

## 6.5. Ensayo de resistencia de la estructura de las instalaciones existentes

### 【Nivel de degradación de la estructuras existentes】

Generalmente, la parte interna de hormigón está compuesto de varillas de hierro y dicha superficie está cubierta con una película pasiva, protegiéndolo de la corrosión. Sin embargo, cuando baja el nivel de alcalinidad del interior del hormigón, o cuando existen compuestos tóxicos, se destruye la película pasiva, y las varillas pueden corroerse fácilmente. En la ilustración que se muestra a continuación se muestra el proceso de degradación del hormigón mediante la corrosión de las varillas.

La estructura construida en el año 1979, tiene una drástica degradación, pudiendo verificarse pérdida de agua en las paredes, despegue de los hormigones superficiales. La pared externa tiene un revoque de mortero o de pintura por encima del hormigón, por lo que fue difícil verificar el grado de degradación, pero las vigas y pilares internos de la estructuras, contaban con despegues de hormigón, exposición de varillas, fisuras, entre otros, por lo que sería difícil garantizar la seguridad de la estructura a largo plazo. Estos fenómenos muestran la degradación principalmente por el avance de la neutralización.

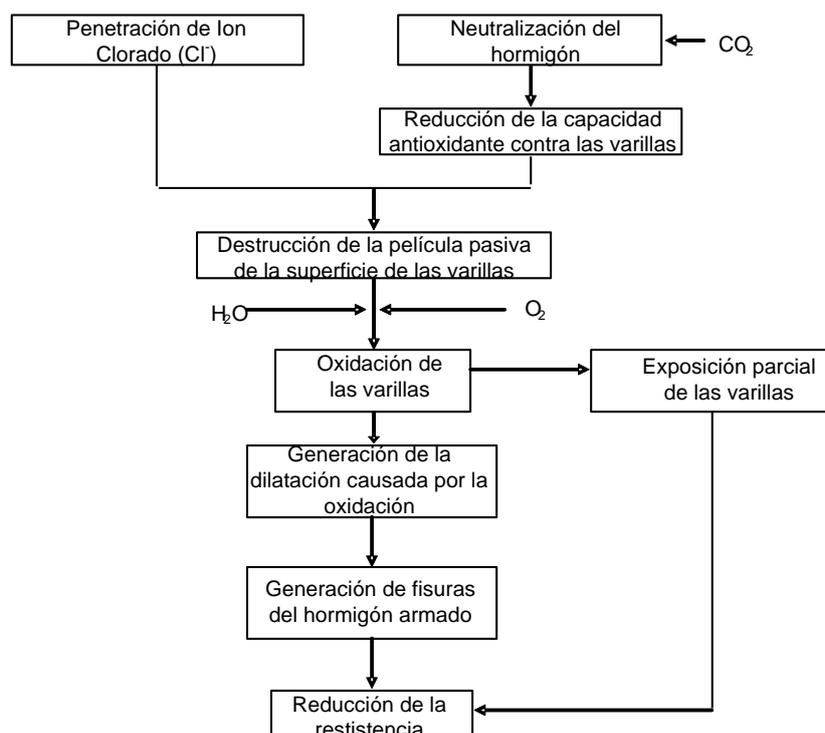


Figura 6.5.1 Proceso de degradación de estructura de hormigón debido a la corrosión de varillas de hierro

La parte interna del hormigón saludable tiene una fuerte alcalinidad, pero con el transcurso del tiempo, su valor de pH va en disminución a partir de la superficie por la influencia del bióxido de carbono del aire. Con la neutralización del hormigón, no se producirá el derrumbe en sí del hormigón por la pérdida de su resistencia, pero con la corrosión de las varillas internas, contribuirá a la reducción de la resistencia de la estructura debido al despegue, fisura que se produce por la corrosión de las varillas internas.

Especialmente cuando se trata de estructuras resistentes al agua, las coberturas de las varillas deben tener un grosor de 7 a 10 cm, pero en la estructura real, se observaron sitios en donde la cobertura solo era de 1 a 3 cm. Por otra parte, se constataron sitios en que la corrosión de las varillas internas estaba expuesta y adquirirían un color rojizo.

En el ensayo de resistencia con el martillo Schmith llevado por el equipo del estudio, en las paredes se ha detectado la dureza de unos  $30\text{N}/\text{nm}^2$ , pero en los pilares se obtuvieron datos inferiores a  $20\text{N}/\text{nm}^2$  y en parte valores inferiores a  $10\text{N}/\text{nm}^2$ . Como la dureza de diseño según el estándar es de  $24\text{N}/\text{nm}^2$ , para las estructuras de hormigón armado para piscina de filtro, se estima que existen zonas parciales en que la degradación está avanzando. Sin embargo, y pese a que existen limitaciones en la determinación del nivel de degradación a partir de la vista externa, tomando en cuenta los resultados del estudio mencionado, no se podría garantizar la seguridad de la estructura existente.

Como referencia, la vida útil para la evaluación de la devaluación del patrimonio en Japón, para las instalaciones de provisión y tanque de agua están reglamentadas en 50 años (estructura de hormigón armado), y 18 años para equipamientos. Por otra parte, se ha realizado la estimación de vida útil ( $Y_n$ ) en años de las estructuras basados en la velocidad de neutralización, según el “Guía para el cálculo de estructuras de construcción diseño de resistencia (tentativo)” publicado por la Asociación de Técnicos de Estructuras de Construcción del Japón (Organización Social).

$$Y_n = Y_0 \times A \times F \times G \times H + Y_f$$

$$Y_0 = \varphi \times K_1 \times C^2 / (K_2 / F_c + K_3)^2$$

$\varphi$ : Factor de reducción basado en el resultado de ensayo (0,5)

$K_1 \sim K_3$ : Factor que se determina según los materiales y el entorno

En el caso de hormigón normal del exterior,  $K_1=6$ ,  $K_2=150$ ,  $K_3=0.5$

$C$ : Profundidad límite de neutralización (Momento en el que la neutralización llega a las varillas, grosor de las cobertura estimada 30mm)

$F_c$ : Dureza estándar de diseño (estimado en  $21\text{N}/\text{mm}^2$ )

$A$ : Factor por tipo de hormigón (hormigón normal 1.0)

$G$ : Factor del estado de mantenimiento (En caso de no reparación 0,5)

$H$ : Factor de reducción relacionado con el entorno (entorno normal 1,0)

$Y_f$ : Vida útil del material de terminación para mantenimiento (no se considera)

$$Y_0 = 0.5 \times 6 \times 30^2 / (150/21 + 0.5) = 46.2$$

$$Y_n = 46 \times 1.0 \times 0.5 \times 1.0 + 0 = 23(\text{año})$$

Por lo mencionado, la vida útil estándar se estima en 46 años, pero en el caso que casi no se haya realizado la reparación, la vida útil basado en la velocidad de neutralización se reduce a la mitad con 23 años. Sin embargo, estos son cifras estimadas, y la pared externa de la estructura local se notan rastros de reparaciones del pasado. Sin embargo, por el grosor de la cobertura de la varilla, estado de mantenimiento, se podría estimar que actualmente ya está cumpliendo su vida útil.

## 6.6. Estudio para los equipos de bombas

### (1) Ciudad de Concepción

#### 1) Envergadura de la bomba de toma de agua

El volumen de toma de agua, será un valor que incluya unos 10% de agua para trabajo de bombeo en la planta al volumen de demanda máxima del día.

Volumen de toma de agua = 10.760m<sup>3</sup>/día (7,5m<sup>3</sup>/seg.)

Cálculo hidrológico: Formula de Hazen Williams  $I = 10,666 \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times Q^{1,85}$

Cuadro 6.6.1 Resultado del cálculo hidrológico de la cañería de aducción de Concepción

Ítem	Valor
Caudal	0,125 m <sup>3</sup> /seg,
Diámetro interno de la cañería	0,300 m
Factor de velocidad	110
Pendiente de conducción de agua (I)	0,0133
Distancia de tramo (torre de toma a planta)	150 m
Cabeza hidráulica perdida por fricción (h1)	2,0 m
Nivel de agua de piscina de recepción	GL+ 79,1 m
Nivel de agua baja del torre de toma (LWL)	GL+ 65,7 m
Elevación real máxima (h2)	13,4 m
Pérdida de succión (h3)	0,2 m
Elevación total necesaria (h1+h2+h3)	15,6 m
Elevación total del diseño (H)	16 m

#### 2) Curva de sistema de la bomba de toma de agua

La curva de sistema de la bomba estimada para los casos en que se tome el agua planificada con la operación de bombas, es como se muestra en la figura 6.6.1. Como la variación de nivel de agua del río Paraguay es grande, la elevación real de la curva de resistencia varía cerca de 6m. Como la bomba vertical tiene su impulsor dentro del agua, no existe el temor de cavitación, y se puede tener una toma de agua estable a una variación amplia de elevación. En el caso que la operación sea realizada por una sola unidad en forma temporal por cuestiones de operación de la planta, como la curva de capacidad de la bomba se intercepta con la curva de resistencia, podrá continuar con la toma sin controlar la válvula de expulsión.

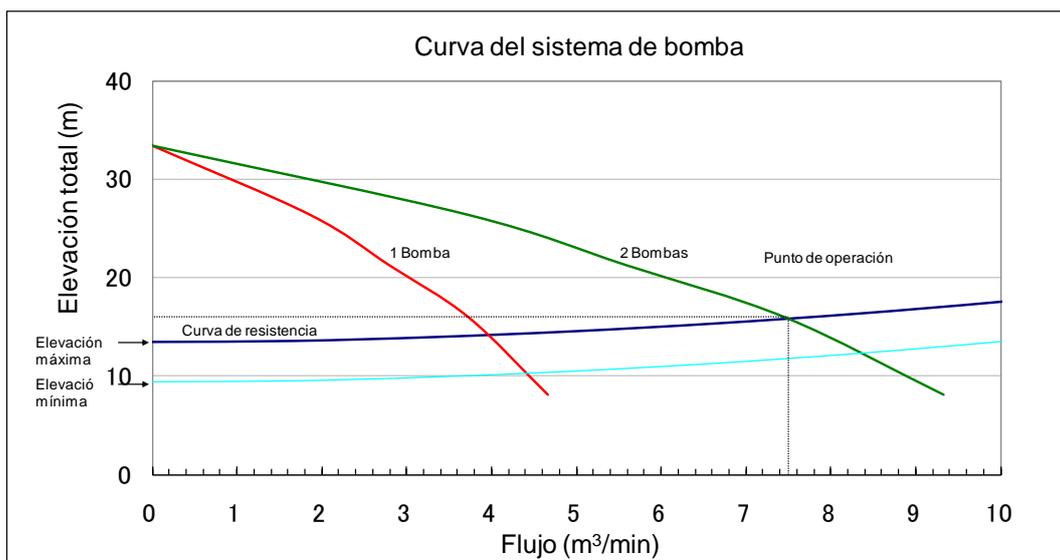


Figura 6.6.1 Curva de sistema de las bombas de toma de agua de Concepción (previsto)

### 3) Envergadura de las bombas de envío

El volumen de envío planificado será, el volumen de demanda máxima del día.

