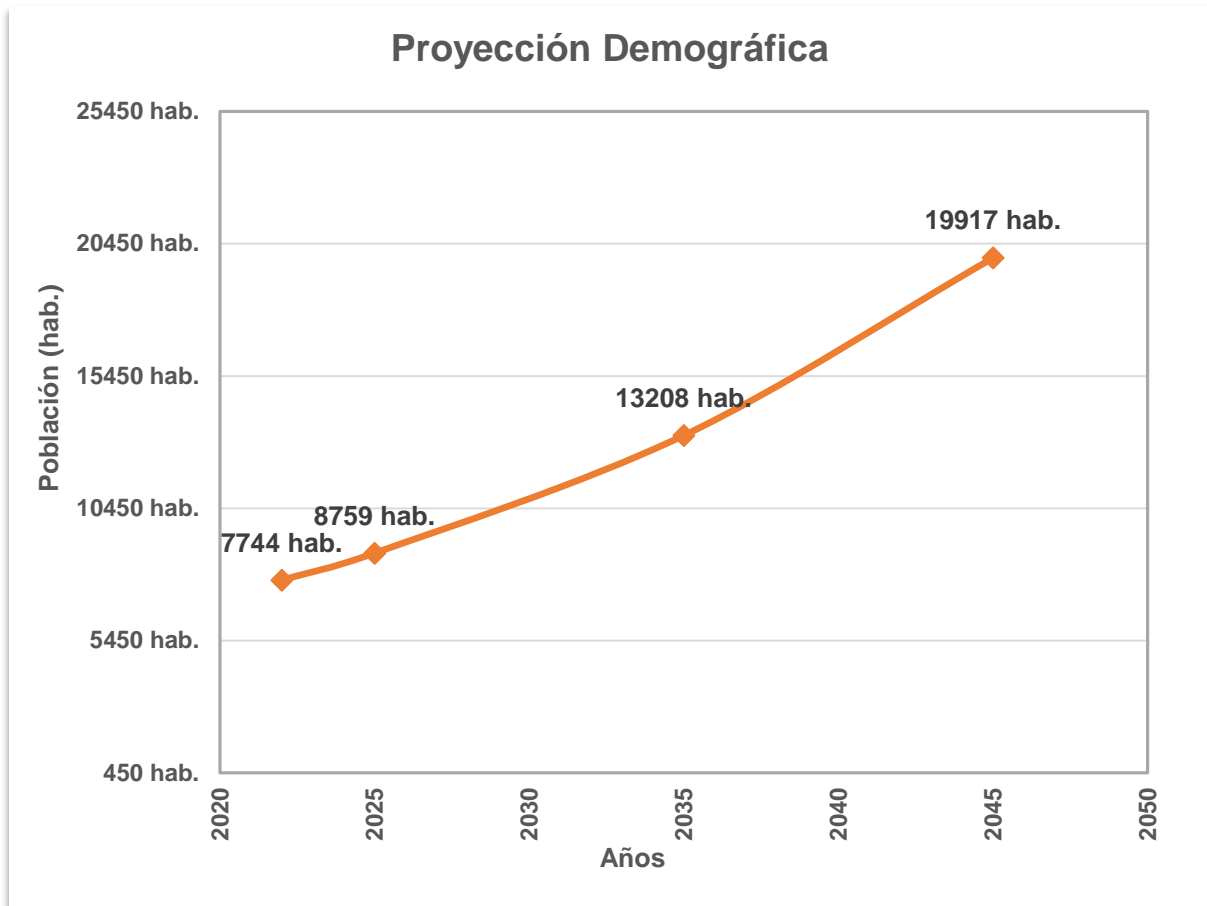
$$P_0 = 8759 \text{ hab.}$$

$$n = 10 \text{ años}$$

$$P_{n/2} = 13208 \text{ hab.}$$

$$n = 10 \text{ años}$$

$$P_n = 19917 \text{ hab.}$$



## 1.2.2 Ajuste Lineal Tendencia Histórica

La proyección demográfica de la localidad se efectúa aplicando la recta de ajuste que se obtiene de la regresión lineal de los valores de población total registrados por la localidad en los últimos tres censos.

Si  $Y_i^* = a + b \cdot X_i$  calculamos las constantes  $a$  y  $b$  aplicando el método de mínimos cuadrados.

Si  $\phi = \sum (Y_i - Y_i^*)^2$  buscamos que  $\phi = \sum e_i^2 = \text{mínimo}$

Operando  $\phi = \sum (Y_i - a - bX_i)^2$

Igualando a cero y derivando obtenemos el mínimo:

$$\frac{\partial \phi}{\partial a} = 2 \cdot \sum (Y_i - a - b \cdot X_i) = 0$$

$$Y_i = n \cdot a + b \cdot X_i$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial b} = 2 \cdot \sum (Y_i - a - b \cdot X_i) \cdot X_i = 0$$

$$\sum X_i \cdot Y_i = a \cdot \sum X_i + b \cdot \sum X_i^2$$

Finalmente despejando:

$$a = \frac{\sum Y_i}{n} - \frac{b \sum X_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

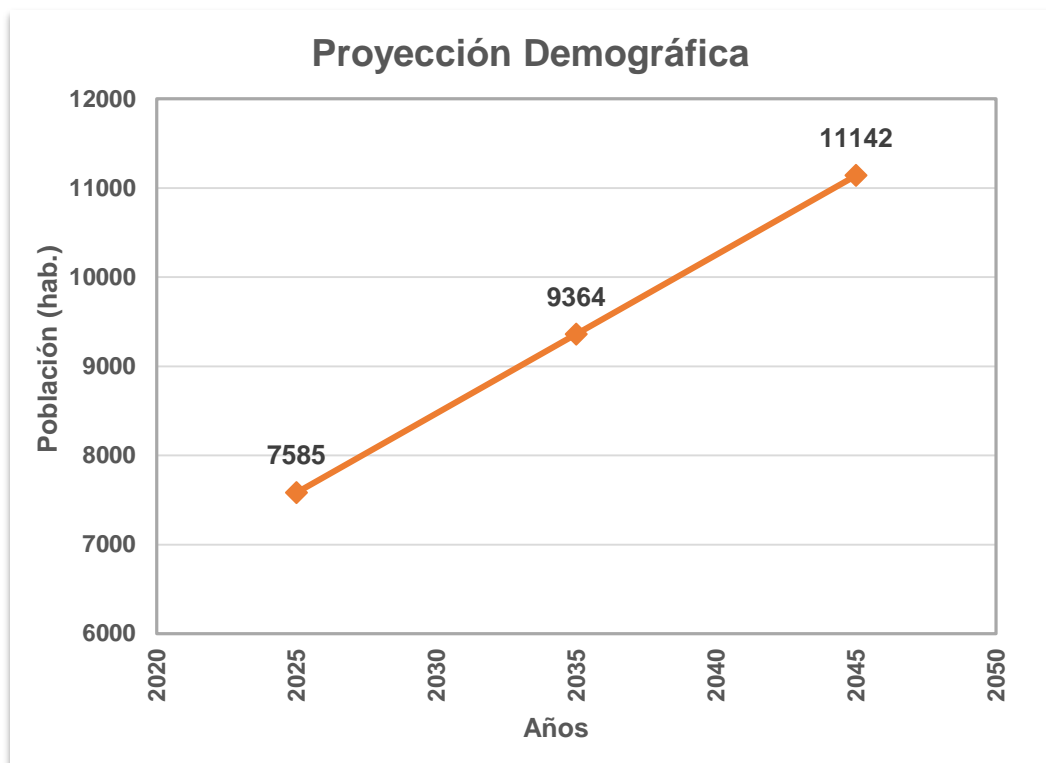
Para el cálculo se realiza la siguiente tabla:

n	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	2001	3,644	4004001	7291644	13278736
2	2010	4,259	4040100	8560590	18139081
3	2019	6,846	4076361	13822074	46867716
Σ	6030	14749	12120462	29674308	78285533

**a** = -352640

**b** = 177.8889

Año	Población
2025	7585
2035	9364
2045	11142



### 1.2.3 Método de la Relación-Tendencia

El método se basa en el análisis de las relaciones entre la población total del país, la total de la provincia, el partido o departamento y la localidad y en las tendencias de evolución que presentan las mismas.

Para proyectar la población de la provincia entre el año cero y el final del período de diseño se siguen los pasos que a continuación se detallan:

- 1) Se obtienen los valores de población total del país resultantes de los últimos censos nacionales, del padrón electoral 2019 y de la proyección oficial para las siguientes tres décadas. En todos los casos, se deben utilizar las proyecciones efectuadas por el INDEC:

Años Censales	Población Total País	
2001	$P_{T1} =$	<b>36260130</b> hab. antepenúltimo censo
2010	$P_{T2} =$	<b>40117096</b> hab. penúltimo censo
2019	$P_{T3} =$	<b>43273250</b> hab. padrón electoral

Las poblaciones del país  $P_{T0}$ ;  $P_{Tn1}$  y  $P_{Tn2}$  pueden extraerse de la publicación Estimaciones y Proyecciones de Población Total del País (versión revisada), INDEC – CELADE, serie de Análisis Demográfico N° 5, Buenos Aires, 1995. En dicha publicación se considera la población al 30 de Junio de cada año y se encuentran valores desde el año 1950 al 2050.

Estimaciones y Proyecciones de población Total País (INDEC)	$P_{T0} =$	<b>47473760</b>	Año 2025
	$P_{Tn1} =$	<b>51177087</b>	Año 2035
	$P_{Tn2} =$	<b>54260264</b>	Año 2045

Siendo:

$P_{T1}$  = población del país según el antepenúltimo censo nacional

$P_{T2}$  = población del país según el penúltimo censo nacional

$P_{T3}$  = población del país según padrón electoral 2019

$P_{T0}$  = población del país proyectada al año inicial del período de diseño ( $n = 0$ )

$P_{Tn1}$  = población del país proyectada al año  $n1$  del período de diseño

$P_{Tn2}$  = población del país proyectada al año  $n2$  del período de diseño

- 2) Se obtienen los valores de población total de la provincia, resultantes de los tres últimos censos nacionales y de la proyección oficial para las siguientes tres décadas.

Años Censales	Población Total Provincia	
2001	$p_1 =$	<b>3,066,801</b> hab. antepenúltimo censo



2010
2019

p <sub>2</sub> =	<b>3,308,876</b>	hab.	penúltimo censo
p <sub>3</sub> =	<b>3,508,479</b>	hab.	padrón electoral 2019

Siendo:

p<sub>1</sub> = población total de la provincia según el antepenúltimo censo nacional

p<sub>2</sub> = población total de la provincia según el penúltimo censo nacional

p<sub>3</sub> = población total de la provincia según el padrón electoral 2019

p<sub>0</sub> = población total de la provincia proyectada al año inicial del período de diseño (n = 0)

p<sub>n1</sub> = población total de la provincia proyectada al año n1 del período de diseño

p<sub>n2</sub> = población total de la provincia proyectada al año final n2 del período de diseño

3) Se relacionan los datos históricos de la provincia y del país para cada año, obteniéndose:

$$R_1 = \frac{p_1}{P_{T_1}} \quad R_2 = \frac{p_2}{P_{T_2}} \quad R_3 = \frac{p_3}{P_{T_3}}$$

$$R_1 = 0.084577772$$

$$R_2 = 0.082480447$$

$$R_3 = 0.081077317$$

4) Se extrae el logaritmo decimal de las relaciones R1, R2 y R3 y se determinan las siguientes relaciones, para los dos períodos intercensales históricos:

$$I_1 = \log R_2 - \log R_1 \text{ (para } n1 = \text{ años del 1}^\circ \text{ período intercensal)}$$

$$I_2 = \log R_3 - \log R_2 \text{ (para } n2 = \text{ años del 2}^\circ \text{ período intercensal)}$$

$$\log R_1 = -1.072743761$$

$$I_1 = -0.010905235$$

$$\log R_2 = -1.083648995$$

$$I_2 = -0.007451637$$

$$\log R_3 = -1.091100632$$

5) Se determina la relación provincia/país para el año inicial del período de diseño (n = 0), utilizando la siguiente expresión:

$$\log R_4 = \log R_3 + \frac{I_1 \cdot C_{10} + I_2 \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

$$\log R_4 = -1.09963152$$

$$R_4 = 0.07950025$$

Siendo:

$R_4 = p_0/P_{T0}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el año inicial del período de diseño ( $n = 0$ ).

$C_{10}$ ,  $C_{20}$  = Coeficientes de ponderación calculados según la Tabla 1.

Tabla 2 - Coeficientes de ponderación

Períodos Intercensales (años)	Período desde el último censo hasta el año inicial	Subperíodos de Diseño	
	$n_0 = B_0 - A_3$	$n_1 = B_1 - B_0$	$n_2 = B_2 - B_1$
$N_1 = A_2 - A_1$	$C_{10} = \frac{1}{\left(A_3 + \frac{n_0}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$	$C_{11} = \frac{1}{\left(B_0 + \frac{n_1}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$	$C_{12} = \frac{1}{\left(B_1 + \frac{n_2}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$
$N_2 = A_3 - A_2$	$C_{20} = \frac{1}{\left(A_3 + \frac{n_0}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$	$C_{21} = \frac{1}{\left(B_0 + \frac{n_1}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$	$C_{22} = \frac{1}{\left(B_1 + \frac{n_2}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$

Donde:

$A_1$  = año en que se realizó el antepenúltimo censo nacional

$A_2$  = año en que se realizó el penúltimo censo nacional

$A_3$  = año del padrón electoral 2019

$B_0$  = año previsto para la habilitación de la obra

$B_1$  = año en que finaliza el primer subperíodo de  $n_1$

$B_2$  = año final del período de diseño

<b><math>A_1 = 2001</math></b>	<b><math>N_1 = A_2 - A_1 = 9</math></b>	<b><math>C_{10} = 0.060606061</math></b>
<b><math>A_2 = 2010</math></b>	<b><math>N_2 = A_3 - A_2 = 9</math></b>	<b><math>C_{11} = 0.040816327</math></b>
<b><math>A_3 = 2019</math></b>		<b><math>C_{12} = 0.028985507</math></b>
<b><math>B_0 = 2025</math></b>	<b><math>n_0 = B_0 - A_3 = 6</math></b>	<b><math>C_{20} = 0.133333333</math></b>
<b><math>B_1 = 2035</math></b>	<b><math>n_1 = B_1 - B_0 = 10</math></b>	<b><math>C_{21} = 0.064516129</math></b>
<b><math>B_2 = 2045</math></b>	<b><math>n_2 = B_2 - B_1 = 10</math></b>	<b><math>C_{22} = 0.039215686</math></b>

6) Se determina la relación provincia/país para los dos subperíodos de diseño de  $n_1$  y  $n_2$  años, por las siguientes expresiones:

$$\log_{R_5} = \log_{R_4} + \frac{I_1 \cdot C_{11} + I_2 \cdot C_{21}}{C_{11} + C_{21}}$$

$$\log R_6 = \log R_5 + \frac{I_1 \cdot C_{12} + I_2 \cdot C_{22}}{C_{12} + C_{22}}$$

**log R5 = -1.108421425**

**R5 = 0.07790737567876**

**log R6 = -1.11734084070**

**R6 = 0.07632365491963**

Siendo:

$R_5 = p_{n1}/P_{Tn1}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el final del primer subperiodo de diseño.

$R_6 = p_{20}/P_{T20}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el final del período de diseño (20 años).