Volumen de envío planificado =  $8.151 \text{ m}^3/\text{día} \times 1,2 = 9.781 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $6,8 \text{ m}^3/\text{min.}$ )

Cálculo hidrológico: Fórmula de Hazen-Williams  $I = 10,666 \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times Q^{1,85}$

Cuadro 6.6.2 Resultado del cálculo hidrológico de la aductora de Concepción

Ítem	Valores
Caudal	0,113 m <sup>3</sup> /seg,
Diámetro interno de la cañería	0,300 m
Factor de velocidad	110
Pendiente de conducción de agua (I)	0,0112
Distancia de tramo (torre de toma a planta)	2.630 m
Cabeza hidráulica perdida por fricción (h1)	29,5 m
Nivel de agua de piscina de distribución de la planta (LWL)	GL+ 71,0
Nivel de agua alta del tanque elevado (HWL)	GL+ 107,3
Elevación real máxima (h2)	36,3 m
Pérdida de succión (h3)	0,5 m
Elevación total necesaria (h1+h2+h3)	66,3 m
Elevación total del diseño (H)	67 m

### 4) Curva de sistema de la bomba

La curva del sistema de las bombas previstas para el caso que se realice la toma de agua del volumen de envío planificado con la operación de 2 bombas, es como se muestra en la figura 6.6.2. En el caso que la cantidad de operación bomba sea 1 en forma temporal por cuestiones de operación de la planta, el punto de operación de la bomba, estará fuera de la curva de resistencia por lo que será necesario ajustar la válvula de expulsión para variar la curva de la resistencia.

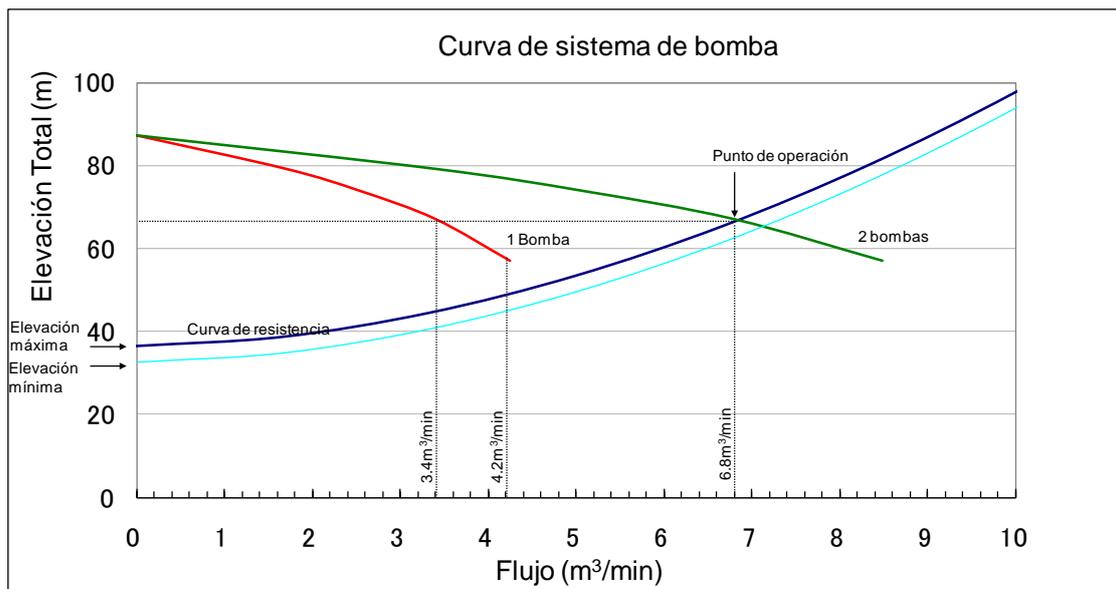


Figura 6.6.2 Curva de sistema de la bomba de envío de Concepción (Previsto)

(2) Ciudad de Pilar

1) Envergadura de la bomba de toma de agua

El volumen de toma de agua planificado será un valor en el que se incluya un 10% de agua bombeada en la planta, al volumen de demanda máxima del día.

Volumen de toma de agua planificada = 8.200m<sup>3</sup>/día (5,7m<sup>3</sup>/min.)

Calculo hidrológico: Fórmula de Hazen-Williams  $I = 10,666 \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times Q^{1,85}$

Cuadro 6.6.3 Resultado del cálculo hidrológico de la aductora de Pilar

Ítem	Valor
Caudal	0,095 m <sup>3</sup> /seg,
Diámetro interno de la cañería	0,250 m
Factor de velocidad	110
Pendiente de conducción de agua (I)	0,0196
Distancia de tramo (torre de toma a planta)	60 m
Cabeza hidráulica perdida por fricción (h1)	1,2 m
Nivel de agua de piscina de recepción	GL+ 62,3 m
Nivel de agua baja del torre de toma (LWL)	GL+ 48,8 m
Elevación real máxima (h2)	13,5 m
Pérdida de succión (h3)	0,5 m
Elevación total necesaria (h1+h2+h3)	15,2 m
Elevación total del diseño (H)	16 m

2) Curva de sistema de la bomba de toma de agua

La curva de sistema de la bomba prevista para el caso que la toma del volumen planificado se realice con la operación de 2 unidades es como se muestra en la figura 6.6.3.

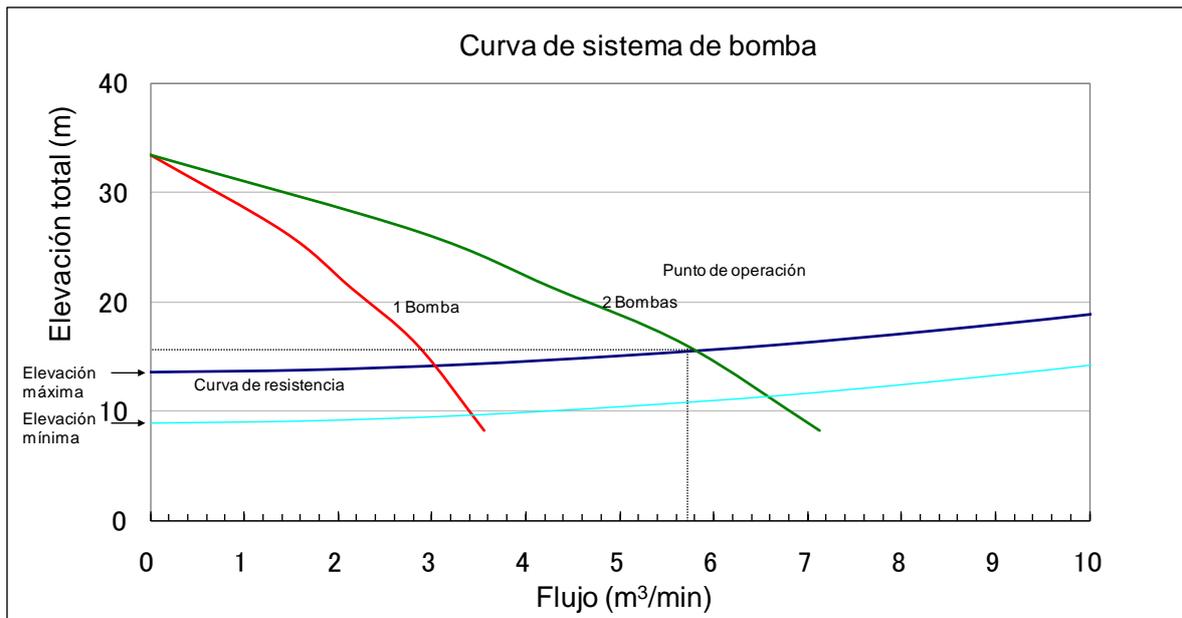


Figura 6.6.3 Curva del sistema de bomba de toma de agua de Pilar (previsto)

### 3) Envergadura de la bomba de envío

El volumen de envío planificado será el volumen máximo de demanda por día. Sin embargo, del volumen de demanda promedio del día  $6.212\text{m}^3/\text{día}$  para el año meta,  $5.125\text{m}^3/\text{día}$  será distribuido al centro y sur de la ciudad y  $1.087\text{m}^3/\text{día}$  para el sector norte. Por lo tanto, el volumen de toma de agua de la bomba de envío a ser planificado por el Japón será como sigue:

Volumen de envío planificado =  $5.125\text{m}^3/\text{día} \times 1,2 = 6.150\text{ m}^3/\text{día}$  ( $4,3\text{m}^3/\text{min}$ )

Cálculo hidrológico: Fórmula de Hazen-Williams  $I = 10,666 \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times Q^{1,85}$

Cuadro 6.6.4 Resultado del cálculo hidrológico de la cañería de aducción de Pilar

Ítem	Valores
Caudal	$0,071\text{ m}^3/\text{seg,}$
Diámetro interno de la cañería	0,300 m
Factor de velocidad	110
Pendiente de conducción de agua (I)	0,0047
Distancia de tramo (sala de bomba a tanque elevado)	4,040 m
Cabeza hidráulica perdida por fricción (h1)	19,0 m
Nivel de agua de piscina de distribución de la planta (LWL)	GL+ 54,3 m
Nivel de agua alta del tanque elevado (HWL)	GL+ 79,8 m
Elevación real máxima (h2)	25,5 m
Pérdida de succión (h3)	0,5 m
Elevación total necesaria (h1+h2+h3)	45,0 m
Elevación total del diseño (H)	45 m

#### 4) Curva de sistema de la bomba de envío

La curva del sistema de la bomba prevista para el caso que la toma de volumen de agua a ser enviada se realice con la operación de 2 bombas es como se muestra en la figura 6.6.4. En el caso que la operación sea de una sola unidad en forma temporal por cuestiones de operación de la planta, el punto de operación de la bomba estará fuera de la curva de resistencia, por lo que será necesario variar la curva de resistencia cerrando la válvula del lado de expulsión.