$C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$  = Coeficientes de ponderación calculados según indica la Tabla 2.

7) Para las poblaciones de la localidad y la provincia se definen relaciones similares a las establecidas en 2), 3) y 4) (los coeficientes de ponderación son siempre los de la Tabla 2).

Años Censales
2001
2010
2019

Población Total Localidad
$P_1 = 3,644$ hab. antepenúltimo censo
$P_2 = 4,259$ hab. penúltimo censo
$P_3 = 6,846$ hab. padrón electoral 2019

$$L_1 = \frac{P_1}{p_1}$$

$$L_2 = \frac{P_2}{p_2}$$

$$L_3 = \frac{P_3}{p_3}$$

$$I'_1 = \log L_2 - \log L_1 \text{ (para } n_1) \quad I'_2 = \log L_3 - \log L_2 \text{ (para } n_2)$$

$$\log L_4 = \log L_3 + \frac{I'_1 \cdot C_{10} + I'_2 \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

$$\log L_5 = \log L_4 + \frac{I'_1 \cdot C_{11} + I'_2 \cdot C_{21}}{C_{11} + C_{21}}$$

$$\log L_6 = \log L_5 + \frac{I'_1 \cdot C_{12} + I'_2 \cdot C_{22}}{C_{12} + C_{22}}$$

**L1 = 0.001188209**

**L2 = 0.001287144**

**L3 = 0.001951273**

**log L1 = -2.925107228**

**log L2 = -2.890372852**

**log L3 = -2.709681987**

$$I'_1 = 0.034734376$$

$$I'_2 = 0.180690866$$

$$\log L_4 = -2.574602524$$

$$L_4 = 0.002663161$$

$$\log L_5 = -2.450469798$$

$$L_5 = 0.003544298$$

$$\log L_6 = -2.331810441$$

$$L_6 = 0.004657894$$

8) Se obtienen las relaciones de población provincia/país y localidad/provincia para el período de diseño:

$$R_4 = p_0/P_{T0} = \text{ant}(\log R_4) \rightarrow n = 0$$

$$R_5 = p_{n1}/P_{Tn1} = \text{ant}(\log R_5) \rightarrow n = n_1$$

$$R_6 = p_{n2}/P_{n2} = \text{ant}(\log R_6) \rightarrow n = 20$$

$$L_4 = P_0/p_0 = \text{ant}(\log L_4) \rightarrow n = 0$$

$$L_5 = P_{n1}/p_{n1} = \text{ant}(\log L_5) \rightarrow n = n_1$$

$$L_6 = P_{n2}/p_{n2} = \text{ant}(\log L_6) \rightarrow n = 20$$

Donde:

n = año del período de diseño

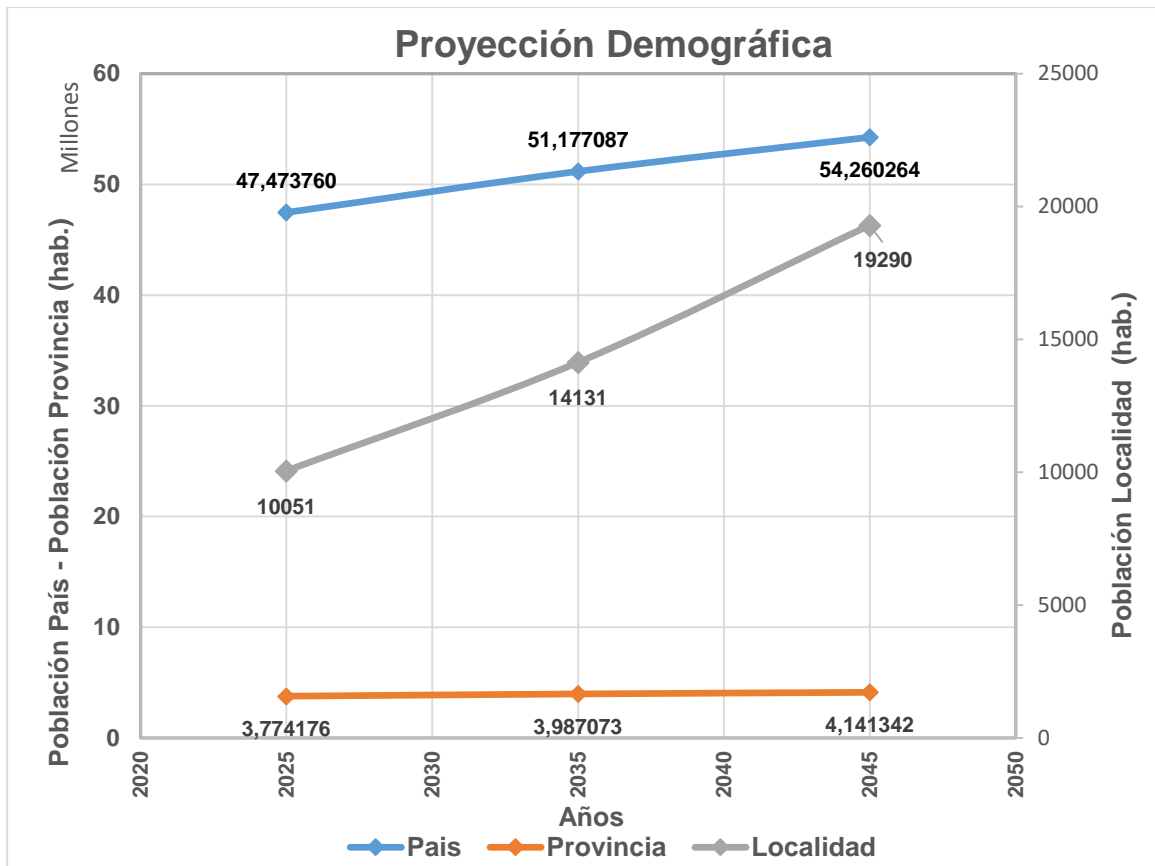
n<sub>1</sub> = años al final del primero periodo

9) Se obtienen los valores de **población de la provincia** para el período de diseño:

$p_0 = R_4 \cdot P_{T0} =$	3774176	hab.	n = 0	Año 2025
$p_{n1} = R_5 \cdot P_{Tn1} =$	3987073	hab.	n = n <sub>1</sub>	Año 2035
$p_{n2} = R_6 \cdot P_{Tn2} =$	4141342	hab.	n = 20	Año 2045

10) De igual manera se deben proyectar las poblaciones de la **localidad**.

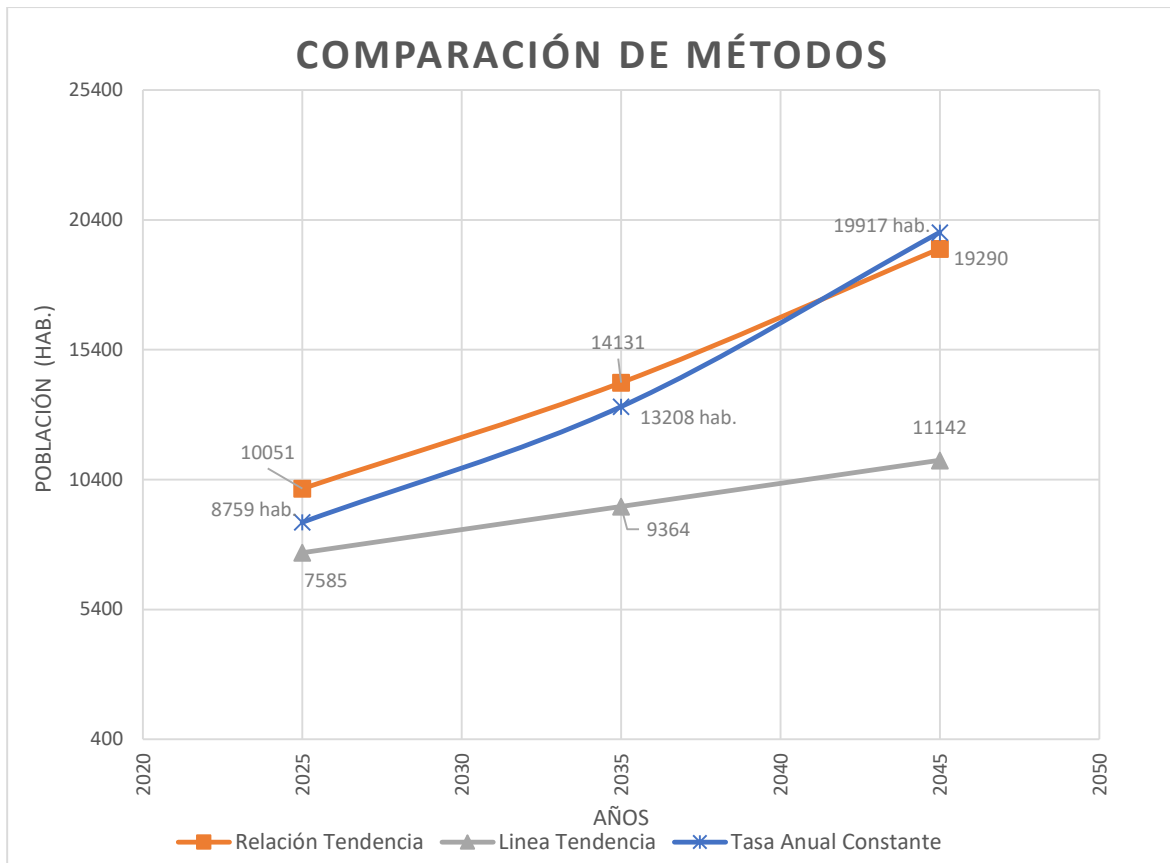
$P_0 = L_4 \cdot p_0 =$	10051	hab.	n = 0	Año 2025
$P_{n1} = L_5 \cdot p_{n1} =$	14131	hab.	n = n <sub>1</sub>	Año 2035
$P_{n2} = L_6 \cdot p_{n2} =$	19290	hab.	n = 20	Año 2045



#### 1.2.4 Resumen de los resultados obtenidos

A continuación, se muestran un resumen de los resultados para las distintas metodologías de proyección de población desarrolladas:

Año	Metodología de Proyección			Adoptado
	Línea Tendencia	Tasa Anual Constante	Relación Tendencia	Línea Tendencia
2001	3,644	3,644	3,644	<b>3,644</b>
2010	4,259	4,259	4,259	<b>4,259</b>
2019	6,846	6,846	6,846	<b>6,846</b>
2025	7,585	8,759	10,051	<b>7,585</b>
2035	9,364	13,208	14,131	<b>9,364</b>
2045	11,142	19,917	19,290	<b>11,142</b>



La adopción de la proyección obtenida mediante el método de Línea Tendencia como población de diseño fue realizada teniendo en cuenta la realidad socio-económica de la localidad en cuestión. Siendo las tasas de crecimiento de los otros métodos muy elevadas para describir la realidad del crecimiento poblacional de los últimos años de acuerdo a la información obtenida por el municipio.

### 1.3 PROYECCIÓN POBLACIÓN DE VILLA QUILINO

#### 1.3.1 Método de la Tasa Geométrica Constante

Un crecimiento de la población en forma geométrica supone que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo, pero en número absoluto, las personas aumentan en forma creciente. Si la población está disminuyendo, lo hará también a una tasa constante, pero el número absoluto irá disminuyendo.

El crecimiento geométrico se puede expresar, respectivamente, como sigue:

$$P_t = P_0(1 + i)^n$$

Donde,  $P_t$  es la población en el momento  $t$ ,  $P_0$  es la población en el momento 0,  $i$  es la tasa de crecimiento,  $n$  es el periodo de tiempo ( $t-0$ ).

Para proyectar la población a partir de una curva geométrica, se requiere contar al menos con la población en dos momentos en el tiempo.

La tasa media anual para la proyección de la población se define en base al análisis de las tasas medias anuales de los dos últimos períodos intercensales.

Se determinan las tasas medias anuales de variación poblacional de los dos últimos períodos intercensales (basándose en datos oficiales de los tres últimos censos de población y vivienda):

$$i_I = \sqrt[n_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \qquad i_{II} = \sqrt[n_2]{\frac{P_3}{P_2}} - 1$$

Donde:

$i_I$  = tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal.

$i_{II}$  = tasa media anual de variación de la población del último período censal.

$P_1$  = Número de habitantes correspondientes al primer Censo en estudio.

$P_2$  = Número de habitantes correspondientes al penúltimo Censo en estudio.

$P_3$  = Número de habitantes correspondientes al último Censo.

$n_1$  = número de años del período censal entre el primero y segundo Censo.

$n_2$  = número de años del período censal entre el segundo y el último Censo.

Teniendo en cuenta las poblaciones mencionadas en Tabla 1 y el número de años entre censos:

$$n_1 = 9 \text{ años}$$

$$n_2 = 9 \text{ años}$$

Tasas medias anuales de variación de la población:

$$i_I = 0,013369621$$

$$i_{II} = 0,069355344$$

Se adopta aquella tasa que resulte más consistente en función de la tendencia que presente el crecimiento de la población.

$$P_a = P_3 \cdot (1 + i)^{n_a}$$

$$P_0 = P_a \cdot (1 + i)^{n_0}$$

$$P_{n/2} = P_0 \cdot (1 + i)^{n/2}$$

$$P_n = P_0 \cdot (1 + i)^n$$

Siendo:

$P_a$  = estimaciones de población existente a la fecha de ejecución del proyecto.

$P_0$  = estimaciones de población al año previsto para la habilitación del sistema.

$P_n$  = estimaciones de población al año "n".

$i$  = Tasa media anual de proyección.

$n_a$  = número de años transcurridos entre el último censo y la fecha de ejecución del proyecto.

$n_0$  = número de años transcurridos entre la fecha de ejecución del proyecto y la habilitación del sistema.

$n$  = número de años transcurridos entre la población base y el año inicial de proyección.

Fecha de ejecución del proyecto = 2022

Fecha de habilitación del proyecto = 2025

Años de proyección del diseño = 20

Se realizará un promedio ponderado de las tasas medias anuales de los últimos periodos intercensales, dándole mayor probabilidad a la tasa del último periodo anual, para la determinación de la tasa de proyección.