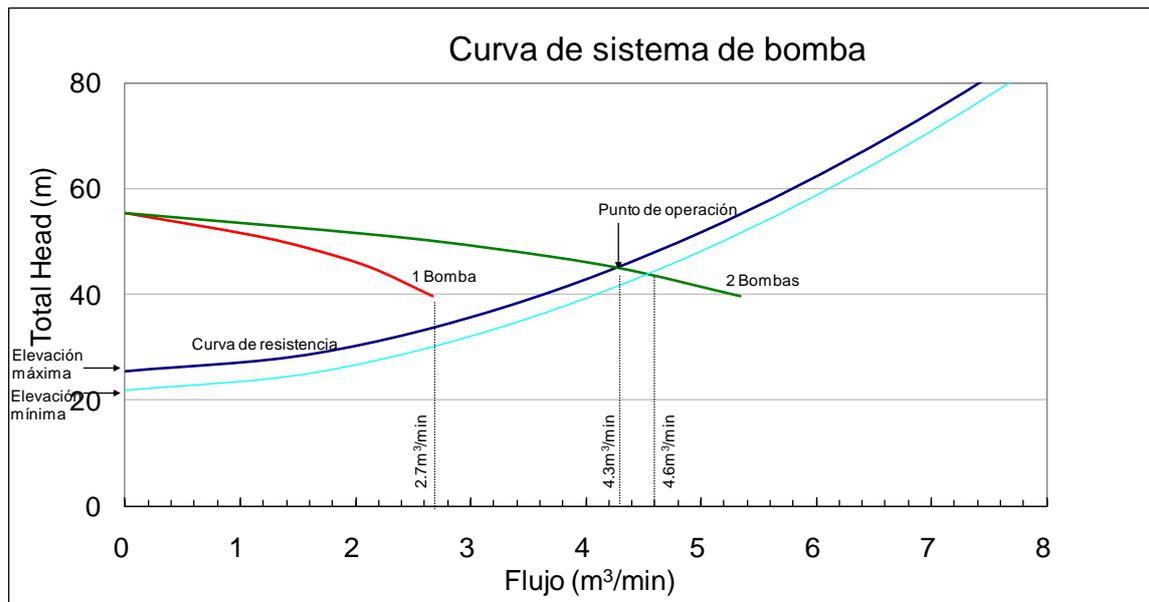


Figura 6.6.4 Curva de sistema de la bomba de envío de Pilar (previsto)

## 6.7 Evaluación del sistema de tratamiento de la planta existente

### 6.7.1 Planta de Concepción

#### (1) Evaluación de capacidad respecto al caudal

Se puede evaluar la capacidad de producción de agua en la planta por los siguientes 2 aspectos:

- Capacidad de tratar el caudal de captación diseñado.
- Capacidad de distribuir el agua tratada reduciendo al mínimo la pérdida de agua en el interior de la planta.

Teniendo en cuenta dichos aspectos, se ha analizado la capacidad respecto al caudal como se indica más abajo. No obstante, con el objeto de evaluar la planta de corriente vertical, se ha realizado el análisis restando la cantidad de producción de las mini-plantas compactas.

Cuadro 6.7.1 Evaluación de la planta de Concepción respecto al caudal  
(planta de corriente vertical)

Parámetro	Unidad	Resultado	Observaciones
Caudal de tratamiento diseñado (caudal de captación diseñado)	m <sup>3</sup> /día	10,800	
Resultado real sobre el caudal de tratamiento promedio (Excepto mini-plantas)	m <sup>3</sup> /día	6,346	De la cantidad de producción total desde mayo hasta diciembre de 2009 (7,786m <sup>3</sup> /día) se ha reducido la cantidad de producción correspondiente de las mini-plantas (1,440m <sup>3</sup> /día).
Tasa de cumplimiento respecto al caudal de tratamiento diseñado	%	58.8	
Cantidad de agua utilizada dentro de la planta (Excepto mini-plantas)	m <sup>3</sup> /día	359	De la cantidad de producción total desde mayo hasta diciembre de 2009 (503m <sup>3</sup> /día) se ha reducido la cantidad de producción correspondiente de las mini-plantas (144 m <sup>3</sup> /día).
Proporción del agua utilizada en la planta	%	5.7	Incluida la pérdida de agua dentro de la planta.
Resultado real sobre el caudal de distribución promedio por día (Excepto mini-plantas)	m <sup>3</sup> /día	5,987	De la cantidad de producción total desde mayo hasta diciembre de 2009 (7,283m <sup>3</sup> /día) se ha reducido la cantidad de producción correspondiente de las mini-plantas (1,296m <sup>3</sup> /día).
Tasa de cumplimiento respecto a la distribución real de agua	%	94.3	Caudal de distribución promedio / caudal de tratamiento promedio

La capacidad de tratar el caudal de captación diseñado es una condición primordial que todas las plantas deben de asegurar. No obstante, tal como se muestra en el cuadro de arriba, la tasa de cumplimiento respecto al caudal de tratamiento diseñado es sumamente baja, situándose en el 58.8%.

Asimismo, la tasa de cumplimiento sobre la distribución de agua, que indica la proporción del caudal de distribución respecto al caudal de tratamiento promedio, es del 94.3%, y la cantidad de agua utilizada dentro de la planta ocupa el 5.7%. Lo que ocurre es que en la planta de Concepción se realiza el retrolavado del tanque de filtración directa y del tanque de filtración rápida al mismo tiempo, para reducir el tiempo de retrolavado y aumentar de esta manera el caudal asignado para la distribución, lo cual es una operación inadecuada. Como consecuencia de esto, aunque se reduce la cantidad de agua que se consume dentro de la planta, no se pueden conseguir los efectos propiamente esperados del retrolavado, dando lugar a una deficiencia en la calidad del agua filtrada.

Además de esto, son problemas importantes la existencia de fugas de agua en las tuberías y válvulas obsoletas, así como en las estructuras de diferentes infraestructuras, y también el desecho de agua sin utilizar.

## (2) Evaluación de la capacidad respecto a la calidad del agua

La capacidad de la planta de tratamiento de agua potable respecto a la calidad del agua puede evaluarse por si logra producir o no una calidad de agua que satisfaga los parámetros permisibles que establecen las normas de agua potable en Paraguay.

Como uno de los requisitos primordiales que deben asegurar las plantas de tratamiento de agua potable, se requiere que el agua tratada cumpla las normas de la calidad del agua potable, establecidas por el gobierno durante las 24 horas de los 365 días del año, aunque haya cambios en la calidad del agua cruda.

En las plantas controladas por la ESSAP se analizan periódicamente 6 parámetros (color, turbiedad, pH, cloro residual, alcalinidad total y conductividad eléctrica), y se informa del resultado a la oficina central. Por otra parte, el personal encargado de la oficina central visita cada planta una vez al mes, para tomar las muestras de agua y analizarlas en Asunción.

Se informa de los resultados obtenidos a través del análisis en la planta a la oficina central telefónicamente. Sin embargo, no se cumple el sistema de comunicación ni el procedimiento de registro de los resultados, e incluso se deja de recopilar los datos en algunos momentos, confirmándose así deficiencias en el sistema de control.

A continuación, se muestra la calidad del agua tratada (valores medios mensuales) que controla la oficina central de la ESSAP. En los meses de febrero, julio, agosto y noviembre, los datos enviados desde la planta a la oficina central no estaban recopilados, y faltaban algunos datos debido a que los equipos de dicha oficina se encontraban en proceso de mantenimiento, razón por la cual se han confirmado el color y la turbiedad del agua de dichos meses directamente en los registros de la planta.

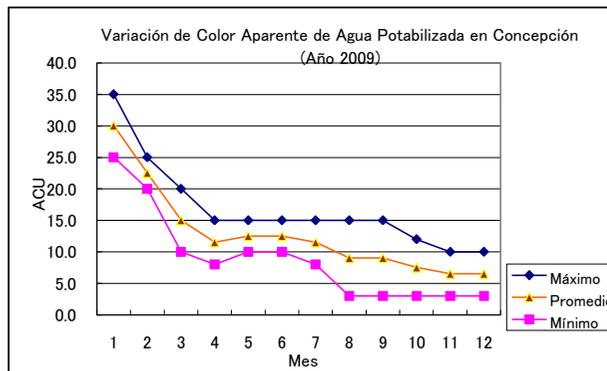
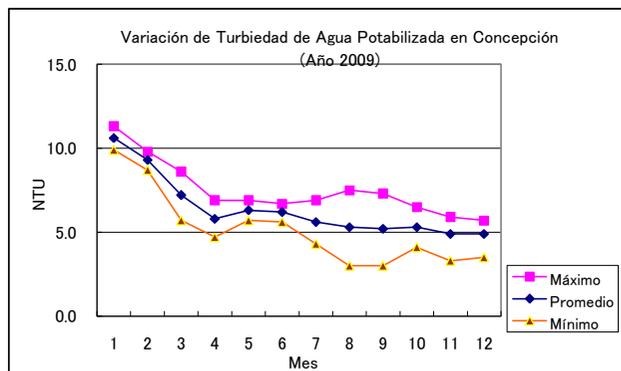
Cuadro 6.7.2 Resultado del análisis de la calidad de agua tratada en la planta de Concepción (Valor Promedio Mensual)

N°	Parámetros	Unidad	Año 2009												Límite Admisible (ERSSAN)	Lugar de Control (Frecuencia)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1	Color Aparente	ACU	30.0	22.5	15.0	11.5	12.5	12.5	11.5	9.0	9.0	7.5	6.5	6.5	-	Planta (Horario)
2	Turbiedad	NTU	18.6	9.2	7.2	5.8	6.3	6.2	5.6	5.3	5.2	5.2	4.9	4.9	5	Planta (Horario)
3	pH	-	6.9	-	7.1	6.8	8.4	8.4	-	-	7.6	8.4	-	6.8	6.5-8.5	Planta (Horario)
4	Cloro Residual (Libre)	mg/L	2.0	-	1.8	0.9	2.5	2.0	-	-	3.0	2.0	-	2.0	2.0 <sup>※2</sup>	Planta (Horario)
5	Alcalinidad Total	mg-CaCO <sub>3</sub> /L	20	-	22	19	29	35	-	-	31	36	-	24	250	Planta (Horario)
6	Conductividad	μ S/cm	-	-	141.8	135.5	160.0	141.6	-	-	115.3	119.0	-	136.2	1250	Planta(1vez/día)
7	Aluminio	mg/L	0.054	-	0.137	-	0.060	-	-	-	0.195	0.151	-	0.026	0.2	ESSAP Asunción (1vez/mes)
8	Cloruro	mg/L	20.5	-	8.9	-	10.0	8.5	-	-	6.5	7.0	-	8.5	250	ESSAP Asunción (1vez/mes)
9	Hierro Total	mg/L	-	-	0.37	-	0.89	-	-	-	0.15	0.11	-	0.26	0.3	ESSAP Asunción (1vez/mes)
10	Sulfato	mg/L	26.0	-	56.0	-	25.7	-	-	-	19.0	20.2	-	24.1	400	ESSAP Asunción (1vez/mes)
11	Sílice	mg/L	22.37	-	19.84	-	23.00	-	-	-	16.15	16.22	-	16.41	30	ESSAP Asunción (1vez/mes)
12	Nitrógeno Anmoniacal	mg/L	0.04	-	0.04	-	0.04	-	-	-	0.01	0.01	-	0.01	0.05	ESSAP Asunción (1vez/mes)
13	Nitrito	mg/L	0.00	-	0.01	-	0.00	-	-	-	0.00	0.00	-	0.00	0.1	ESSAP Asunción (1vez/mes)
14	Nitrato	mg/L	0.04	-	0.11	-	0.67	-	-	-	3.26	3.30	-	1.73	45	ESSAP Asunción (1vez/mes)
15	Dureza Total	mg-CaCO <sub>3</sub> /L	48	-	57	-	76	65	-	-	64	54	-	49	400	ESSAP Asunción (1vez/mes)
16	Sólido Disuelto Total	mg/L	165	-	66	-	83	74	-	-	72	63	-	68	1000	ESSAP Asunción (1vez/mes)
17	Coliforme Total	Col/100mL	0	-	0	-	0	0	-	-	0	0	-	0	0	ESSAP Asunción (1vez/mes)
18	Coliforme Fecal	Col/100mL	0	-	0	-	0	0	-	-	0	0	-	0	0	ESSAP Asunción (1vez/mes)

※1: Cedura sin valor se debe a la falta de datos en el Dept. Control de Calidad.

※2: Valor máximo en el grifo

A-87



El color que se analiza en la planta es el color aparente. Por las experiencias del pasado, se sabe que el valor del color aparente multiplicado por 0.7 u 0.8 corresponde más o menos al color real. En el cuadro de abajo se muestran los resultados de la comparación con las normas de agua potable de Paraguay.

Cuadro 6.7.3 Datos generales sobre la turbiedad y color

Parámetro	Unidad	Normas de agua potable en Paraguay		Normas de agua potable en OMS	Calidad del agua tratada en Concepción
		Valor permisible	Valor recomendado		
Color aparente	ACU (grado)	-	-	-	El color promedio está dentro del rango de 6.5 a 30 grados. En enero se registraron 30 grados, y a partir de enero, se observa una mejora continua. Sin embargo, el valor promedio es de 6.5 grados, y a veces el valor asciende hasta 10 grados.
Color real (supuesto)	TCU	15	5	15	Se supone que en enero el valor promedio superaba los 20 grados. A partir de enero, se ve una mejora, sin embargo, se considera que apenas existen casos en que el valor quede por debajo de 5 grados.
Turbiedad	NTU	5	1	1 (promedio) 5 (una única muestra)	La turbiedad promedio está dentro del rango de 5 a 11 NTU. En enero el valor promedio superó 10 NTU. A partir de enero, se ve una mejora. Sin embargo, la turbiedad promedio supera el valor permisible establecido en Paraguay casi todos los meses.

La calidad del agua tratada en Concepción se muestra pésima en enero. A partir de este mes, se ve una notable mejora de la calidad como consecuencia de la renovación de la arena de filtración en febrero y marzo. Sin embargo, a partir de abril, la turbiedad se mantiene casi sin variación. En diciembre la turbiedad promedio registra 4.9NTU (valor máximo: 5.7NTU).

En cuanto al color (aparente), también se observa la misma tendencia, manteniéndose casi el mismo valor sin variación. El color promedio de diciembre es de 6.5NTU, registrándose un máximo de 10NTU.

La turbiedad y el color se utilizan extensamente como índices para evaluar el funcionamiento del sistema de agua potable, siendo parámetros muy importantes para advertir algún peligro sobre la calidad del agua. Tal como se ha mencionado anteriormente, con el sistema actual no se puede producir agua tratada de manera estable, cumpliendo las normas paraguayas, razón por la cual es evidente que la planta no cuenta con la capacidad de tratamiento de agua potable respecto a la

calidad de agua.

La turbiedad del agua tratada supera 5NTU en ambas ciudades, y resulta difícil mejorar dicho valor tomando medidas operativas. En el río Paraguay se descarga directamente el agua servida, razón por la cual resulta sumamente alto el riesgo de enfermedades infecciosas de origen hídrico debidas a microbios patógenos resistentes al cloro, etc., siendo necesario mejorar cuanto antes el sistema actual de tratamiento de agua potable.

Las plantas de otras ciudades bajo la jurisdicción de la ESSAP cuentan, además de los tanques de filtración rápida por gravedad, con los tanques de coagulación y tanques de sedimentación. Sin embargo, sólo las 2 ciudades en cuestión no tienen otra alternativa que realizar la operación con el sistema muy especial.

Como consecuencia de esto, la calidad del agua potable suministrada actualmente no puede cumplir las normas paraguayas, lo que se considera que conlleva riesgos para la salud. Además, es bajo el grado de satisfacción sobre el agua potable por parte de los usuarios, siendo abundantes los reclamos especialmente respecto a la calidad del agua.

Según las directrices de la OMS sobre agua potable, el valor estándar de la turbiedad es de 5NTU en caso de una única muestra, y 1NTU como valor promedio. Por otra parte, las normas de agua potable en Paraguay establecen el valor permisible en 5NTU y el valor recomendado en 1NTU. El valor permisible significa el valor que se permite temporalmente en caso de fuerza mayor, por lo que el control de la calidad del agua en la planta debe realizarse en base al valor recomendado, que corresponde al valor deseable para la salud.

En la mayoría de los países que no pueden aplicar una alta tecnología de tratamiento de agua potable, como la filtración por membrana, se reconoce la necesidad de garantizar la seguridad para la calidad del agua potable a través del control de la turbiedad, por lo que se puede decir que la disminución de la turbiedad es una tarea que deben tratar los administradores de las empresas municipales de agua potable.

(3) Resultado de la prueba de jarras

A continuación, se indica el resultado de la prueba de jarras con el agua cruda de Concepción.

Cuadro 6.7.4 Resultado de la prueba de jarras

pH	Ítems	Dosis aplicada de Sulfato de Aluminio (mg/L)					
		35	40	45	50	55	60
7.6	Turbiedad (NTU)	13.1	6.3	1.2	2.0	3.8	3.8
	Color Real (TCU)	50	25	5	5	5	5
8.0	Turbiedad (NTU)	8.6	6.7	2.4	1.2	0.8	0.6
	Color Real (TCU)	30	15	10	10	5	5
8.6	Turbiedad (NTU)	10.8	8.2	4.2	1.4	0.5	0.4
	Color Real (TCU)	50	30	25	10	10	10
Condición de Agua Cruda		Temperatura =29.5°C pH=7.6 Color Real =130TCU Turbiedad =15.9NTU Alcalinidad=48mg/L					

Según estos resultados, el efecto de coagulación mejora ligeramente por el ajuste de pH, sin embargo, cuando la tasa de dosificación es alta, la mejora de dicho efecto se reduce.

La tasa de dosificación del sulfato de aluminio para la turbiedad residual más baja es de 60mg/L, sin embargo, en cuanto a la eliminación del color, no se han confirmado efectos del ajuste de pH.

Dependiendo del estado del agua cruda, el resultado de la prueba varía. Sin embargo, según las experiencias de la ESSAP, no se nota apenas diferencia de efectos del sulfato de aluminio entre 50mg/L y 60mg/L, en cuanto a la tasa de dosificación.

Por todo lo anterior, no se realiza el ajuste de pH del agua cruda a la hora de adicionar el sulfato de aluminio en el control de operación de la planta.

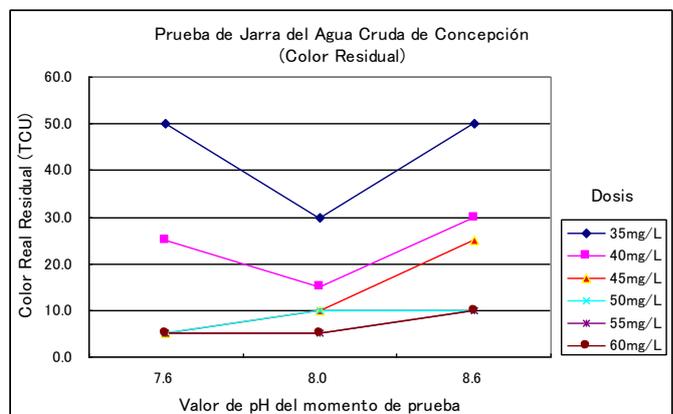
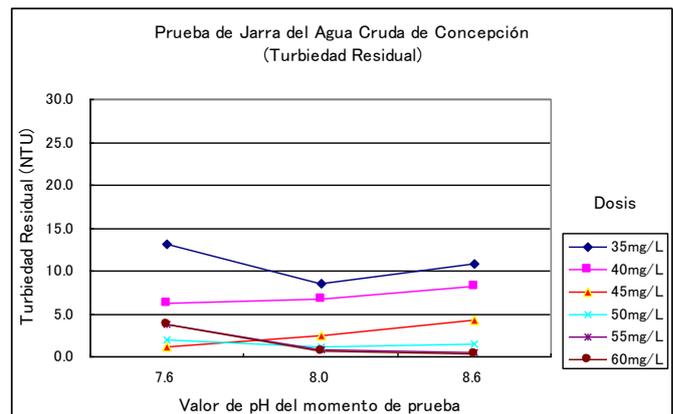


Figura 6.7.1 Resultado de la prueba de jarras

#### (4) Puntos importantes del tratamiento de agua potable

Las impurezas en el agua se dividen a grosso modo en materiales solubles y materiales suspendidos (insolubles), clasificándose generalmente en el grupo de materiales solubles los componentes que pasan por un filtro de papel con orificios de 1 a 2  $\mu\text{m}$  de diámetro, y en grupo de materiales suspendidos los componentes residuales que quedan sobre dicho filtro. (En caso del filtro de membrana, los orificios tienen un diámetro de 0.45  $\mu\text{m}$ .)