Luego:

$$i = 0,025346718$$

$$n_a = 3 \text{ años}$$

$$P_a = 1977 \text{ hab.}$$

$$n_0 = 3 \text{ años}$$

$$P_0 = \mathbf{2131 \text{ hab.}}$$

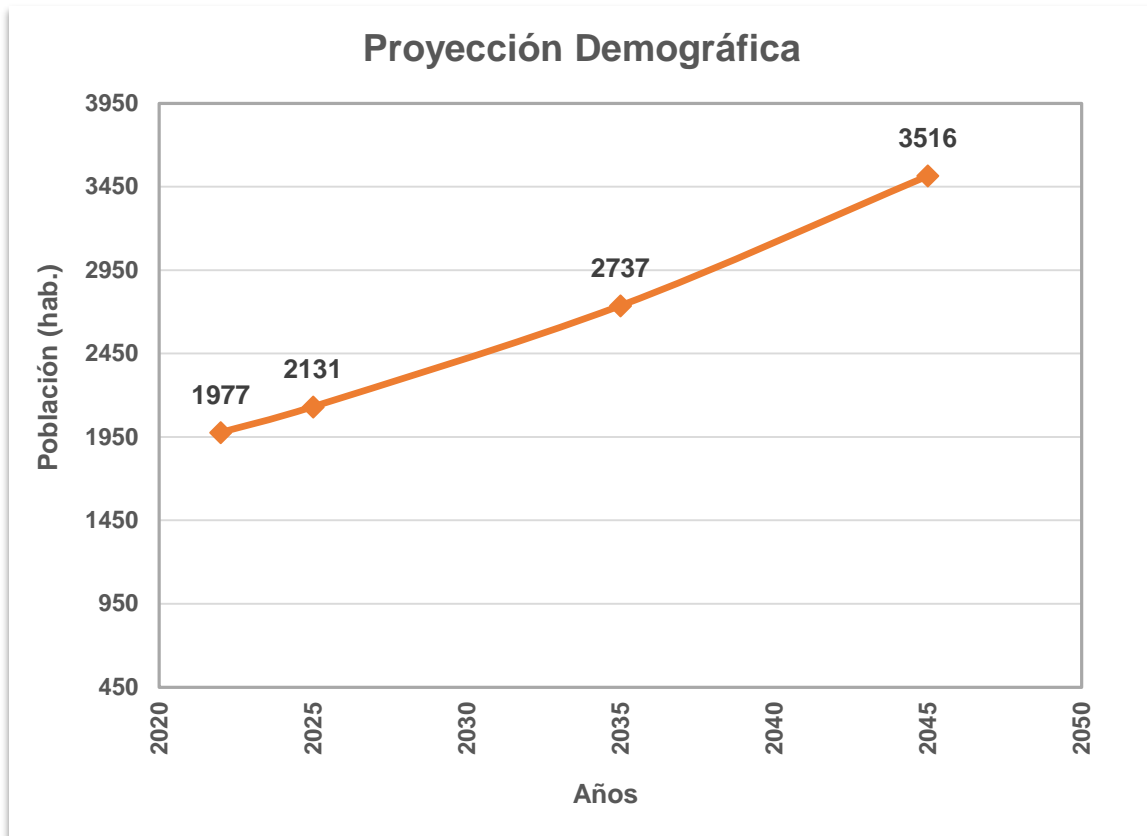
$$n = 10 \text{ años}$$

$$P_{n/2} = \mathbf{2737 \text{ hab.}}$$

$$n = 10 \text{ años}$$

$$P_n = \mathbf{3516 \text{ hab.}}$$





### 1.3.2 Ajuste Lineal Tendencia Histórica

La proyección demográfica de la localidad se efectúa aplicando la recta de ajuste que se obtiene de la regresión lineal de los valores de población total registrados por la localidad en los últimos tres censos.

Si  $Y_i^* = a + b \cdot X_i$  calculamos las constantes  $a$  y  $b$  aplicando el método de mínimos cuadrados.

Si  $\phi = \sum (Y_i - Y_i^*)^2$  buscamos que  $\phi = \sum e_i^2 = \text{mínimo}$

Operando  $\phi = \sum (Y_i - a - bX_i)^2$

Igualando a cero y derivando obtenemos el mínimo:

$$\frac{\partial \phi}{\partial a} = 2 \cdot \sum (Y_i - a - b \cdot X_i) = 0$$

$$Y_i = n \cdot a + b \cdot X_i$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial b} = 2 \cdot \sum (Y_i - a - b \cdot X_i) \cdot X_i = 0$$

$$\sum X_i \cdot Y_i = a \cdot \sum X_i + b \cdot \sum X_i^2$$

Finalmente despejando:

$$a = \frac{\sum Y_i}{n} - \frac{b \sum X_i}{n}$$

$$b = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

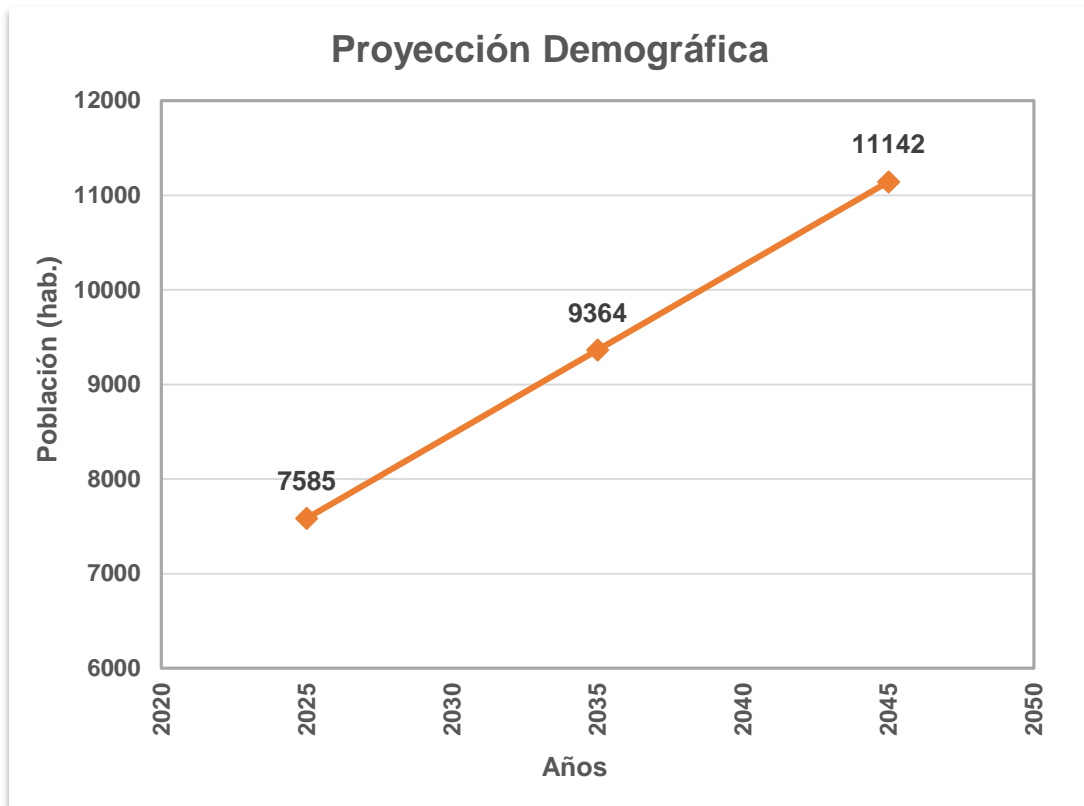
Para el cálculo se realiza la siguiente tabla:

n	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	y <sub>i</sub> x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	2001	3,644	4004001	7291644	13278736
2	2010	4,259	4040100	8560590	18139081
3	2019	6,846	4076361	13822074	46867716
Σ	6030	14749	12120462	29674308	78285533

**a** = -352640

**b** = 177.8889

Año	Población
2025	7585
2035	9364
2045	11142



### 1.3.3 Método de la Relación-Tendencia

El método se basa en el análisis de las relaciones entre la población total del país, la total de la provincia, el partido o departamento y la localidad y en las tendencias de evolución que presentan las mismas.

Para proyectar la población de la provincia entre el año cero y el final del período de diseño se siguen los pasos que a continuación se detallan:

11) Se obtienen los valores de población total del país resultantes de los últimos censos nacionales, del padrón electoral 2019 y de la proyección oficial para las siguientes tres décadas. En todos los casos, se deben utilizar las proyecciones efectuadas por el INDEC:

Años Censales	Población Total País	
1991	$P_{T1} =$	<b>36260130</b> hab. antepenúltimo censo
2001	$P_{T2} =$	<b>40117096</b> hab. penúltimo censo
2019	$P_{T3} =$	<b>43273250</b> hab. padrón electoral

Las poblaciones del país  $P_{T0}$ ;  $P_{Tn1}$  y  $P_{Tn2}$  pueden extraerse de la publicación Estimaciones y Proyecciones de Población Total del País (versión revisada), INDEC – CELADE, serie de Análisis Demográfico N° 5, Buenos Aires, 1995. En dicha publicación se considera la población al 30 de Junio de cada año y se encuentran valores desde el año 1950 al 2050.

Estimaciones y Proyecciones de población Total País (INDEC)	$P_{T0} =$	<b>47473760</b>	Año 2025
	$P_{Tn1} =$	<b>51177087</b>	Año 2035
	$P_{Tn2} =$	<b>54260264</b>	Año 2045

Siendo:

$P_{T1}$  = población del país según el antepenúltimo censo nacional

$P_{T2}$  = población del país según el penúltimo censo nacional

$P_{T3}$  = población del país según padrón electoral 2019

$P_{T0}$  = población del país proyectada al año inicial del período de diseño ( $n = 0$ )

$P_{Tn1}$  = población del país proyectada al año  $n1$  del período de diseño

$P_{Tn2}$  = población del país proyectada al año  $n2$  del período de diseño

12) Se obtienen los valores de población total de la provincia, resultantes de los tres últimos censos nacionales y de la proyección oficial para las siguientes tres décadas.

Años Censales	Población Total Provincia	
2001	$p_1 =$	<b>3,066,801</b> hab. antepenúltimo censo

2010
2019

p <sub>2</sub> =	<b>3,308,876</b>	hab.	penúltimo censo
p <sub>3</sub> =	<b>3,508,479</b>	hab.	padrón electoral 2019

Siendo:

p<sub>1</sub> = población total de la provincia según el antepenúltimo censo nacional

p<sub>2</sub> = población total de la provincia según el penúltimo censo nacional

p<sub>3</sub> = población total de la provincia según el padrón electoral 2019

p<sub>0</sub> = población total de la provincia proyectada al año inicial del período de diseño (n = 0)

p<sub>n1</sub> = población total de la provincia proyectada al año n1 del período de diseño

p<sub>n2</sub> = población total de la provincia proyectada al año final n2 del período de diseño

13) Se relacionan los datos históricos de la provincia y del país para cada año, obteniéndose:

$$R_1 = \frac{p_1}{P_{T_1}} \quad R_2 = \frac{p_2}{P_{T_2}} \quad R_3 = \frac{p_3}{P_{T_3}}$$

$$R_1 = 0.084577772$$

$$R_2 = 0.082480447$$

$$R_3 = 0.081077317$$

14) Se extrae el logaritmo decimal de las relaciones R1, R2 y R3 y se determinan las siguientes relaciones, para los dos períodos intercensales históricos:

$$I_1 = \log R_2 - \log R_1 \text{ (para } n1 = \text{ años del 1}^\circ \text{ período intercensal)}$$

$$I_2 = \log R_3 - \log R_2 \text{ (para } n2 = \text{ años del 2}^\circ \text{ período intercensal)}$$

$$\log R_1 = -1.072743761$$

$$I_1 = -0.010905235$$

$$\log R_2 = -1.083648995$$

$$I_2 = -0.007451637$$

$$\log R_3 = -1.091100632$$

15) Se determina la relación provincia/país para el año inicial del período de diseño (n = 0), utilizando la siguiente expresión:

$$\log R_4 = \log R_3 + \frac{I_1 \cdot C_{10} + I_2 \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

$$\log R_4 = -1.09963152$$

$$R_4 = 0.07950025$$

Siendo:

$R_4 = p_0/P_{T0}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el año inicial del período de diseño ( $n = 0$ ).

$C_{10}$ ,  $C_{20}$  = Coeficientes de ponderación calculados según la Tabla 1.

Tabla 3 - Coeficientes de ponderación

Períodos Intercensales (años)	Período desde el último censo hasta el año inicial	Subperíodos de Diseño	
	$n_0 = B_0 - A_3$	$n_1 = B_1 - B_0$	$n_2 = B_2 - B_1$
$N_1 = A_2 - A_1$	$C_{10} = \frac{1}{\left(A_3 + \frac{n_0}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$	$C_{11} = \frac{1}{\left(B_0 + \frac{n_1}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$	$C_{12} = \frac{1}{\left(B_1 + \frac{n_2}{2}\right) - \left(A_1 + \frac{N_1}{2}\right)}$
$N_2 = A_3 - A_2$	$C_{20} = \frac{1}{\left(A_3 + \frac{n_0}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$	$C_{21} = \frac{1}{\left(B_0 + \frac{n_1}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$	$C_{22} = \frac{1}{\left(B_1 + \frac{n_2}{2}\right) - \left(A_2 + \frac{N_2}{2}\right)}$

Donde:

$A_1$  = año en que se realizó el antepenúltimo censo nacional

$A_2$  = año en que se realizó el penúltimo censo nacional

$A_3$  = año del padrón electoral 2019

$B_0$  = año previsto para la habilitación de la obra

$B_1$  = año en que finaliza el primer subperíodo de  $n_1$

$B_2$  = año final del período de diseño

<b><math>A_1 = 2001</math></b>	<b><math>N_1 = A_2 - A_1 = 9</math></b>	<b><math>C_{10} = 0.060606061</math></b>
<b><math>A_2 = 2010</math></b>	<b><math>N_2 = A_3 - A_2 = 9</math></b>	<b><math>C_{11} = 0.040816327</math></b>
<b><math>A_3 = 2019</math></b>		<b><math>C_{12} = 0.028985507</math></b>
<b><math>B_0 = 2025</math></b>	<b><math>n_0 = B_0 - A_3 = 6</math></b>	<b><math>C_{20} = 0.133333333</math></b>
<b><math>B_1 = 2035</math></b>	<b><math>n_1 = B_1 - B_0 = 10</math></b>	<b><math>C_{21} = 0.064516129</math></b>
<b><math>B_2 = 2045</math></b>	<b><math>n_2 = B_2 - B_1 = 10</math></b>	<b><math>C_{22} = 0.039215686</math></b>

16) Se determina la relación provincia/país para los dos subperíodos de diseño de  $n_1$  y  $n_2$  años, por las siguientes expresiones:

$$\log_{R_5} = \log_{R_4} + \frac{I_1 \cdot C_{11} + I_2 \cdot C_{21}}{C_{11} + C_{21}}$$

$$\log R_6 = \log R_5 + \frac{I_1 \cdot C_{12} + I_2 \cdot C_{22}}{C_{12} + C_{22}}$$

**log R5 = -1.108421425**

**R5 = 0.07790737567876**

**log R6 = -1.11734084070**

**R6 = 0.07632365491963**

Siendo:

$R_5 = p_{n1}/P_{Tn1}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el final del primer subperiodo de diseño.

$R_6 = p_{20}/P_{T20}$  = relación entre las poblaciones de la provincia y el país para el final del período de diseño (20 años).

$C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$  = Coeficientes de ponderación calculados según indica la Tabla 2.

17) Para las poblaciones de la localidad y la provincia se definen relaciones similares a las establecidas en 2), 3) y 4) (los coeficientes de ponderación son siempre los de la Tabla 2).