El coloide es una impureza con un diámetro de 1 nm a 1  $\mu\text{m}$ , pero no se comporta junto con el agua como si fuera material soluble, sino que su comportamiento es más parecido al del material suspendido. Si la molécula de agua tuviese un diámetro de 1 mm, el tamaño del grano coloidal sería aproximadamente de 1 m. Por lo tanto, aunque el coloide pertenece al grupo soluble según la clasificación por el filtro de papel, se debe tratarlo como si fuera material suspendido grueso por su comportamiento.

A continuación, se indican el diámetro de la impureza y el proceso de eliminación correspondiente. Cuando se trata de un ámbito inferior a 1  $\mu\text{m}$  o superior a 1 nm, existen procesos de separación directa, sin embargo, para los coloides del ámbito intermedio no existen dichos procesos, por lo que se requieren trabajos tales como coagulación y floculación.

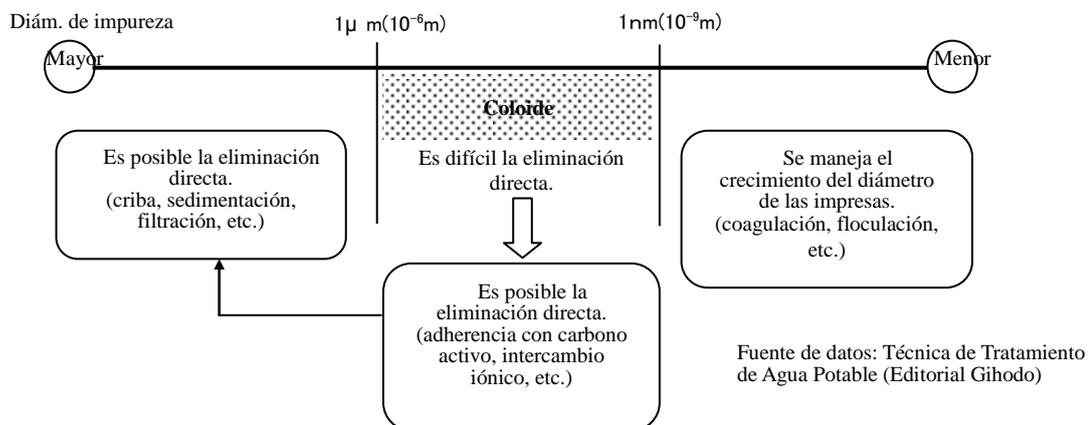


Figura 6.7.2 Diámetro de impureza y proceso de eliminación

En lo que se refiere al color, existen “color aparente”, que se da por los componentes de turbiedad, y “color real”, que permanece aun después de eliminar dichos componentes. El agua cruda del río Paraguay tiene el color real fuerte debido principalmente al ácido húmico (sustancia corrosiva de los vegetales, etc.). El ácido húmico es una fracción corrosiva que se sedimenta con el ácido, razón por la cual se puede eliminar mediante tratamiento de coagulación y floculación.

Por lo tanto, cuando se da importancia a la eliminación de color, se considera que es bueno realizar el tratamiento de agua potable en un rango de ácido débil. Según el análisis complementario de la prueba de jarras (sin ajuste de pH), se ha visto el mejor efecto de coagulación con una tasa de dosificación de 45mg/L, la alcalinidad del agua cruda ha disminuido de 40mg/L a 20mg/L, y el pH de 7.6 a 5.8, habiéndose formado flóculos de 0.5 a 0.75mm de diámetro, aproximadamente. Por otra

parte, cuando se aplicó una tasa de dosificación inferior a 30mg/L, no se logró el efecto de coagulación.

En las plantas de ambas ciudades, Concepción y Pilar, se realiza el tratamiento sin adicionar producto alcalino en el agua cruda, lo cual se practica para eliminar el ácido húmico. Se puede considerar que este tratamiento es razonable también por el resultado de la prueba de jarras. Sin embargo, debido a la falta de instalaciones para los tratamientos adecuados de coagulación y floculación, resulta imposible suministrar agua potable que satisfaga las normas de calidad del agua.

La cantidad de sulfato de aluminio que se inyecta para la eliminación del color, en función de las características del agua cruda como las mencionadas arriba, es mayor de la que se necesita para eliminar la turbiedad. Los flóculos formados así son esponjosos y vulnerables.

El contenido de hierro del agua del río Paraguay es de 2 a 3mg/L, guardando la concentración del mismo una estrecha correlación con el color. Cuando existe una convivencia entre el agua de colorido fuerte y un alto contenido en hierro, se considera que dicho hierro forma un complejo con el material orgánico del agua, convirtiéndose en hierro coloidal. En este caso, con una aireación sencilla no se puede esperar apenas el efecto de oxidación. Por lo tanto, se considera eficiente eliminar el hierro junto con los componentes colorantes (coloide) mediante la coagulación con el sulfato de aluminio en un pH bajo (alrededor de 5.5).

#### (5) Pertinencia del proceso actual de tratamiento de agua

Tal como se ha venido mencionado, los tanques de filtración directa no son capaces de desempeñar la función de eliminar la suciedad de manera suficiente. En dichos tanques no se capta la suciedad (componentes de turbiedad y color, sulfato de aluminio, etc.) que contiene el agua cruda, y la totalidad de la capa de arena se hace dilatada y esponjosa, razón por la cual la mayoría de la suciedad se queda en el agua de la superficie. Según el estudio local, la turbiedad del agua de la superficie, antes de entrar en el tanque de filtración rápida, oscila entre 30 y 45NTU, confirmándose que la carga que se ejerce a dicho tanque es demasiado grande.

Esta carga excesiva en el tanque de filtración rápida produce el círculo vicioso de empeorar la calidad del agua tratada y reducir la cantidad de la misma, teniéndose que realizar, además, el retrolavado con más frecuencia.

Asimismo, en el caso de existir componentes colorantes húmicos, como en el agua cruda del río Paraguay, resulta que la proporción de Al/T (cantidad de sulfato de aluminio según la turbiedad) es mayor para el tratamiento del agua cruda. Los flóculos formados bajo esta condición tienen una resistencia pequeña, y aunque se captan en el tanque de filtración, se rompen fácilmente por el esfuerzo cortante que produce el cambio de corriente del agua, siendo fácil que queden disueltos dentro del agua filtrada.

En el caso de la ciudad de Concepción, se aplica un sistema muy especial, con la combinación de tanques de filtración directa y tanques de filtración rápida, por lo que es difícil hacer la evaluación de acuerdo con las directrices técnicas normales. Sin embargo, es evidente que las características del

agua cruda no son aptas para adoptar la filtración directa. Aunque dicha filtración cumple la función de tratamiento previo, se puede juzgar que el proceso actual de tratamiento no es razonable en absoluto.

#### (5) Flujo de tratamiento apto par la calidad del agua cruda

El flujo de tratamiento apto para la calidad del agua cruda del río Paraguay es el que se aplica para el método de tratamiento ordinario, que es el método básico para tratar el agua del río.

El punto clave para el cambio del proceso de tratamiento es la eliminación de los tanques de filtración directa y la construcción de nuevas instalaciones para el proceso de floculación y sedimentación. Con esto se puede separar y sedimentar adecuadamente los componentes de suciedad, bajar la turbiedad hasta un cierto nivel y tratar el agua de la superficie de los tanques de filtración rápida.

En la figura de abajo se muestra el flujo que se requiere para el tratamiento del agua cruda del río Paraguay.

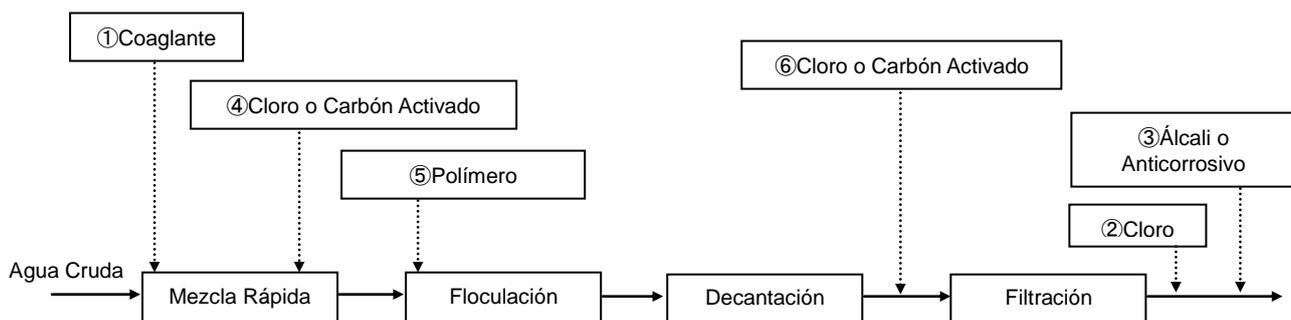


Figura 6.7.3 Flujo de tratamiento ordinario que se debe aplicar

Las líneas ①, ② y ③ indicadas en el diagrama de arriba son las mismas que existen en la planta actual para adicionar productos químicos.

Las líneas ④ y ⑥ son las que deben preverse para atender el cambio futuro de la calidad del agua o la modificación de las normas sobre la calidad. En cuanto al hierro total y manganeso, si se puede asegurar la eliminación de la suciedad, es bastante probable que cumplan con las normas paraguayas, considerando el estado actual de tratamiento. Sin embargo, para prevenir contra posibles problemas futuros de hierro disuelto o manganeso, se deberían dejar espacios para adicionar un tratamiento previo o intermedio con cloro.

Asimismo, cuando se requieran tomar medidas contra el trihalometano originado por los componentes colorantes, será necesario considerar la adición de carbón activado, sin embargo, en el momento actual no es un tema apremiante.

Es deseable que se considere adicionar polímero en la línea ⑤, como agente coagulante complementario.

## 6.7.2 Planta de Pilar

### (1) Evaluación de capacidad respecto al caudal

Se puede evaluar la capacidad de producción de agua en la planta por los siguientes 2 aspectos:

- Capacidad de tratar el caudal de captación diseñado.
- Capacidad de distribuir el agua tratada reduciendo al mínimo la pérdida de agua en el interior de la planta.