<b>Años Censales</b>
2001
2010
2019

<b>Población Total Localidad</b>		
$P_1 =$	<b>890</b>	hab. antepenúltimo censo
$P_2 =$	<b>1003</b>	hab. penúltimo censo
$P_3 =$	<b>1834</b>	hab. padrón electoral 2019

$$L_1 = \frac{P_1}{p_1}$$

$$L_2 = \frac{P_2}{p_2}$$

$$L_3 = \frac{P_3}{p_3}$$

$$I'_1 = \log L_2 - \log L_1 \text{ (para } n_1) \quad I'_2 = \log L_3 - \log L_2 \text{ (para } n_2)$$

$$\log L_4 = \log L_3 + \frac{I'_1 \cdot C_{10} + I'_2 \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

$$\log L_5 = \log L_4 + \frac{I'_1 \cdot C_{11} + I'_2 \cdot C_{21}}{C_{11} + C_{21}}$$

$$\log L_6 = \log L_5 + \frac{I'_1 \cdot C_{12} + I'_2 \cdot C_{22}}{C_{12} + C_{22}}$$

**L1 = 0,000290205**

**L2 = 0,000303124**

**L3 = 0,000522734**

**log L1 = -3,537295590**

**log L2 = -3,518379559**

**log L3 = -3,281719550**

$$I'_1 = 0,018916030$$

$$I'_2 = 0,236660009$$

$$\log L_4 = -3,113104534$$

$$L_4 = 0,000770718$$

$$\log L_5 = -2,960820317$$

$$L_5 = 0,001094409$$

$$\log L_6 = -2,816701499$$

$$L_6 = 0,001525101$$

18) Se obtienen las relaciones de población provincia/país y localidad/provincia para el período de diseño:

$$R_4 = p_0/P_{T0} = \text{ant}(\log R_4) \rightarrow n = 0$$

$$R_5 = p_{n1}/P_{Tn1} = \text{ant}(\log R_5) \rightarrow n = n_1$$

$$R_6 = p_{n2}/P_{n2} = \text{ant}(\log R_6) \rightarrow n = 20$$

$$L_4 = P_0/p_0 = \text{ant}(\log L_4) \rightarrow n = 0$$

$$L_5 = P_{n1}/p_{n1} = \text{ant}(\log L_5) \rightarrow n = n_1$$

$$L_6 = P_{n2}/p_{n2} = \text{ant}(\log L_6) \rightarrow n = 20$$

Donde:

n = año del período de diseño

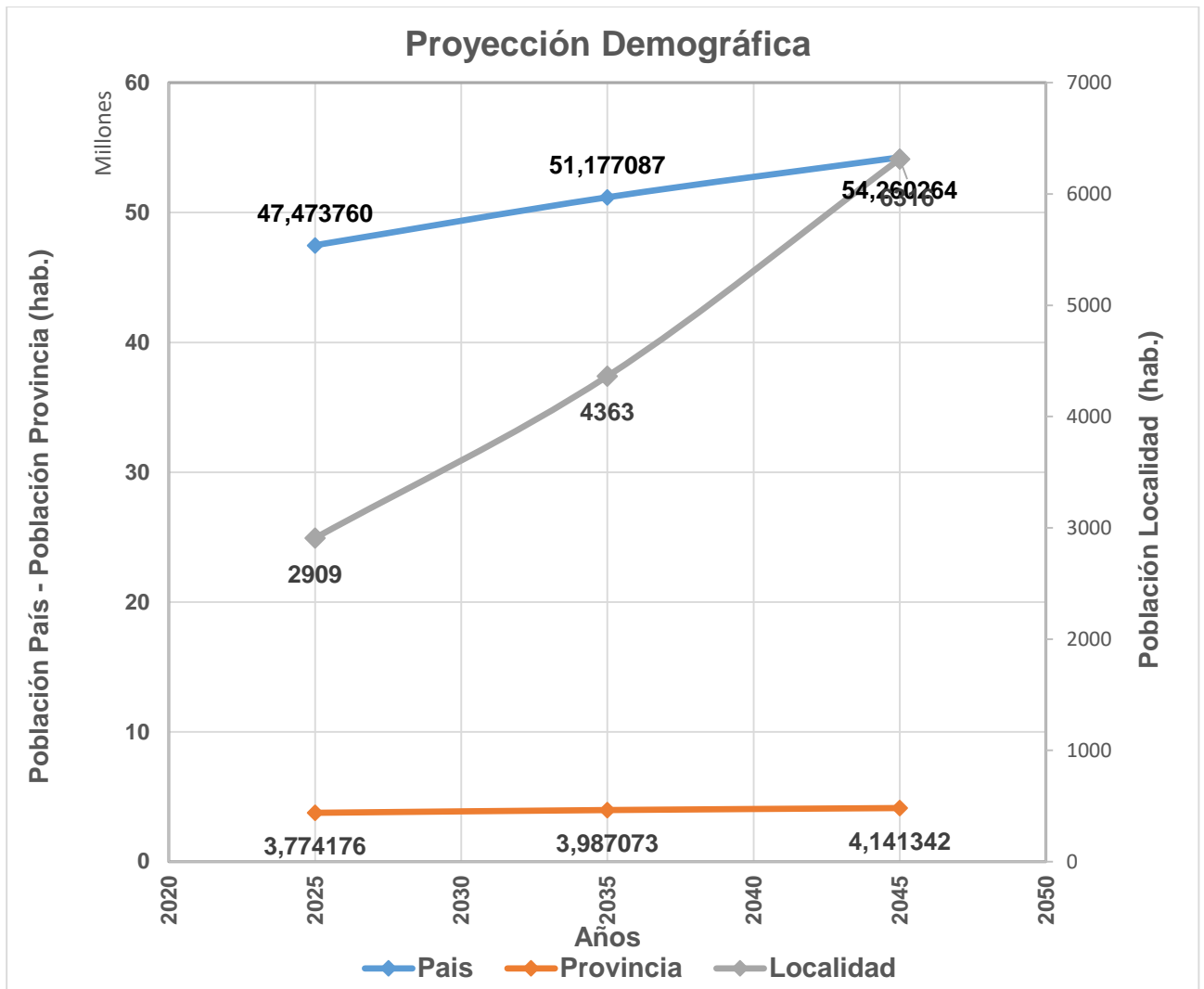
n<sub>1</sub> = años al final del primero periodo

19) Se obtienen los valores de **población de la provincia** para el período de diseño:

$p_0 = R_4 \cdot P_{T0} =$	3774176	hab.	n = 0	Año 2025
$p_{n1} = R_5 \cdot P_{Tn1} =$	3987073	hab.	n = n <sub>1</sub>	Año 2035
$p_{n2} = R_6 \cdot P_{Tn2} =$	4141342	hab.	n = 20	Año 2045

20) De igual manera se deben proyectar las poblaciones de la **localidad**.

$P_0 = L_4 \cdot p_0 =$	2909	hab.	n = 0	Año 2025
$P_{n1} = L_5 \cdot p_{n1} =$	4363	hab.	n = n <sub>1</sub>	Año 2035
$P_{n2} = L_6 \cdot p_{n2} =$	6316	hab.	n = 20	Año 2045

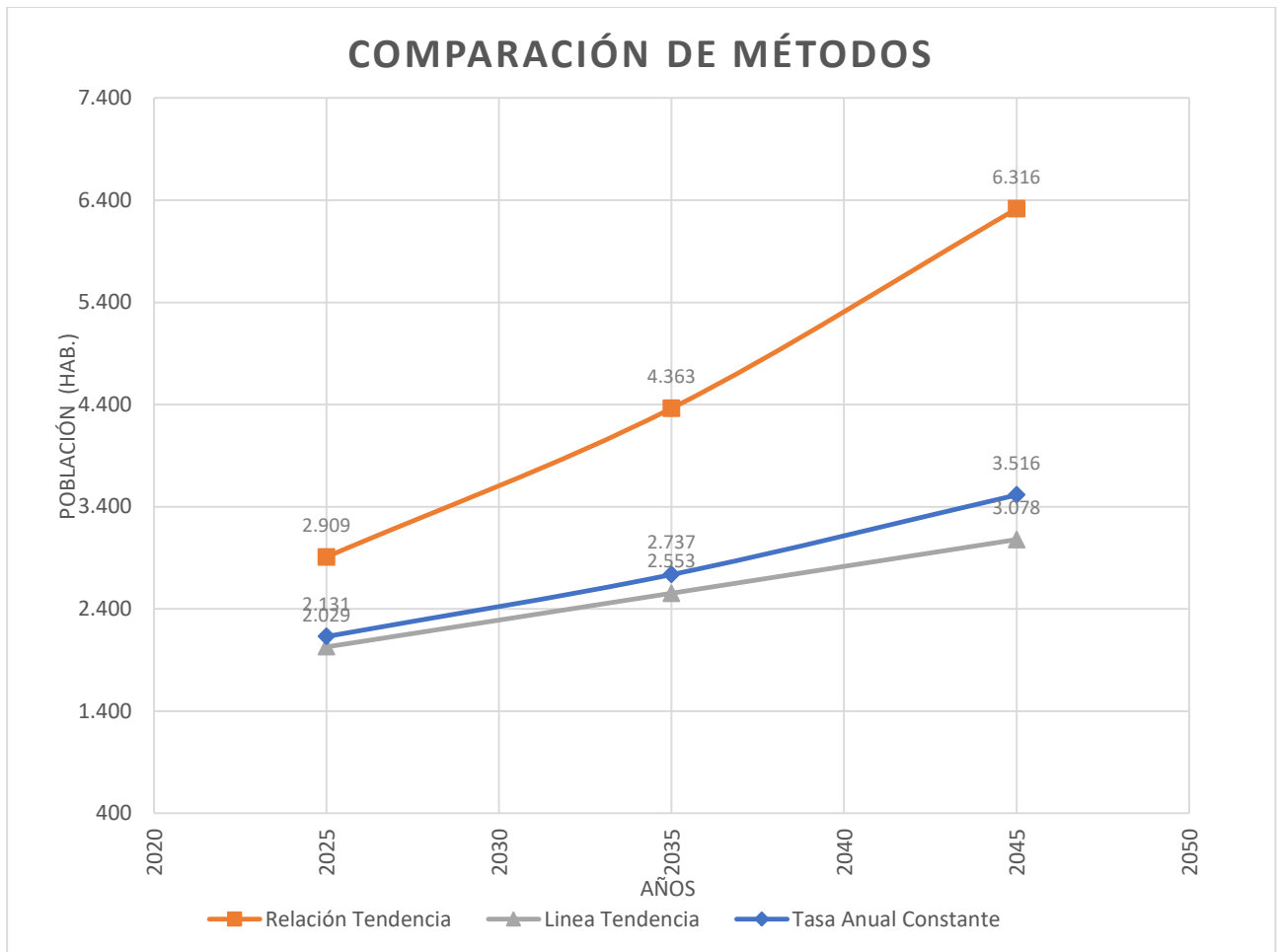


#### 1.3.4 Resumen de los resultados obtenidos

A continuación, se muestran un resumen de los resultados para las distintas metodologías de proyección de población desarrolladas:

Año	Metodología de Proyección			Adoptado
	Línea Tendencia	Tasa Anual Constante	Relación Tendencia	Línea Tendencia
2001	890	890	890	<b>890</b>
2010	1.003	1.003	1.003	<b>1.003</b>
2019	1.834	1.834	1.834	<b>1.834</b>
2025	2.029	2.131	2.909	<b>2.029</b>
2035	2.553	2.737	4.363	<b>2.553</b>
2045	3.078	3.516	6.316	<b>3.078</b>





La adopción de la proyección obtenida mediante el método de Línea Tendencia como población de diseño fue realizada teniendo en cuenta la realidad socio-económica de la localidad en cuestión. Siendo las tasas de crecimiento de los otros métodos muy elevadas para describir la realidad del crecimiento poblacional de los últimos años de acuerdo a la información obtenida por el municipio.

## 2 ESTUDIO DE CAUDALES

### 2.1 DOTACIÓN DE DISEÑO

Los consumos de las poblaciones estables y flotantes serán distintos y para su adopción se utilizan los criterios de la normativa del ENOHSa (Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento, 2001).

La normativa nos proporciona valores típicos de consumos domésticos para servicios medidos y no medidos, haciendo notar que la inexistencia de medidores lleva a aumentos del consumo del 33 al

100% (Investigación realizada por el Prof. Rivas Mijares en Venezuela, cita de Proyecto de Distribución de Agua, CETESB).

*Tabla 4 - Valores típicos de consumos para servicios con y sin medidor*

Población	Servicio con Medidores	Servicio sin Medidores
Hasta 5.000 habitantes	100-150 L/hab.	200-300 L /hab . día
De 5.000 a 25.000 hab.	150-200 L /hab.	300-400 L / hab . día
De 25.000 a 100.000 hab.	200-250 L /hab	400-500 L / hab . día
Encima de 100.000 hab.	250-300 L /hab	500-600 L / hab . día

Podemos ver que, para poblaciones pequeñas, los consumos de conexiones domiciliaria con y sin medidor se encuentran entre 100 a 300 l/hab.día. Por lo tanto, para nuestro caso se adoptará de manera conservadora dada la incertidumbre y el criterio utilizado en la adopción de la población de diseño, una dotación de 300 l/hab.día.

## 2.2 CAUDAL DE DISEÑO

En base a las poblaciones calculadas para cada periodo, la cual se considerará que se abastecerá en su totalidad, se procederá a calcular los correspondientes caudales de diseño a partir de estas y las dotaciones correspondientes.

Para poder abreviar y relacionar unívocamente cada valor de caudal y sus coeficientes, se definirá primero la nomenclatura a utilizar a partir de las siguientes tablas. Se utilizará en el presente trabajo, la nomenclatura propuesta por las normas del ENOHSa.

*Tabla 5: Nomenclatura de caudales*

Caudal	Nomenclatura
Medio diario	QC
Máximo diario	QD
Máximo horario	QE
Mínimo diario	QB
Mínimo horario	QA

*Tabla 6: Nomenclatura de coeficientes de caudales*

$\alpha_{1n}$	Coeficiente máximo diario del año n	$\alpha_{1n} = Q_{Dn} / Q_{Cn}$
$\alpha_{2n}$	Coeficiente máximo horario del año n	$\alpha_{2n} = Q_{En} / Q_{Dn}$
$\alpha_n$	Coeficiente total máximo horario del año n	$\alpha = Q_{En} / Q_{Cn}$
$\beta_{1n}$	Coeficiente mínimo diario del año n	$\beta_{1n} = Q_{Bn} / Q_{Cn}$
$\beta_{2n}$	Coeficiente mínimo horario del año n	$\beta_{2n} = Q_{An} / Q_{Bn}$
$\beta_n$	Coeficiente total mínimo horario del año n	$\beta_n = Q_{An} / Q_{Cn}$

Los coeficientes de caudal que permiten a partir de un caudal medio determinar los caudales máximos y mínimos a utilizar en el sistema proyectado, fueron obtenidos utilizando los coeficientes indicados en la normativa del ENOHSa, los cuales se encuentran resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 7: Coeficientes de caudales

Población servida	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta$
500 h < P <sub>s</sub> ≤ 3.000 h	1,40	1,90	2,66	0,60	0,50	0,30
3.000 h < P <sub>s</sub> ≤ 15.000 h	1,40	1,70	2,38	0,70	0,50	0,35
15.000 h < P <sub>s</sub>	1,30	1,50	1,95	0,70	0,60	0,42

Presentadas las nomenclaturas y los coeficientes para utilizar, atendiendo a que nos encontramos en ante una población entre 3000 y 15000 habitantes, se procede al cálculo de los caudales de diseño.

Para el cálculo del caudal medio diario se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_C = Población \cdot Dotación$$

Luego los caudales de diseño son:

Caudal Medio Diario (Q <sub>C10</sub> ):	2809.20	m3/día
Caudal Medio Diario (Q <sub>C20</sub> ):	3342.60	m3/día
Coeficiente Máximo Diario $\alpha_1$ :	1.4	
Coeficiente Máximo Horario $\alpha_2$ :	1.7	
Caudal Máximo Horario (Q <sub>E10</sub> ):	6685.90	m3/día
Caudal Máximo Horario (Q <sub>E20</sub> ):	7955.39	m3/día

### 3 MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE AGUA DE QUILINO

En esta sección se describen los procedimientos de cálculo y verificación hidráulica de los componentes de la red propuesta, las herramientas computacionales utilizadas, la conformación del modelo de red, los escenarios de modelación considerados, las hipótesis establecidas, junto con los resultados obtenidos y algunas consideraciones finales.