Cuadro 6.7.5 Evaluación de la planta de Pilar respecto al caudal  
(planta de corriente vertical)

Parámetro	Unidad	Resultado	Observaciones
Caudal de tratamiento diseñado (caudal de captación diseñado)	m <sup>3</sup> /día	6,912	
Resultado real sobre el caudal de tratamiento promedio	m <sup>3</sup> /día	4.404	Cantidad de producción desde enero hasta diciembre de 2009
Tasa de cumplimiento respecto al caudal de tratamiento diseñado	%	63.7	
Cantidad de agua utilizada dentro de la planta	m <sup>3</sup> /día	752	Cantidad de agua consumida dentro de la planta desde enero hasta diciembre de 2009
Proporción del agua utilizada en la planta	%	17.1	Incluida la pérdida de agua dentro de la planta.
Resultado real sobre el caudal de distribución promedio por día	m <sup>3</sup> /día	3,652	Cantidad de distribución desde enero hasta diciembre de 2009
Tasa de cumplimiento respecto a la distribución real de agua	%	82.9	Caudal de distribución promedio / caudal de tratamiento promedio

La capacidad de tratar el caudal de captación diseñado es una condición primordial que todas las plantas deben de asegurar. No obstante, tal como se muestra en el cuadro de arriba, la tasa de cumplimiento respecto al caudal de tratamiento diseñado es sumamente baja, situándose en el 63.7%.

Asimismo, la tasa de cumplimiento sobre la distribución de agua, que indica la proporción del caudal de distribución respecto al caudal de tratamiento promedio, es del 82.9%, y la cantidad de agua utilizada dentro de la planta ocupa el 17.1%. En la planta de Pilar se realiza el retrolavado del tanque de filtración directa y del tanque de filtración rápida de manera totalmente independiente, lo cual es la operación deseable. Por otra parte, como una de las razones de ser muy alta la tasa de agua consumida dentro de la planta, correspondiente al 17%, se puede indicar la pérdida de agua debida a las fugas en la planta, etc.

En la planta de Pilar, en comparación con la de Concepción, se encuentra todo muy ordenado, y el equipo de bombeo tiene muy pocas deficiencias, razón por la cual se puede decir que la situación sobre la operación y mantenimiento es relativamente mejor. Sin embargo, las tuberías y válvulas por debajo de los tanques de filtración están muy corroídas y deterioradas, detectándose fugas de agua en la mayoría de las válvulas. Por esta razón, no se puede aprovechar el agua captada de manera efectiva, dando lugar a que no se puede asegurar un suficiente caudal de distribución a la ciudad.

## (2) Evaluación de la capacidad respecto a la calidad del agua

Al igual que en la planta de Concepción, se informa de los resultados del análisis obtenidos en la planta a la oficina central telefónicamente. Sin embargo, no se cumple el sistema de comunicación ni el procedimiento de registro de los resultados, e incluso se deja de recopilar los datos en algunos momentos, confirmándose así deficiencias en el sistema de control.

A continuación, se muestra la calidad del agua tratada (valores medios mensuales) que controla la oficina central de la ESSAP. En los meses de febrero, julio, octubre y noviembre, los datos enviados desde la planta a la oficina central no estaban recopilados, y faltaban algunos datos de la calidad debido a que los equipos de dicha oficina se encontraban en proceso de mantenimiento. Por lo tanto, se han confirmado los datos registrados en la planta, y en cuanto a los 6 parámetros controlados localmente en la planta, no se han visto grandes diferencias con los datos de los meses anteriores y posteriores.

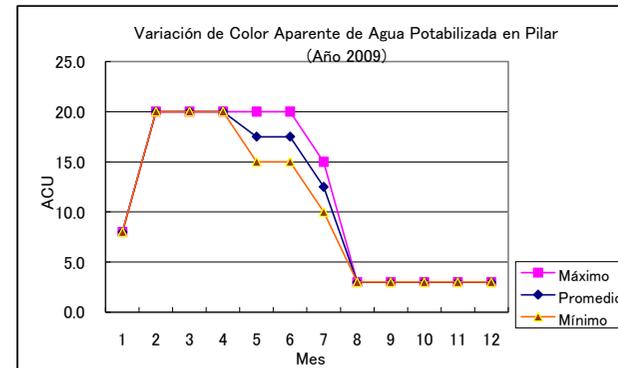
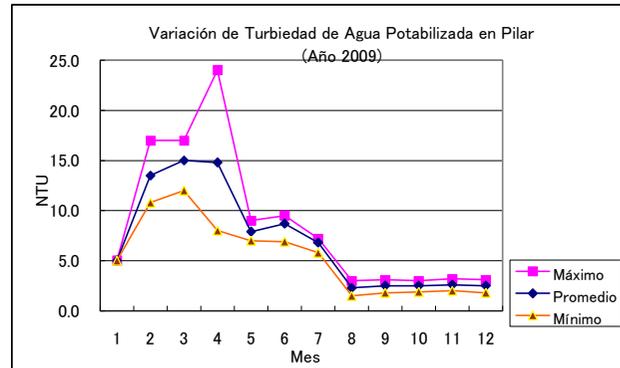
Tabla 6.7.6 Resultado del análisis de la calidad del agua tratada en la planta de Pilar (Valor Promedio Mensual)

N°	Parámetros	Unidad	Año 2009												Límite Admisible (ERSSAN)	Lugar de Control (Frecuencia)
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1	Color Aparente	CU	8.0	20.0	20.0	20.0	17.5	17.5	12.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	-	Planta (Horario)
2	Turbiedad	NTU	5.0	13.5	15.0	14.8	7.9	8.7	6.8	2.3	2.5	2.5	2.6	2.5	5	Planta (Horario)
3	pH	-	7.1	-	7.3	7.3	6.9	6.9	-	7.4	7.7	-	-	7.9	6.5-8.5	Planta (Horario)
4	Cloro Residual (Libre)	mg/L	1.8	-	1.2	1.2	1.2	2.2	-	3.0	1.5	-	-	1.8	2.0 <sup>※2</sup>	Planta (Horario)
5	Alcalinidad Total	mg-CaCO <sub>3</sub> /L	31	-	43	43	34	20	-	32	38	-	-	35	250	Planta (Horario)
6	Conductividad	μ S/cm	341.0	-	206.0	206.0	184.0	130.7	-	179.3	181.0	-	-	176.0	1250	Planta(1vez/día)
7	Aluminio	mg/L	0.026	-	0.034	-	0.036	-	-	0.146	0.179	-	-	0.200	0.2	ESSAP Asunción (1vez/mes)
8	Cloruro	mg/L	52.0	-	19.0	-	17.5	11.5	-	15.5	14.0	-	-	14.5	250	ESSAP Asunción (1vez/mes)
9	Hierro Total	mg/L	-	-	0.03	-	0.19	-	-	0.15	0.12	-	-	0.34	0.3	ESSAP Asunción (1vez/mes)
10	Sulfato	mg/L	57.2	-	32.2	-	34.2	-	-	35.7	32.7	-	-	27.4	400	ESSAP Asunción (1vez/mes)
11	Sílice	mg/L	14.26	-	19.32	-	18.76	-	-	16.7	14.88	-	-	13.18	30	ESSAP Asunción (1vez/mes)
12	Nitrógeno Anmoniacal	mg/L	0.04	-	0.04	-	0.04	-	-	0.02	0.02	-	-	0.02	0.05	ESSAP Asunción (1vez/mes)
13	Nitrito	mg/L	0.00	-	0.01	-	0.00	-	-	0.05	0.00	-	-	0.00	0.1	ESSAP Asunción (1vez/mes)
14	Nitrato	mg/L	3.05	-	0.31	-	0.57	-	-	8.26	3.69	-	-	2.54	45	ESSAP Asunción (1vez/mes)
15	Dureza Total	mg-CaCO <sub>3</sub> /L	65	-	78	-	74	60	-	59	72	-	-	65	400	ESSAP Asunción (1vez/mes)
16	Sólido Disuelto Total	mg/L	172	-	108	-	102	75	-	89	95	-	-	88	1000	ESSAP Asunción (1vez/mes)
17	Coliforme Total	Col/100mL	0	-	0	-	0	0	-	0	0	-	-	0	0	ESSAP Asunción (1vez/mes)
18	Coliforme Fecal	Col/100mL	0	-	0	-	0	0	-	0	0	-	-	0	0	ESSAP Asunción (1vez/mes)

※1: Cedura sin valor se debe a la falta de datos en el Dept. Control de Calidad.

※2: Valor máximo en el grifo

A-96



El color que se analiza en la planta es el color aparente. Por las experiencias del pasado, se sabe que el valor del color aparente multiplicado por 0.7 u 0.8 corresponde más o menos al color real. En el cuadro de abajo se muestran los resultados de la comparación con las normas de agua potable de Paraguay.

**Cuadro 6.7.7 Datos generales sobre la turbiedad y color**

Parámetro	Unidad	Normas de agua potable en Paraguay		Calidad del agua tratada en Pilar
		Valor permisible	Valor recomendado	
Color aparente	ACU (grado)	-	-	El color promedio está dentro del rango de 3 a 35 grados. En mayo se registraron 25 grados, y en julio en 10 grados. Durante la época en que se disminuye la demanda de agua, el color se mejora hasta alrededor de 3 grados.
Color real (supuesto)	TCU	15	5	El color promedio de mayo es alto, alcanzando 17.5 grados. Existe variación según los meses, y no se puede obtener una calidad estable.
Turbiedad	NTU	5	1	La turbiedad promedia está dentro del rango de 0.6 a 8.0 NTU. Existe variación según los meses, lo cual indica que no se está realizando un tratamiento estable de agua potable.

La calidad del agua tratada en Pilar se muestra pésima en los meses de febrero a junio. Posteriormente, a partir de agosto, se aprecia una notable mejora de la calidad como consecuencia de la renovación de la arena de filtración. Sin embargo, no se han solucionado los problemas fundamentales del sistema de tratamiento, por lo que se supone que la calidad del agua tratada se empeorará de acuerdo con el transcurso de tiempo.

(3) Resultado de la prueba de jarras

A continuación, se indica el resultado de la prueba de jarras con el agua cruda de Pilar

Cuadro 6.7.8 Resultado de la prueba de jarras

pH	Ítems	Dosis aplicada de Sulfato de Aluminio (mg/L)					
		35	40	45	50	55	60
7.6	Turbiedad (NTU)	28.8	28.8	16.4	1.0	0.7	0.8
	Color Real (TCU)	90	60	10	10	10	10
8.1	Turbiedad (NTU)	22.5	8.7	1.5	1.1	2.0	2.7
	Color Real (TCU)	40	20	12.5	12.5	5	5
8.6	Turbiedad (NTU)	26.4	14.1	3.6	1.0	1.7	2.1
	Color Real (TCU)	40	20	12.5	12.5	5	5
Condición de Agua Cruda		Temperatura=29.5°C pH=7.6 Color Real =130TCU Turbiedad=31.2NTU Alcalinidad=32mg/L					

Según estos resultados, cuando la tasa de dosificación de sulfato de aluminio es baja, se aprecia la diferencia del efecto de coagulación por el ajuste de pH. Sin embargo, de acuerdo con el incremento de dicha tasa, se cada vez menos el efecto por el ajuste de pH.

La tasa de dosificación del sulfato de aluminio para la turbiedad residual más baja es de 55mg/L, sin embargo, se ha confirmado que no aparece apenas el efecto por el ajuste de pH del agua cruda. Asimismo, en cuanto al color residual, la tendencia es casi la misma, no produciéndose casi ninguna diferencia entre las dosificaciones de 55mg/L y 60mg/L.

Estos resultados son conocidos por la Oficina Central de la ESSAP, ya que se confirmó la misma tendencia en las pruebas de jarras realizadas en el pasado. Por todo lo anterior, no se realiza el ajuste de pH del agua cruda a la hora de adicionar el sulfato de aluminio en el control de operación de la planta.

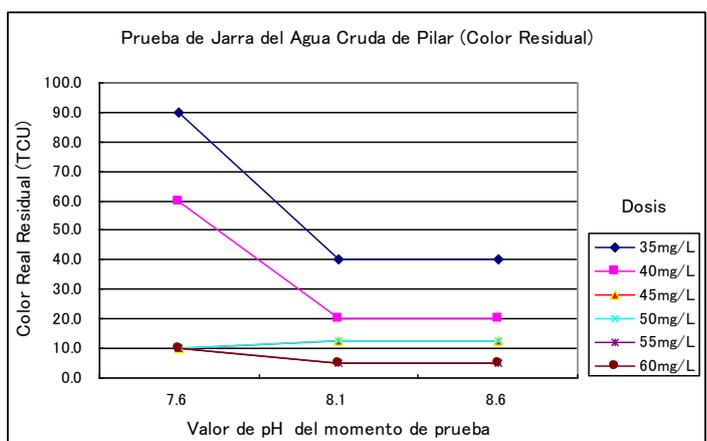
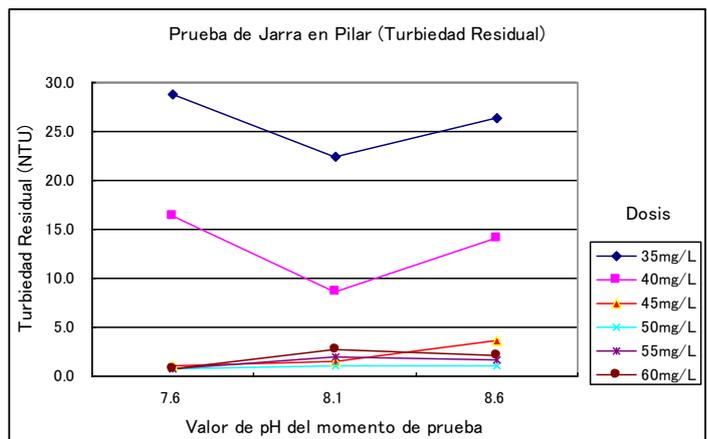


Figura 6.7.4 Resultado de la prueba de jarras

(4) Puntos importantes del tratamiento de agua potable

El agua cruda en Pilar tiene las mismas características que en Concepción, y los puntos importantes para el tratamiento de agua potable también son los mismos.

(5) Pertinencia del proceso actual del tratamiento de agua

Tal como se ha mencionado en el informe sobre la planta de Concepción, también es evidente que las características del agua cruda no son adecuadas para aplicar el método de filtración directa en la planta de Pilar. Aunque los tanques de filtración directa desempeñan la función de tratamiento previo, se puede juzgar que el proceso actual de tratamiento de agua potable carece absolutamente de justificación razonable.

(6) Flujo de tratamiento apto para la calidad del agua cruda

Al igual que en la planta de Concepción, el flujo de tratamiento apto para la calidad del agua cruda del río Paraguay es el que se aplica para el método de tratamiento ordinario, que es el método básico para tratar el agua del río.

## 6.8. Recomendaciones para la planificación de la línea de transmisión y la red de distribución de agua

### (1) Ciudad de Concepción

#### 1) Tubería de transmisión y distribución

Analizando la situación de la distribución de agua, se producen falta de presión en los extremos norte y sur, y se estima que la causa del mismo sería la falta de capacidad de paso de las tuberías de distribución, y la falta de conformación de de una red de tubería eficiente.

En enero de 2010, ESSAP realizó la instalación de una aductora exclusiva desde la planta de tratamiento hasta el tanque elevado. Gracias al mismo, el sistema de distribución tradicional en que se alimentaba directamente la red con la bomba, fue cambiado a una distribución a través de tanque elevado, y la situación de la provisión de la ciudad ha mejorado. Sin embargo, en cuanto a la red de distribución, se hace necesario atender las tuberías de asbesto obsoleto, las válvulas, y la conformación de una red de tubería secundaria que rodea en forma circular la zona de provisión de la ciudad, de manera a asegurar una presión y volumen adecuado en toda la zona de provisión.

Como resultado del análisis, se ha determinado que la instalación de la tubería de transmisión y distribución sería a cargo de la parte paraguaya, pero se hace necesaria una rápida concretización de la parte paraguaya, para poder obtener efectos de sinergia con la construcción de la planta de tratamiento.

#### 2) Tanque de distribución

Según el lineamiento del Paraguay, la capacidad de tanque de distribución es de 30% del volumen de demanda máxima diaria, pero la capacidad de la instalación actual tiene una gran faltante.

Actualmente, dentro de la planta de tratamiento existe un tanque de distribución que se utiliza también como tanque de agua tratada, y la capacidad del mismo es de 1.000m<sup>3</sup>. Según la verificación del estado interno, se notan numerosos rastros de reparación de pérdidas, y en las paredes existían rastros la oxidación de las varillas. Por tanto, el tanque de distribución de la planta de tratamiento será sujeto de cooperación del presente proyecto, y se realizará la construcción.

Cuadro 6.8.1 Capacidad de tanque de distribución de Concepción

Ítem	Valor estimado		Observación
	2010	2019 (estimación)	
Demanda máxima diaria	9.564 m <sup>3</sup> /día	9.781 m <sup>3</sup> /día	
Capacidad de tanque de distribución necesaria	2.870 m <sup>3</sup>	2.934 m <sup>3</sup>	30% de la demanda máxima del día
Capacidad de tanque elevado existente	500 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	Reparación por parte de ESSAP
Tanque de distribución dentro de la planta de tratamiento	1.000 m <sup>3</sup>	1,000 m <sup>3</sup> (renovación)	
Planes de construcción del ESSAP	-	1,500 m <sup>3</sup>	Al lado del tanque elevado existente
Nivel de satisfacción	52,3%	102,2%	
Proporción faltante de capacidad de tanque de distribución	1,370 m <sup>3</sup>	-	

Basado en la estimación del volumen de demanda de agua para el año meta 2019, la capacidad de tanque de distribución necesaria es de aproximadamente 3.000m<sup>3</sup>. La capacidad total del tanque elevado (500m<sup>3</sup>) cuya reparación está prevista y reservorio de acero planificado (1.500m<sup>3</sup>) es de 2.000 m<sup>3</sup>.

La instalación para el almacenamiento dentro de la planta de tratamiento, se hace necesario que al menos tenga la función como tanque de tratamiento (más de una hora del volumen de tratamiento planificado), y si se asegura el tanque de distribución de la misma escala que la actual (1.000m<sup>3</sup>), se podría cumplir los lineamientos del Paraguay.

## (2) Ciudad de Pilar

### 1) Tubería de transmisión y distribución

A diferencia de Concepción, la aductora que une la planta de tratamiento y el tanque elevado de la ciudad, tiene una conexión con la red de distribución en el medio. En cuanto a este problema, se prevé la realización de obras de renovación de la aductora con los recursos de ESSAP, y como sujeto de cooperación de la parte japonesa, sea considerada la instalación de tubería de distribución posterior al tanque de distribución de la ciudad y la tubería de distribución secundaria.

En cuanto a la red de distribución, además de reemplazar la tubería de distribución principal que actualmente es de tubería de asbesto obsoleto, es necesaria la instalación de la tubería secundaria que rodee de forma circular a la zona de provisión de agua de la ciudad. Por otra parte, es necesario instalar las válvulas para poder asegurar la presión de adecuada de provisión en toda la zona de provisión.

Como resultado del análisis, se ha determinado que la instalación de tubería de transmisión y distribución esté a cargo de la parte paraguaya, pero es necesario lograr lo más rápido posible la instalación por la parte paraguaya, de manera a lograr el efecto de sinergia con la construcción de la planta de tratamiento.