#### 3.1 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES UTILIZADAS

Para el cálculo hidráulico del sistema de tuberías, se utilizó el conocido software Epanet 2.0 vE, desarrollado originalmente por la U.S. Environmental Protection Agency (EE.UU.) y traducido al español por el Grupo de Mecánica de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia (España).

Epanet es un programa para computador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. Permite realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de las características físicas de las tuberías y dinámicas de los nudos (consumos) para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente. Adicionalmente, Epanet permite el análisis de calidad de agua

a través del cual es posible determinar el tiempo de viaje del fluido desde la fuente (depósitos y embalses), hasta los nodos del sistema.

### **3.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO**

A partir del trazado de las cañerías según planos, se realizó la simulación hidráulica de la cañería de la red utilizando el software EPANET, para los escenarios de simulación se asumió un nivel constante, es decir, no se simuló el funcionamiento hidráulico del tanque. Esto no afecta en absoluto los resultados obtenidos en el modelo de red, de acuerdo al objetivo del trabajo. Para el cálculo de las pérdidas por fricción o generalizadas se utiliza el criterio de Hazen – Williams.

Las cotas topográficas utilizadas fueron obtenidas a partir de un modelo digital de elevación obtenido a partir de imágenes satelitales, el cual fue luego calibrado mediante las mediciones tomadas en campo utilizando un equipo GPS/GNSS. Los nodos incorporados en el diseño se corresponden a puntos topográficos significativos para el diseño.

El software EPANET permite construir una curva específica para cada bomba, con el fin de introducir las características con las que cuenta la bomba a la hora de impulsar el fluido. La curva característica de la bomba relaciona en el eje de las abscisas (x) el caudal (l/s), y en el eje de las ordenadas (y) la altura dinámica total o altura manométrica (m). La relación de estos parámetros simula el comportamiento de la bomba teniendo en cuenta su eficiencia. Para construir la curva característica de la bomba, EPANET solicita como mínimo un punto de la curva característica del fabricante; es decir, se requiere un dato de caudal y otro de altura dinámica total. Luego interpola dos puntos adicionales; asume que la altura dinámica total es cero cuando el caudal es el doble del caudal de diseño; cuando el caudal es cero, la altura dinámica total es el 33% adicional a la altura dinámica total de diseño.

La cisterna de La Florida y el tanque elevado serán modelados como un embalse o deposito, los cuales son nudos que representan una fuente externa infinita o un sumidero para el sistema. La cisterna es abastecida por una perforación realizada en el mismo predio, esta no será tenida en cuenta en el análisis. Las principales características de un deposito son su altura piezométrica o altura y su calidad inicial. La cota en nuestro modelo será de 476.61 m, cota correspondiente a la solera de la cisterna y 451.22 m para el nivel de solera del tanque elevado. Respecto a la calidad inicial, esta no será tenida en cuenta dado que el agua a abastecer se considera que cumple con los requisitos de calidad suficientes.

Las demandas a introducir en la simulación fueron calculadas utilizando el método de gasto hectométrico. Donde el gasto hectométrico (gh) propiamente dicho es:

$$gh = \frac{\text{Caudal}}{\text{Longitud Total}}$$

Luego el gasto en cada tramo es igual a:

$$q = gh \cdot \text{Longitud de Tramo}$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga en conductos, como se mencionó con anterioridad, se adoptó el método de Hazen - Williams:

$$h_L = 10.7 \cdot \frac{\left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852}}{D^{4.871}} L$$

Donde:

- $h_L$ : Pérdida de carga (en m) en la tubería
- Q: Caudal (en m<sup>3</sup>/s)
- L: Longitud de la tubería (m)
- D: Diámetro interno de la tubería (m)
- C: Coeficiente de pérdidas de Hazen y Williams

Tabla 8: Coeficientes de Hazen y Williams

Material	Hazen-Williams C (adimensional)	Manning's n (adimensional)
Hierro Colado	130 – 140	0,012 - 0,015
Hormigón o Revestido de Hormigón	120 – 140	0,012 - 0,017
Hierro galvanizado	120	0,015 - 0,017
Plástico	140 – 150	0,011 - 0,015
Acero	140 – 150	0,015 - 0,017
Arcilla Vitrificada	110	0,013 - 0,015

Para las cañerías de material P.E.A.D y PVC. se asumió un coeficiente C = 145, las de acero se modelaron con C = 125 y en aquellas de Asbesto cemento se utilizó un coeficiente C = 135

Tabla 9: Diámetros cañería PEAD - PE 100 -PN 6

PEAD - PE 100 - PN6		
DN (mm)	e (mm)	∅ interno (mm)
63	3	57
75	3.6	67.8
90	4.3	81.4

110	5.3	99.4
125	6	113
160	7.7	144.6
200	9.6	180.8
250	11.9	226.2

Tabla 10: Diámetros cañería de PVC - PN6

PVC - PN6		
DN (mm)	e (mm)	∅ interno (mm)
50	1.7	46.6
63	1.9	59.2
75	2.2	70.6
90	2.7	84.6
110	3.2	103.6
125	3.7	117.6
160	4.7	150.6
200	5.9	188.2
250	7.3	235.4
315	9.2	296.6

Tabla 11: Diámetros cañería de Acero

Aº	
∅	∅ (mm)
4"	101.6
6"	152.4
8"	203.2
10"	254

En cuanto a las cañerías de asbesto cemento su diámetro interno es aquel por el cual se nombra a la cañería.

Las pérdidas localizadas de energía son consideradas multiplicando los correspondientes coeficientes de pérdidas localizadas por la energía cinética de entrada en la tubería, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_L = K \cdot \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- $h_L$ : Pérdida de carga (en m) en la válvula
- V: Velocidad (en m/s)

- g: Aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- K: Coeficiente de pérdidas localizadas (adimensional)

Tabla 12: Coeficientes de pérdida local

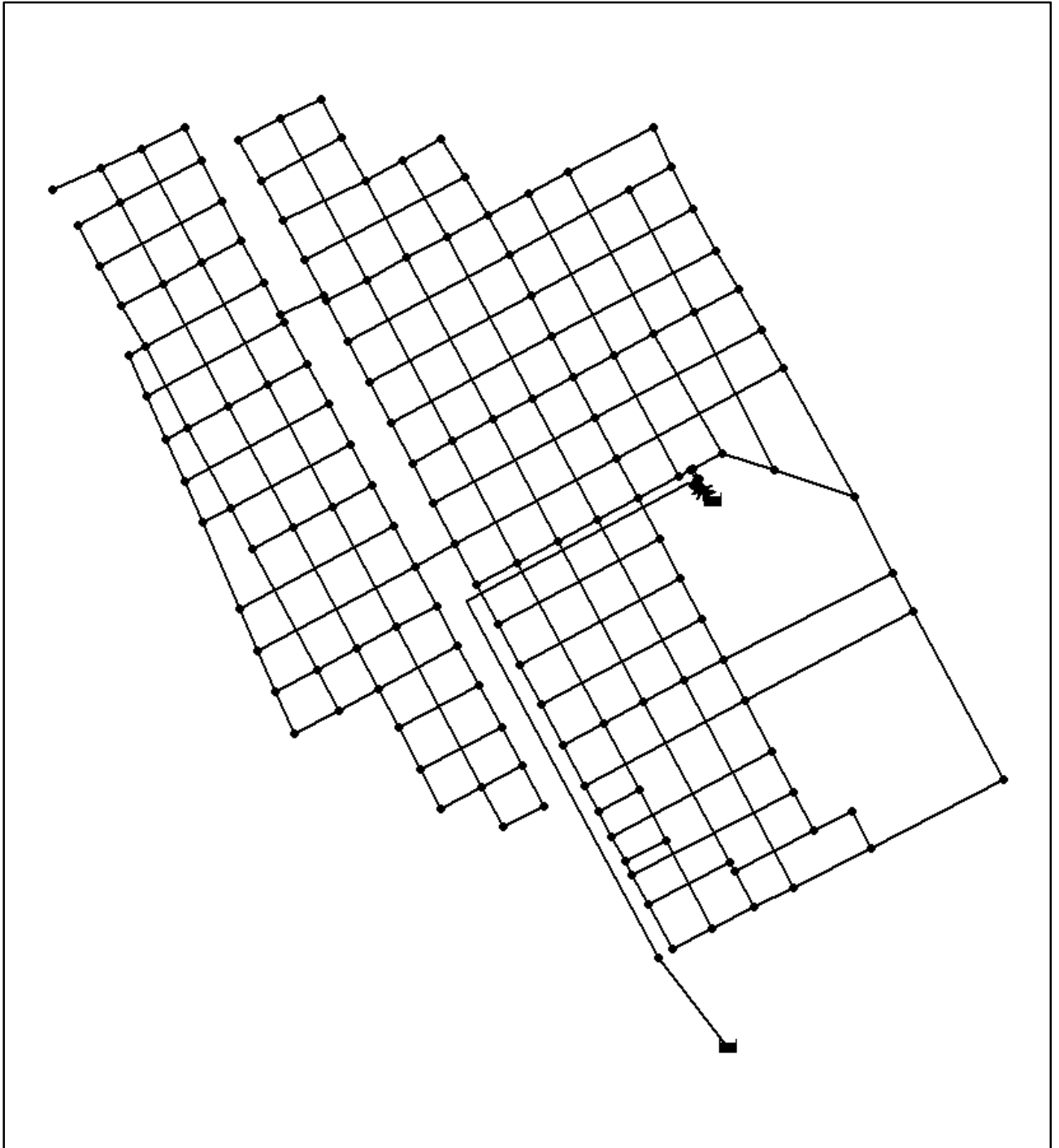
<i>Conectores</i>	<i>Coeficiente de pérdidas</i>
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar – dirección de paso	0.6
Te estándar – dirección desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida brusca	1.0

### 3.3 ESCENARIOS DE MODELACIÓN DEL SISTEMA DE PROVISIÓN DE AGUA

Se desarrolló el modelo de red de la localidad en dos escenarios. El primero correspondiente a la Etapa 1 del proyecto se conformó con 149 nudos o conexiones, 237 tuberías o conductos y 2 reservorios, que representan a la cisterna de “La Florida” y el tanque elevado de la localidad. El segundo escenario se corresponde con la Etapa 2 del proyecto conformado por 163 nudos o conexiones, 246 tuberías o conductos, 4 válvulas (reductoras de presión) y 1 reservorio, que representó a la cisterna de “La Florida”.

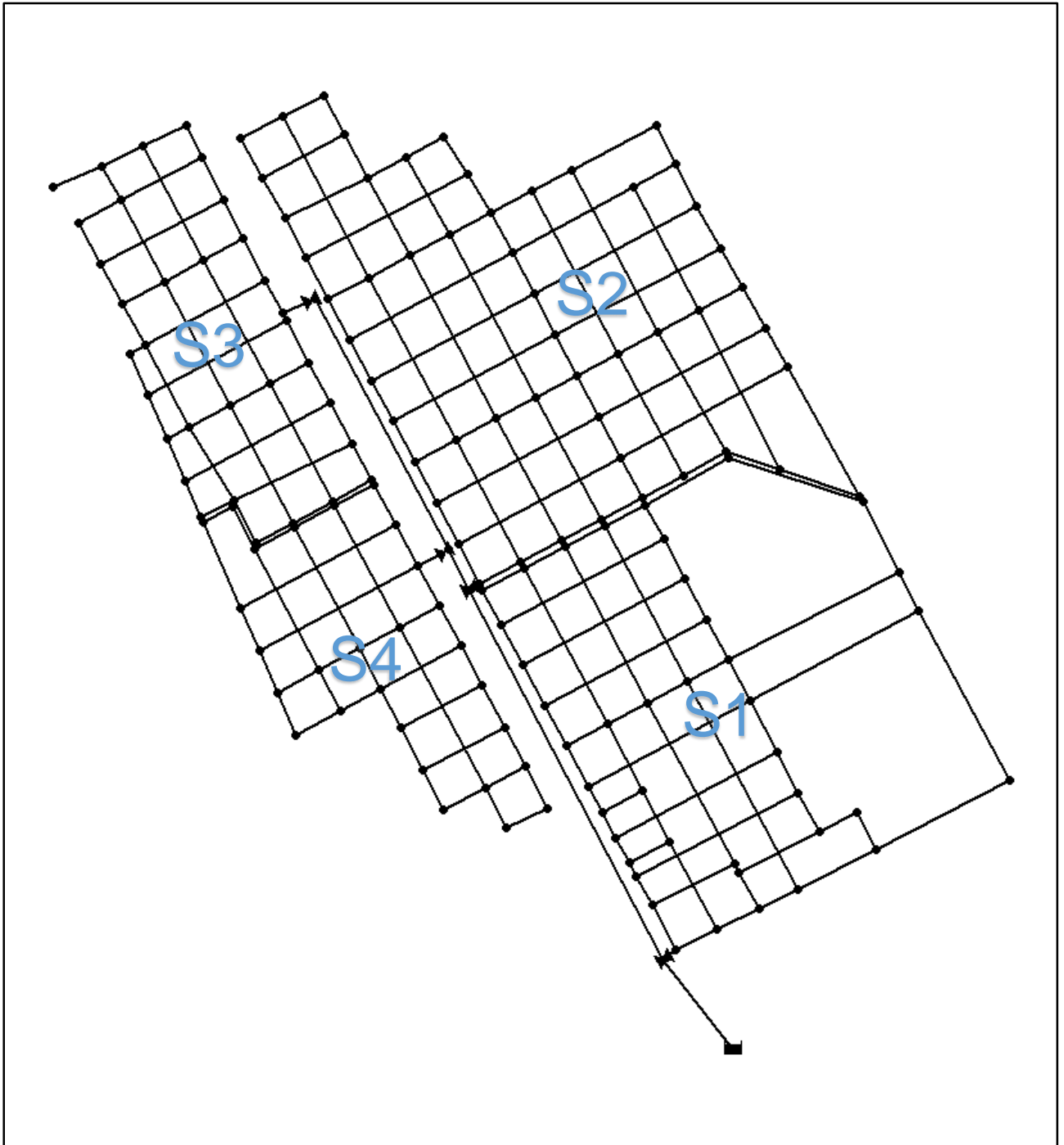
Cabe indicar que los reservorios, para los escenarios de simulación se asumieron a un nivel constante, es decir, no se simuló el funcionamiento hidráulico de la cisterna. Esto no afecta en absoluto los resultados obtenidos en el modelo de red, de acuerdo al objetivo del trabajo.

En la Figura 1 se puede apreciar una vista del complejo modelo de red desarrollado.



*Figura 1: Esquema del modelo para Etapa 1*





*Figura 2: Esquema del modelo para Etapa 2*

De acuerdo con las etapas de ejecución del “Plan General de Provisión de Agua de Quilino y Villa Quilino” se plantearon tres escenarios de modelación, los mismos se presentan a continuación:

- Escenario 1: se corresponde con la Etapa 1, la cual consiste en el reemplazo de los tramos más críticos de acuerdo al relevamiento realizado de asbesto cemento a PEAD PE 100 PN 6, remplazándose un total de 6116 m de diámetros desde 63 mm a 250 mm. El tanque elevado existente de la localidad de Quilino y la cisterna de “La Florida” se encuentran en su nivel mínimo. Se utiliza el caudal máximo horario  $Q_{E0}$ .

- Escenario 2: se corresponde con la Etapa 2, se reemplaza la totalidad de la red de la localidad por nuevas cañerías de PEAD PE 100 PN 6 de diámetros desde 63 mm a 250 mm. Se saca de servicio el tanque elevado existente, realizándose la provisión de agua a la red desde la cisterna de “La Florida” de manera directa en 4 puntos, a través de una cañería de PCV PN6 de diámetros desde 160 mm a 315 mm. La red queda dividida en cuatro sectores de acuerdo a los puntos de conexión con la cañería proveniente de la cisterna, como se indica en la Figura 2. Cabe aclarar que deberá realizarse un punto de conexión entre los sectores S1 y S2, y otro entre S3 y S4. La cisterna en este escenario se encuentra en su nivel mínimo y se utiliza el caudal máximo horario  $Q_{E20}$  para la asignación de las demandas.
- Escenario 3: igual al Escenario 2 con la cisterna en su nivel máximo, correspondiente a 2m sobre el nivel de solera. Se utiliza el caudal medio diario  $Q_{C10}$  para la asignación de las demandas.

### **3.4 RESULTADOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con las modelaciones en EPANET, tal y como se expresó anteriormente.

#### **3.4.1 Presiones del sistema**

Se presentan los resultados de presiones en los nodos del modelado del sistema mediante un gráfico de isolíneas de presiones, debe tenerse en cuenta que ambas cisternas se encuentran aproximadamente en su máxima capacidad, es decir, el nivel de agua en las mismas se encuentra cerca del máximo.

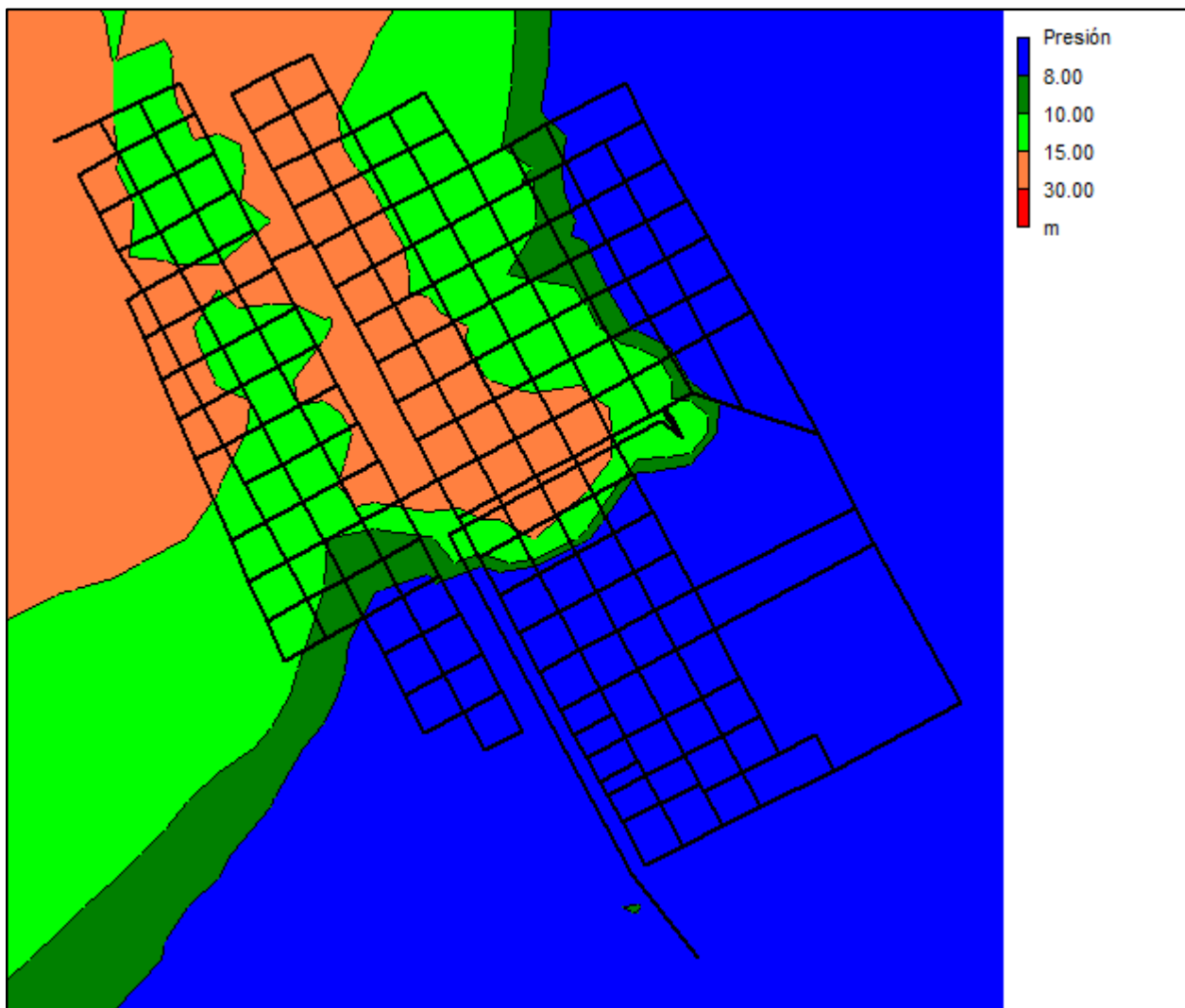


Figura 3: Isolíneas de presiones Escenario 1

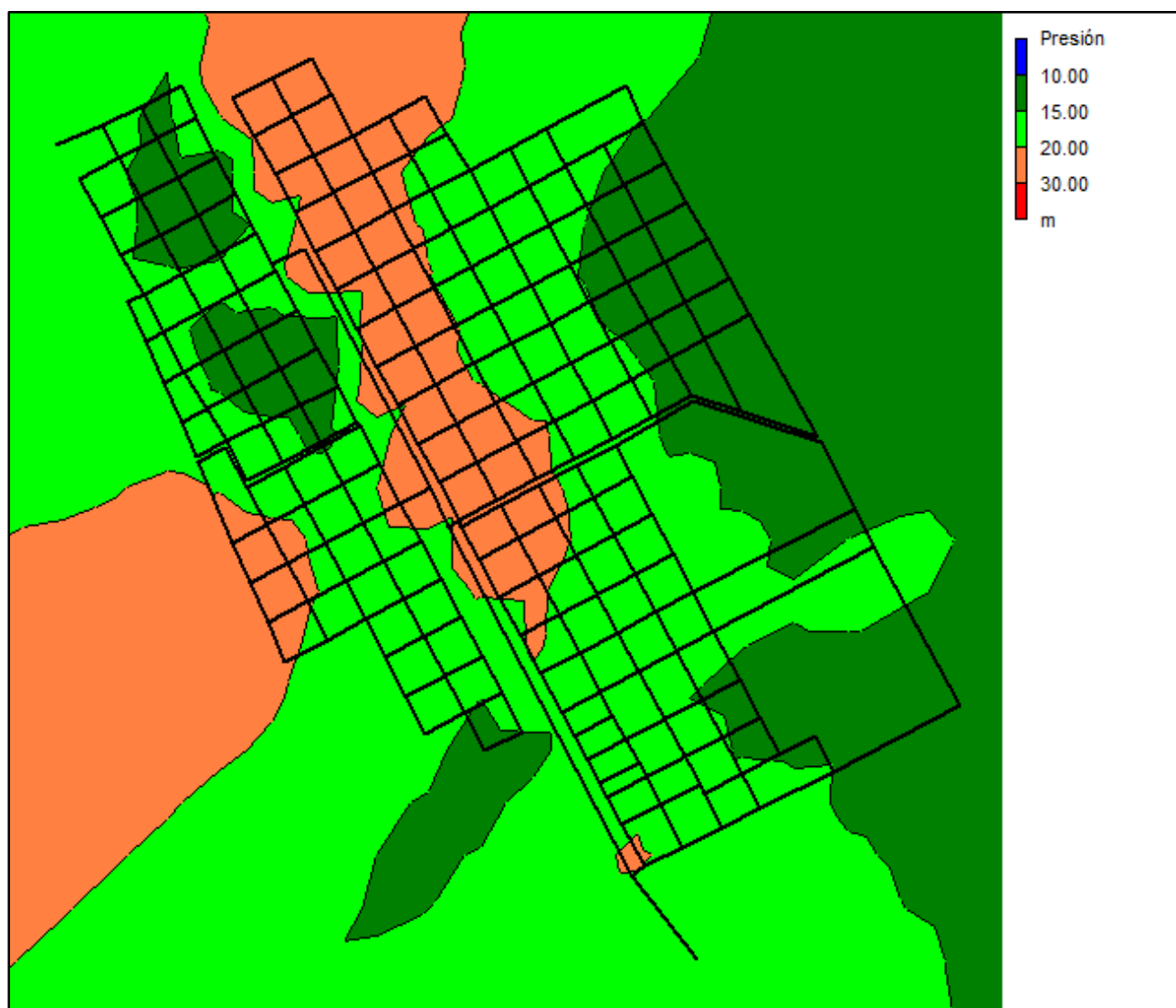


Figura 4: Isolíneas de presiones Escenario 2

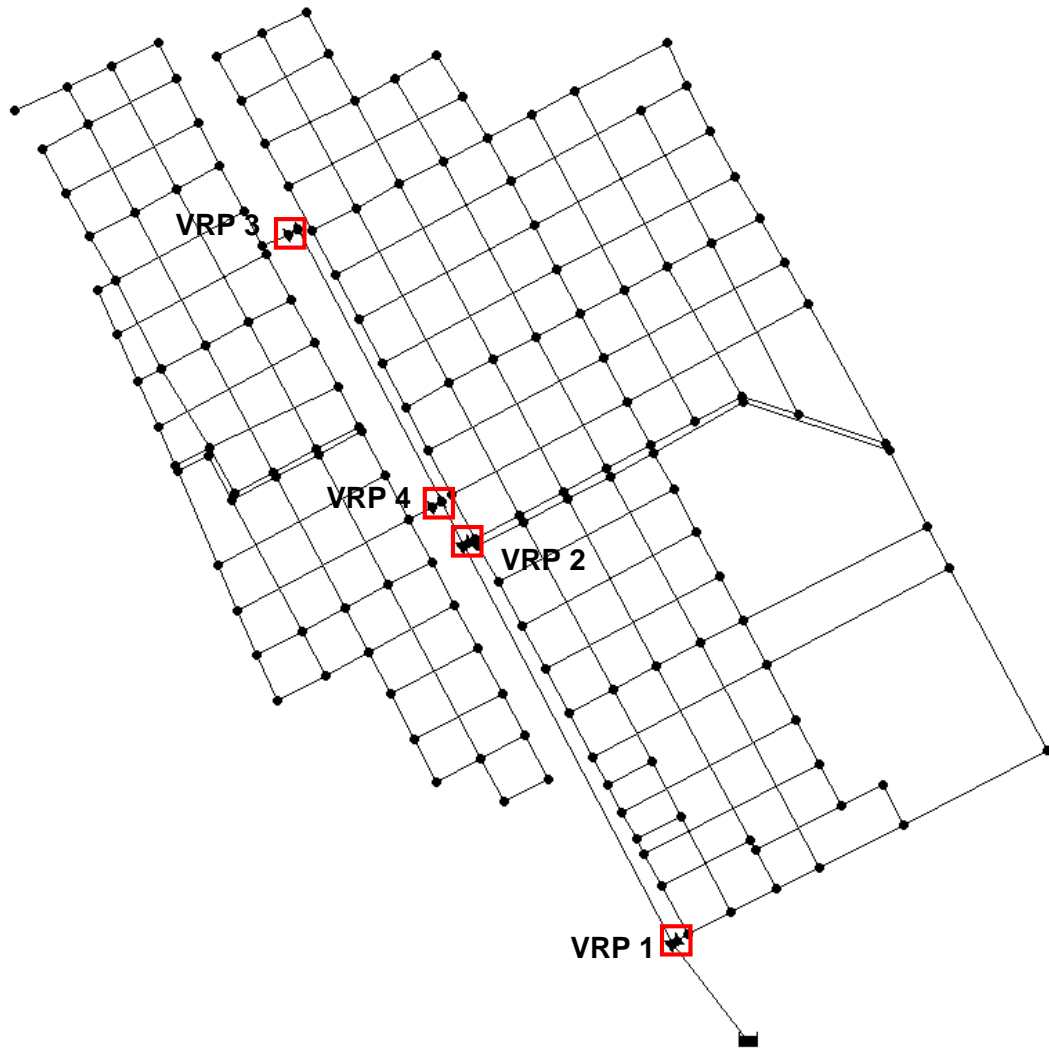


*Figura 5: Isolíneas de presiones Escenario 3*

En la Figura 3 puede verse que se tiene presiones mayores a 10 m en los sectores donde se reemplazan las cañerías en la primer etapa. En la gran mayoría de los demás sectores de la red no se alcanzan las presiones mínimas establecidas por la normativa. Por lo tanto, es necesario realizar modificaciones en la totalidad de la red.

En las Figura 4, Escenario 2, y Figura 5, Escenario 3, escenarios de presiones mínimas y máximas de la Etapa 2, puede verse que se cumple con las presiones extremas límites indicadas en los criterios de diseño de la norma ENOHSa.

En el Escenario 3 se evidencio la necesidad de instalación de válvulas reductoras de presión (VRP) para mantener estas entre los valores recomendados en los puntos de conexión de los sectores de la red con la cañería de provisión proveniente de la cisterna de acuerdo, a lo indicado a continuación.



*Figura 6: Detalle de ubicación de VRP en Etapa 2*

Las mismas tienen la consigna de reducción a 15 m (VRP 1) y 20 m (VRP 2), 25.3 m (VRP 3) y 25 m (VRP 4) permitiendo mantener dentro de las presiones máximas el sector oeste de la red. De esta forma las presiones mayores a 30 m quedarán sobre la cañería de provisión, en la cual no se efectuarán conexiones domiciliarias.

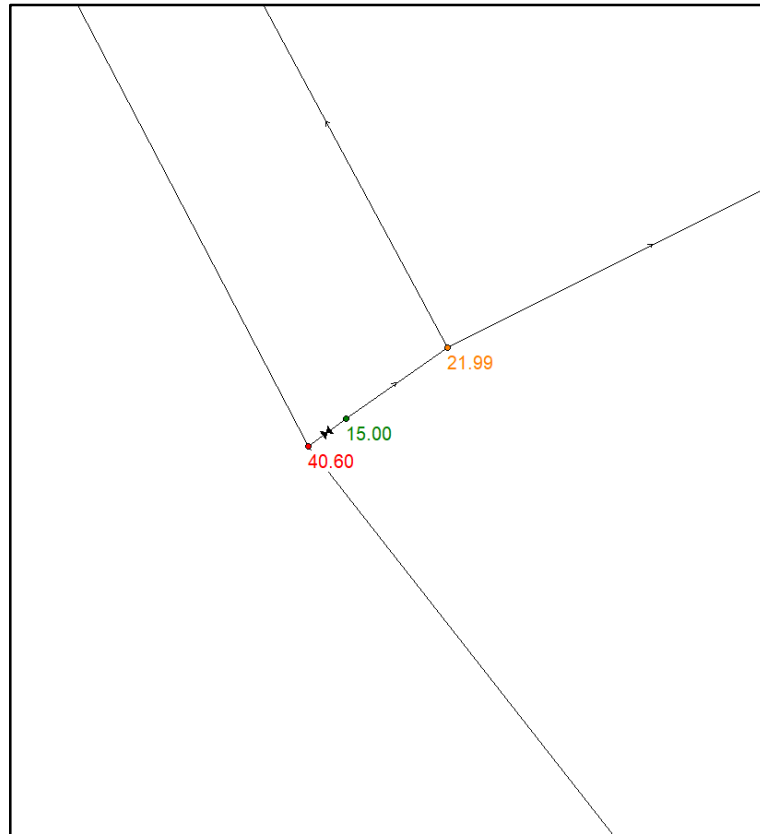


Figura 7: Presiones en VRP 1

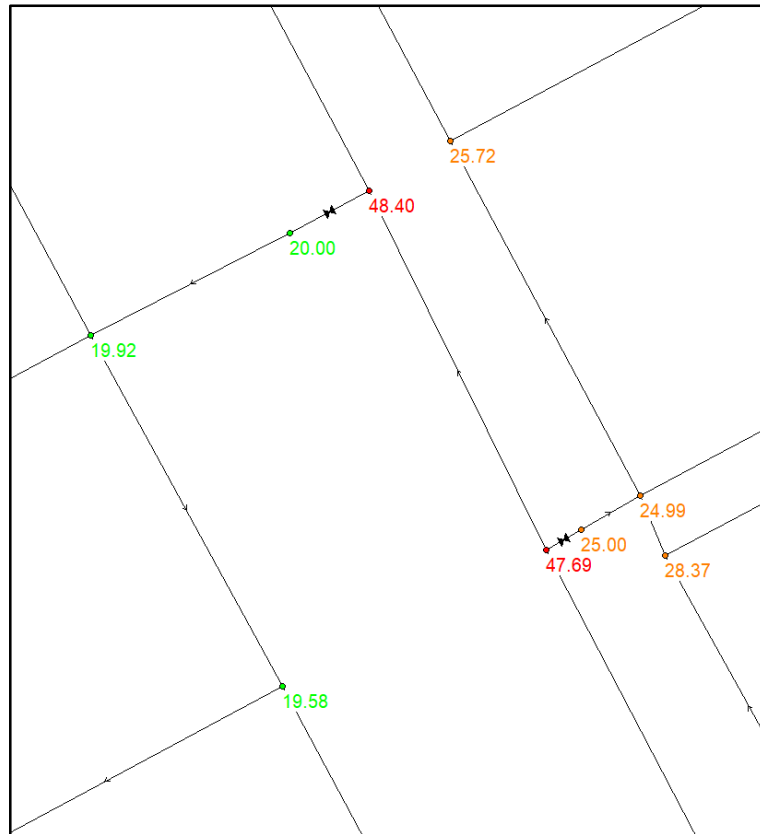


Figura 8: Presiones en VRP 2 y VRP 4

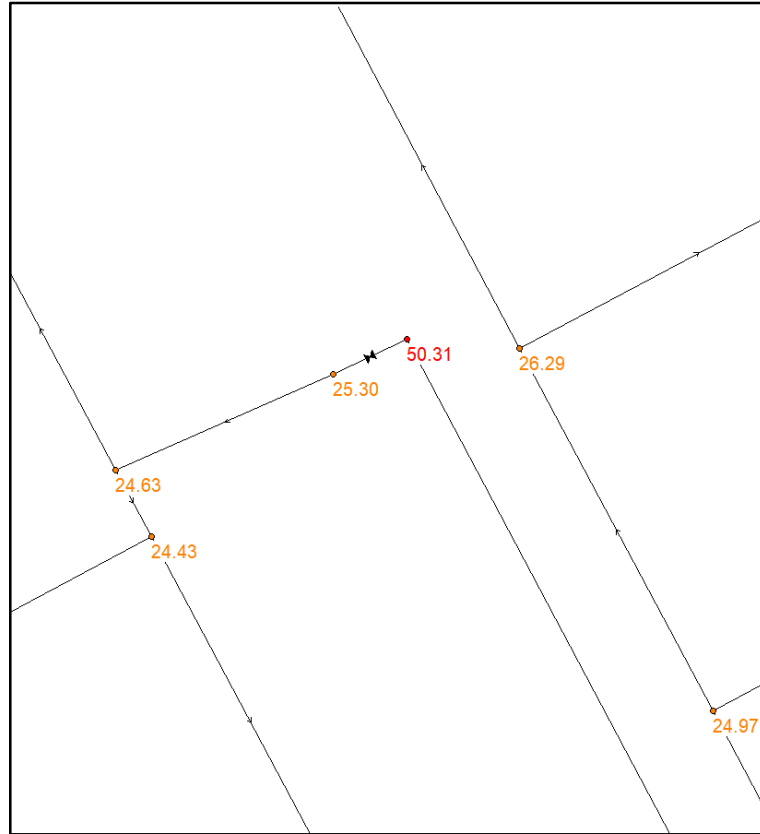


Figura 9: Presiones en VRP 3

### 3.4.2 Velocidades de trabajo

Se observa que las velocidades resultantes se encuentran dentro del límite inferior recomendado la norma ENOHSa, y dentro del límite máximo dado por el material de las cañerías, igual a 3 m/s.



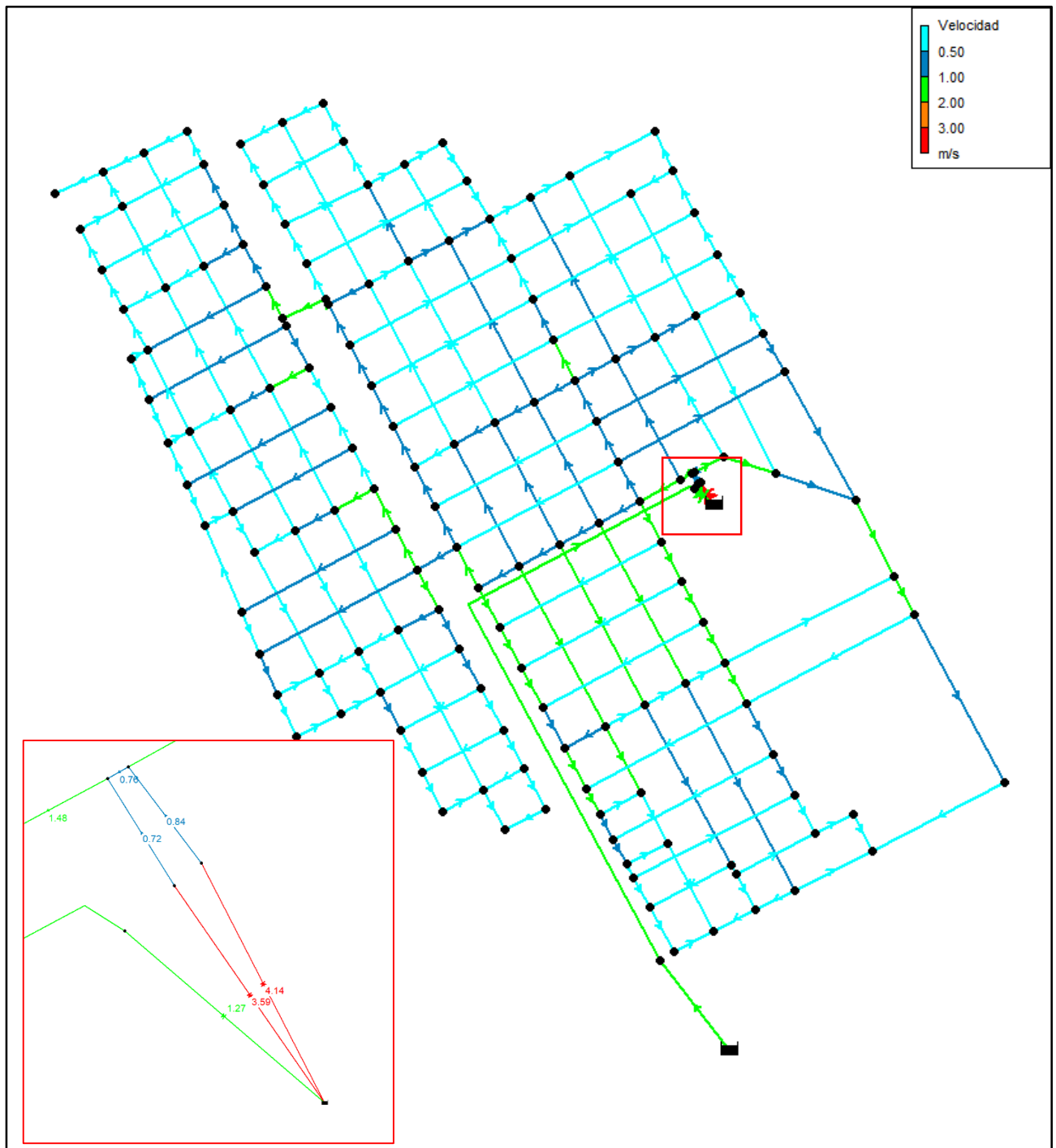


Figura 10: Esquema de velocidades Escenario 1

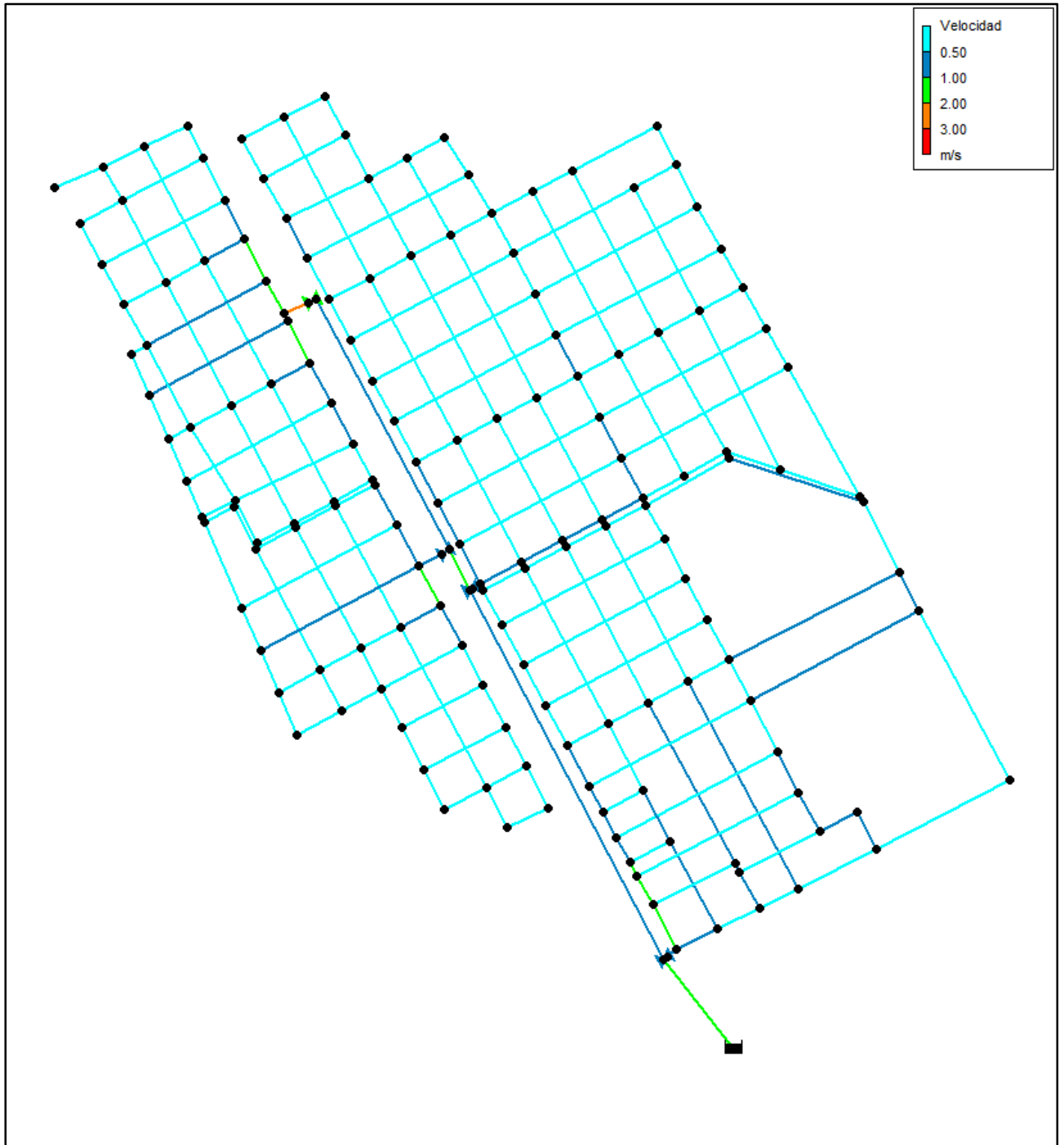


Figura 11: Esquema de velocidades Escenario 2

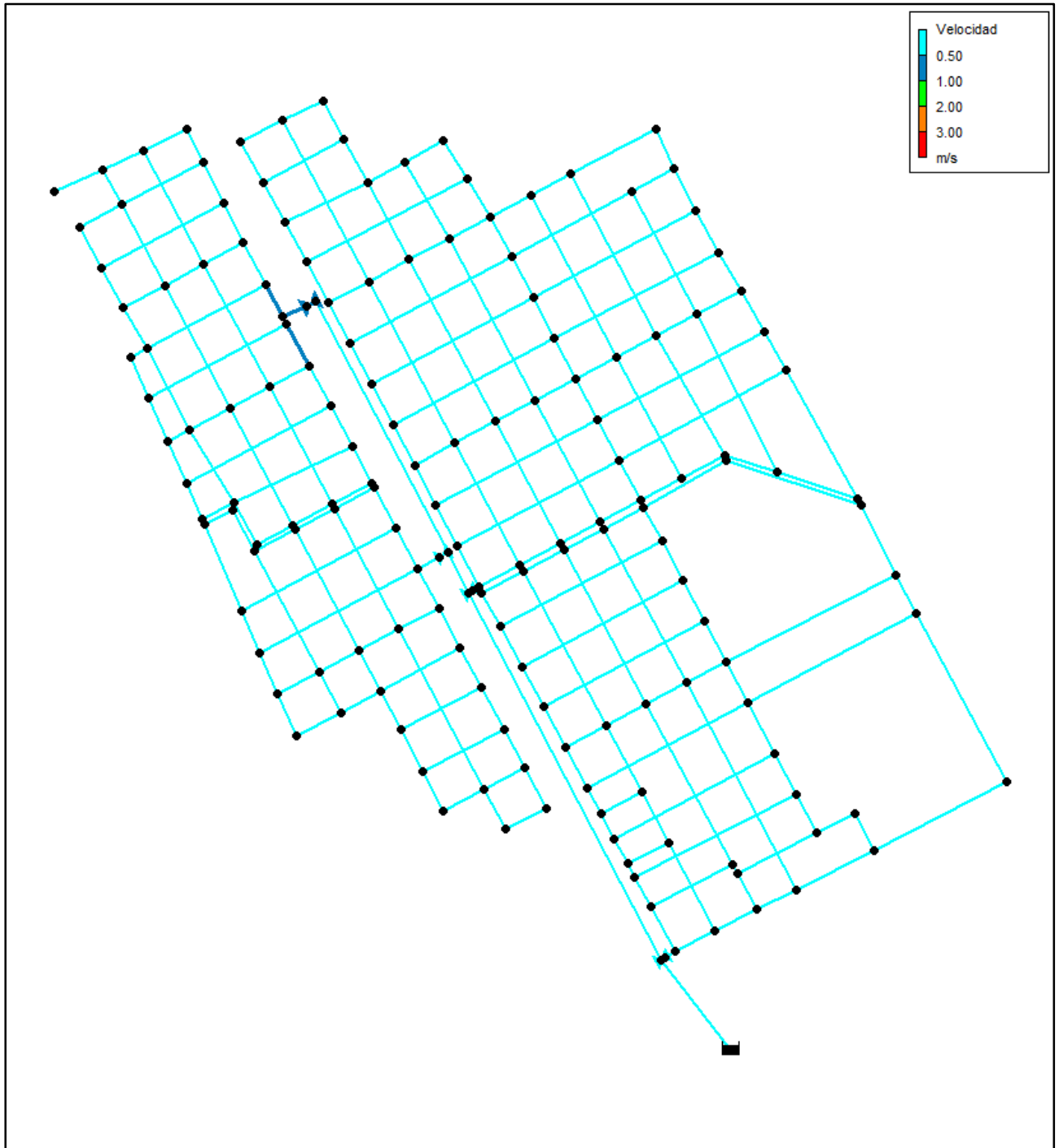


Figura 12: Esquema de velocidades Escenario 3

Los tramos del Escenario 1 () en el que se tienen velocidades mayores a 3 m/s (3.59 m/s y 4.14 m/s) se corresponde a la cañería de bajada existente del tanque elevado, la cual es de acero.

#### 4 MODELACIÓN HIDRÁULICA RED DE AGUA DE VILLA QUILINO

Se procede de igual manera que en el modelado de la Red de Quilino.

#### 4.1 ESCENARIOS DE MODELACIÓN DEL SISTEMA DE PROVISIÓN DE AGUA

Se desarrolló el modelo de red de la localidad en un escenario, correspondiente a la Etapa 1 del proyecto que se conformó con 115 nudos o conexiones, 148 tuberías o conductos y 1 reservorio, que representan a la cisterna de “La Loma”.

Cabe indicar que el reservorio, para el escenario de simulación se asumió a un nivel constante, es decir, no se simuló el funcionamiento hidráulico de la cisterna. Esto no afecta en absoluto los resultados obtenidos en el modelo de red, de acuerdo al objetivo del trabajo.

En la Figura 1 se puede apreciar una vista del complejo modelo de red desarrollado.

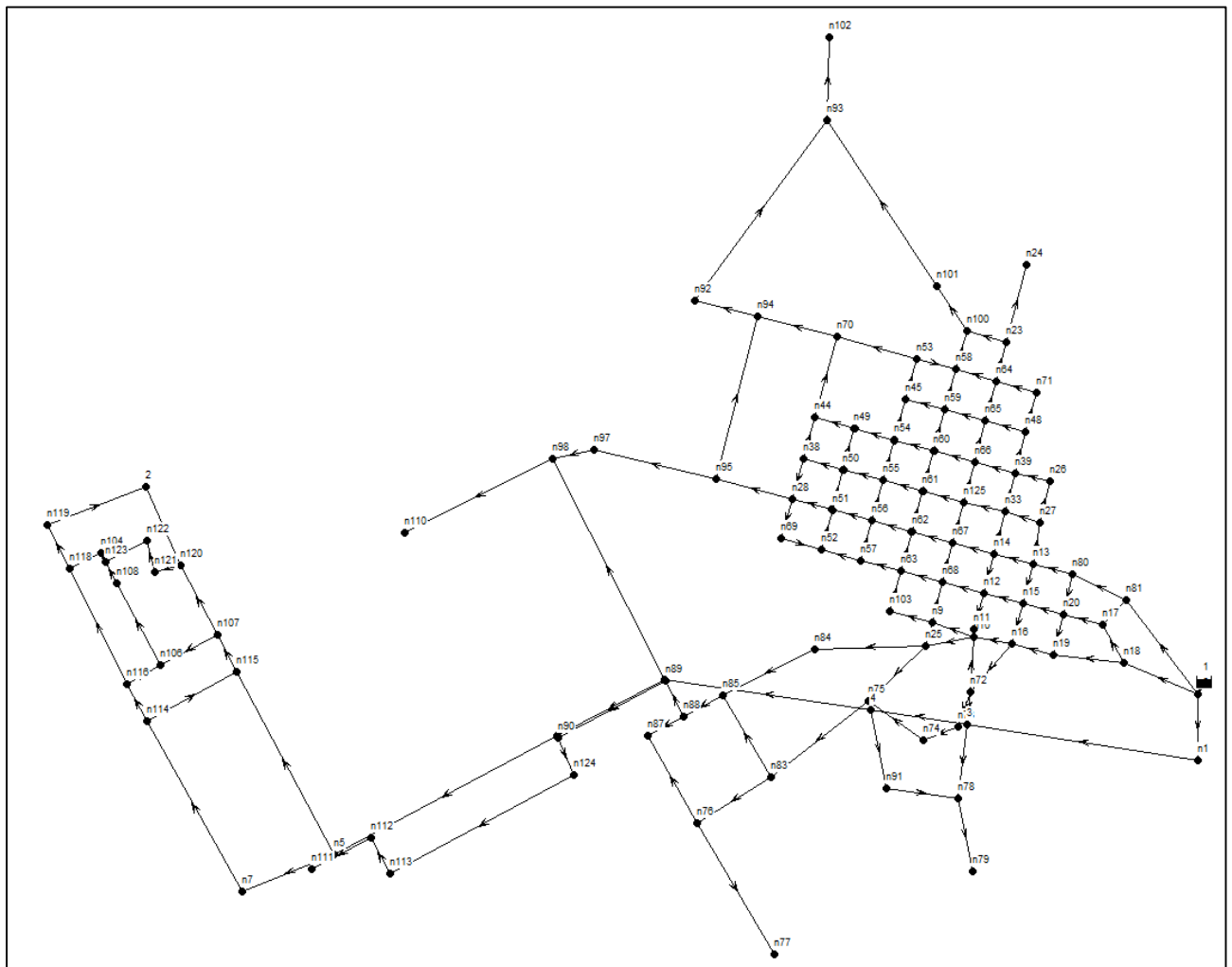


Figura 13: Esquema del modelo

De acuerdo con las etapas de ejecución del “Plan General de Provisión de Agua de Quilino y Villa Quilino” se planteó un escenario de modelación, el mismo se presenta a continuación:

- Consiste en la colocación de tramos adicionales de PEAD PE 100 PN 6 en los sectores más críticos, el total es 2962,50 m de diámetros desde 63 mm a 200 mm. La cisterna La Loma se contemplará con su nivel mínimo. Se utiliza el caudal máximo horario  $Q_{E0}$ .

## 4.2 RESULTADOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con las modelaciones en EPANET, tal y como se expresó anteriormente.

### 4.2.1 Presiones del sistema

Se presentan los resultados de presiones en los nodos del modelado del sistema mediante un gráfico de isóneas de presiones, debe tenerse en cuenta que ambas cisternas se encuentran aproximadamente en su máxima capacidad, es decir, el nivel de agua en las mismas se encuentra cerca del máximo.

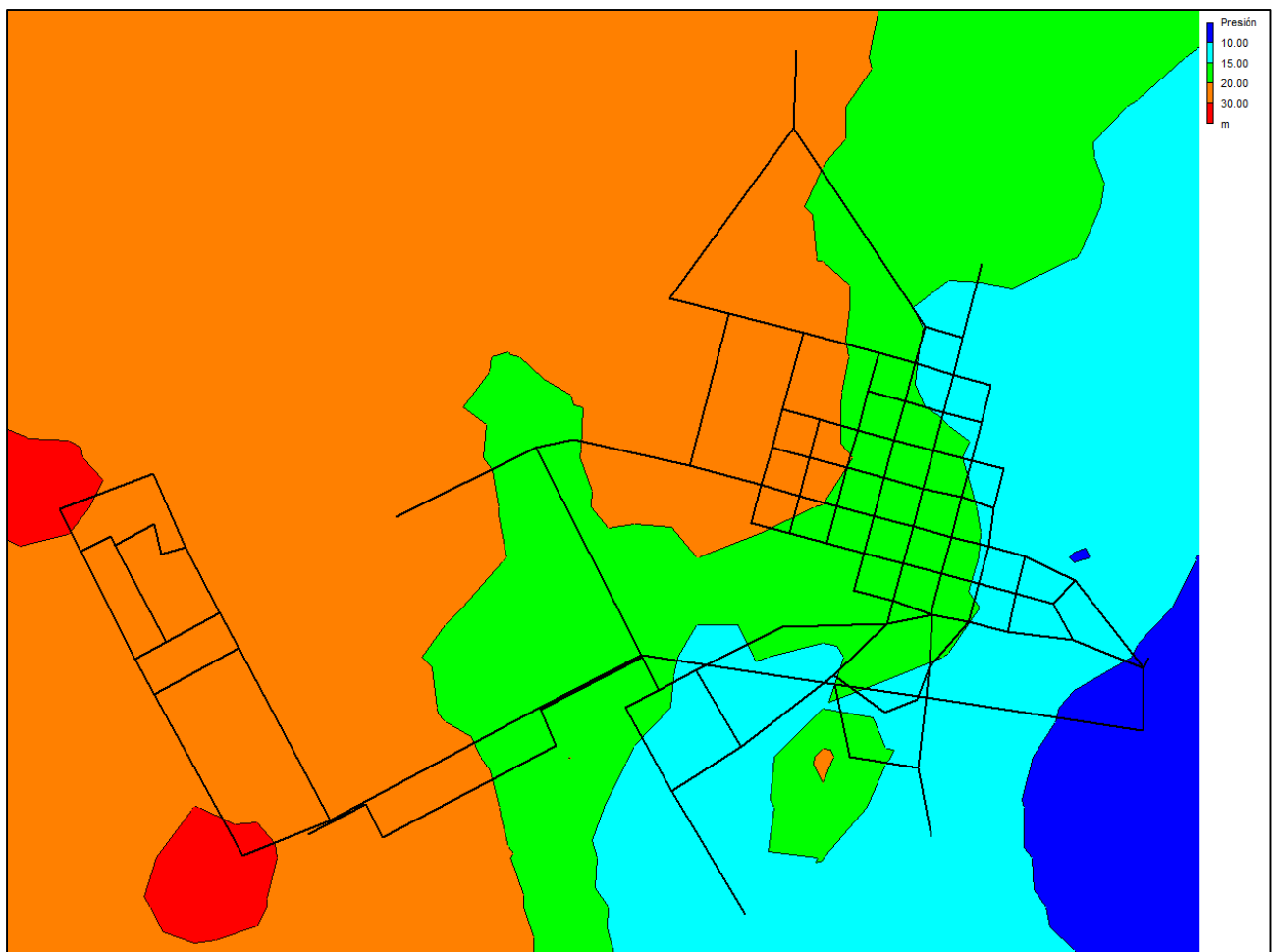


Figura 14: Isóneas de presiones

En la Figura 3 puede verse que en la gran mayoría de los demás sectores de la red se alcanzan las presiones mínimas establecidas por la normativa. Por lo tanto, es necesario realizar modificaciones planteadas en la red.

### 4.2.2 Velocidades de trabajo

Se observa que las velocidades resultantes se encuentran dentro del límite inferior recomendado la norma ENOHSa, y dentro del límite máximo dado por el material de las cañerías, igual a 3 m/s.

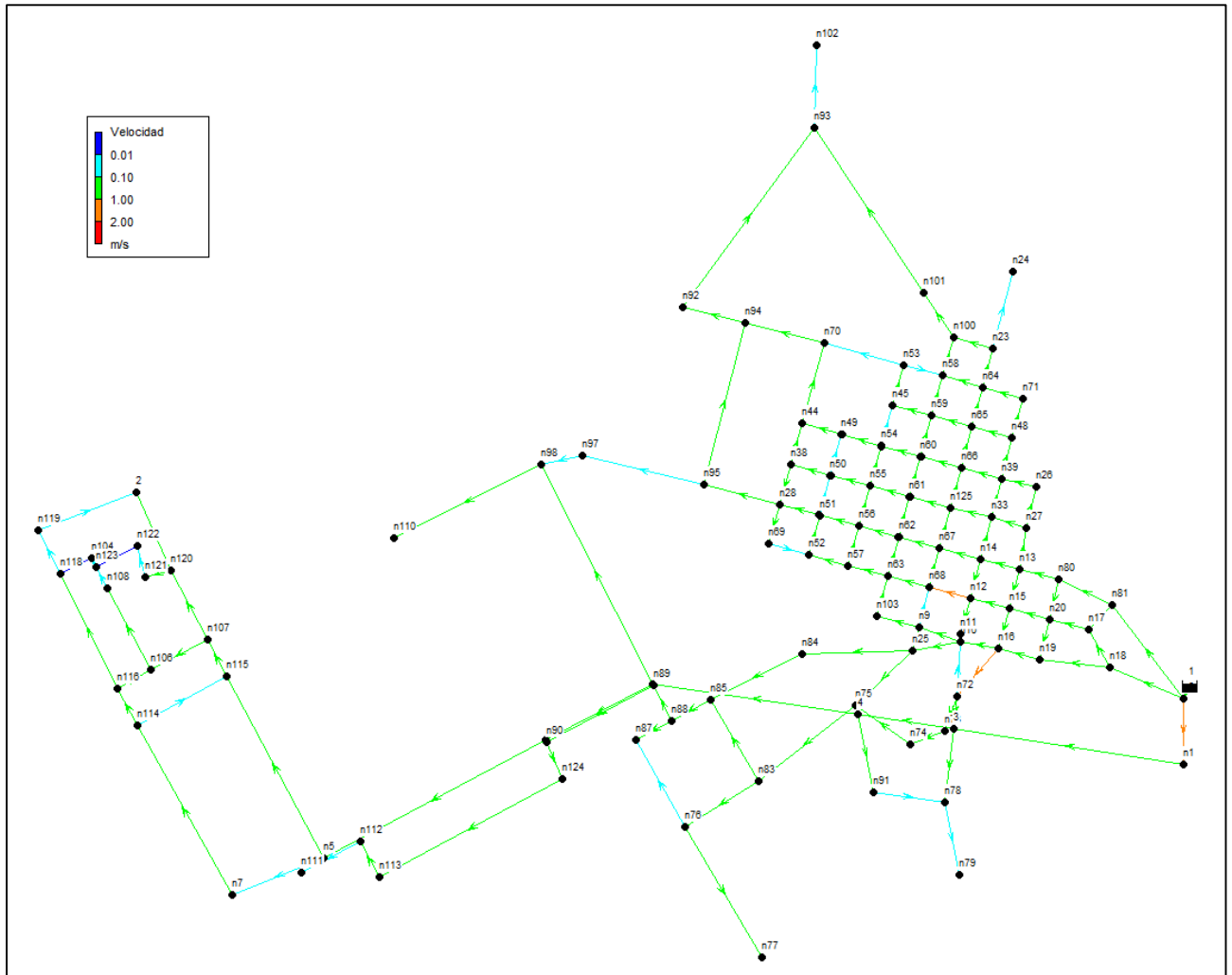


Figura 15: Esquema de velocidades

Todos los tramos tienen velocidades menores a 3 m/s.