## 2) Tanque de distribución

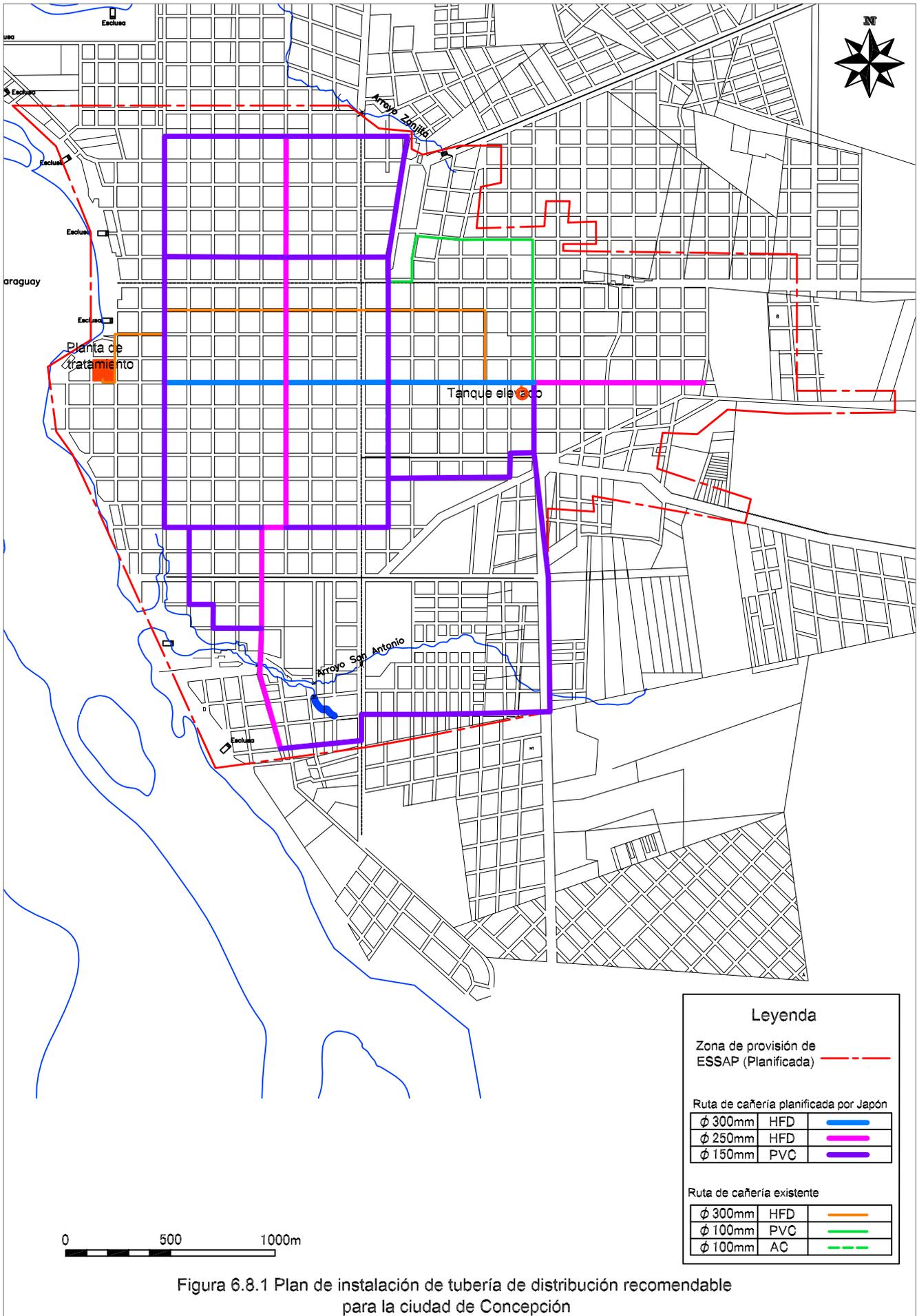
El tanque elevado existente, por su estructura, no cumple la función como tanque de distribución, pero en el futuro, mediante la renovación de la aductora por parte de ESSAP, será posible ajustar a la variación en tiempo de la demanda de provisión.

Cuadro 6.8.2 Capacidad de tanque de distribución de Pilar

Ítem	Valor estimado		Observación
	2010	2019 (estimación)	
Demanda máxima diaria	6.150 m <sup>3</sup> /día	7.454 m <sup>3</sup> /día	
Capacidad de tanque de distribución necesaria	1.845 m <sup>3</sup>	2.236 m <sup>3</sup>	30% de la demanda máxima del día
Capacidad de tanque elevado existente	500 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	
Tanque de distribución dentro de la planta de tratamiento	1.000 m <sup>3</sup>	1.000 m <sup>3</sup> (renovación)	
Planes de construcción del ESSAP	-	No definido	500m <sup>3</sup> a 1.000 m <sup>3</sup>
Nivel de satisfacción	81,3%	67,1%	
Proporción faltante de capacidad de tanque de distribución	345 m <sup>3</sup>	736 m <sup>3</sup>	

El volumen de tanque de distribución actual satisface en un 82% de la norma del Paraguay, pero se estima que el nivel de satisfacción irá disminuyendo con el aumento del volumen de demanda de la ciudad. Sin embargo, mediante la construcción del tanque de distribución para el norte, el nivel de satisfacción del volumen de tanque para el año 2019, mejorará drásticamente. Actualmente, no está definido la capacidad de tanque de distribución a ser construida pero según ESSAP prevé la la escala entre 500 a 1.000 m<sup>3</sup>.

Actualmente, el envejecimiento tanque de distribución de la planta tratamiento está avanzando, y al igual que Concepción, se realizará una construcción total con el proyecto de cooperación del Japón. En el futuro, tomando en cuenta la capacidad de distribución a ser construida por el ESSAP, se estima que lo viable para el volumen del tanque de distribución sería de aproximadamente 1.000m<sup>3</sup>.



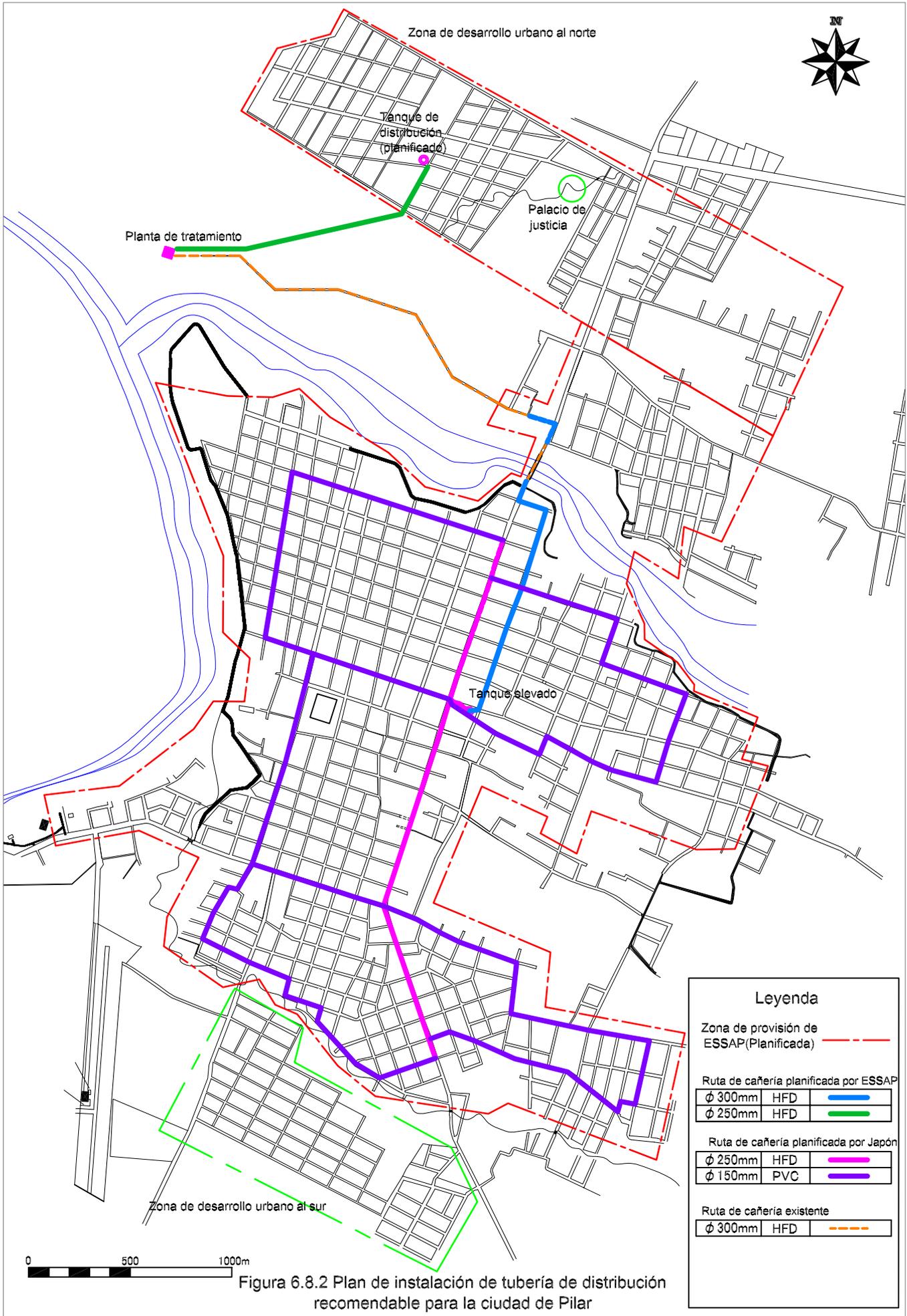


Figura 6.8.2 Plan de instalación de tubería de distribución recomendable para la ciudad de Pilar

Leyenda		
Zona de provisión de ESSAP(Planificada)		
Ruta de cañería planificada por ESSAP		
∅ 300mm	HFD	
∅ 250mm	HFD	
Ruta de cañería planificada por Japón		
∅ 250mm	HFD	
∅ 150mm	PVC	
Ruta de cañería existente		
∅ 300mm	HFD	



⑥ Modelo del cálculo

【Concepción Modelo-A】	【Concepción Modelo-B】
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renovar las líneas primarias de distribución (Este-Oeste y Norte-Sur).</li> <li>• Instalar nuevas líneas secundarias de la forma de circuito solo para las partes norte y sur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renovar las líneas primarias de distribución (Este-Oeste y Norte-Sur).</li> <li>• Instalar nuevas líneas secundarias de la forma de circuito solo para las partes norte y sur.</li> <li>• Renovar la tubería de asbesto (<math>\phi 100\text{mm}</math>) por la tubería nueva (<math>\phi 150\text{mm}</math>).</li> </ul>

(6) Resultado del cálculo

Se realizó el cálculo hidráulico de los dos modelos y se decidió los diámetros adecuados de tuberías para asegurar la presión de cada nudo en 15m (0,15MPa).

El resultado gráfico del cálculo se indica en las figuras 6.9.2 y 6.9.3 a continuación y la cantidad de tuberías que se recomienda a instalarse se menciona como lo siguientes:

Cantidad recomendable a instalarse según el resultado del cálculo

Concepción Modelo-A	Concepción Modelo-B
$\phi 300$ : 1.7km aprox. (Hierro Fundido Dúctil)	$\phi 300$ : 1.7km aprox. (Hierro Fundido Dúctil)
$\phi 250$ : 3.8km aprox. (Hierro Fundido Dúctil)	$\phi 250$ : 3.8km (Hierro Fundido Dúctil)
$\phi 150$ : 5.3km aprox. (PVC)	$\phi 150$ : 10.4km (PVC)
$\phi 100$ : 0.8km aprox. (PVC)	$\phi 100$ : 0.8km (PVC)

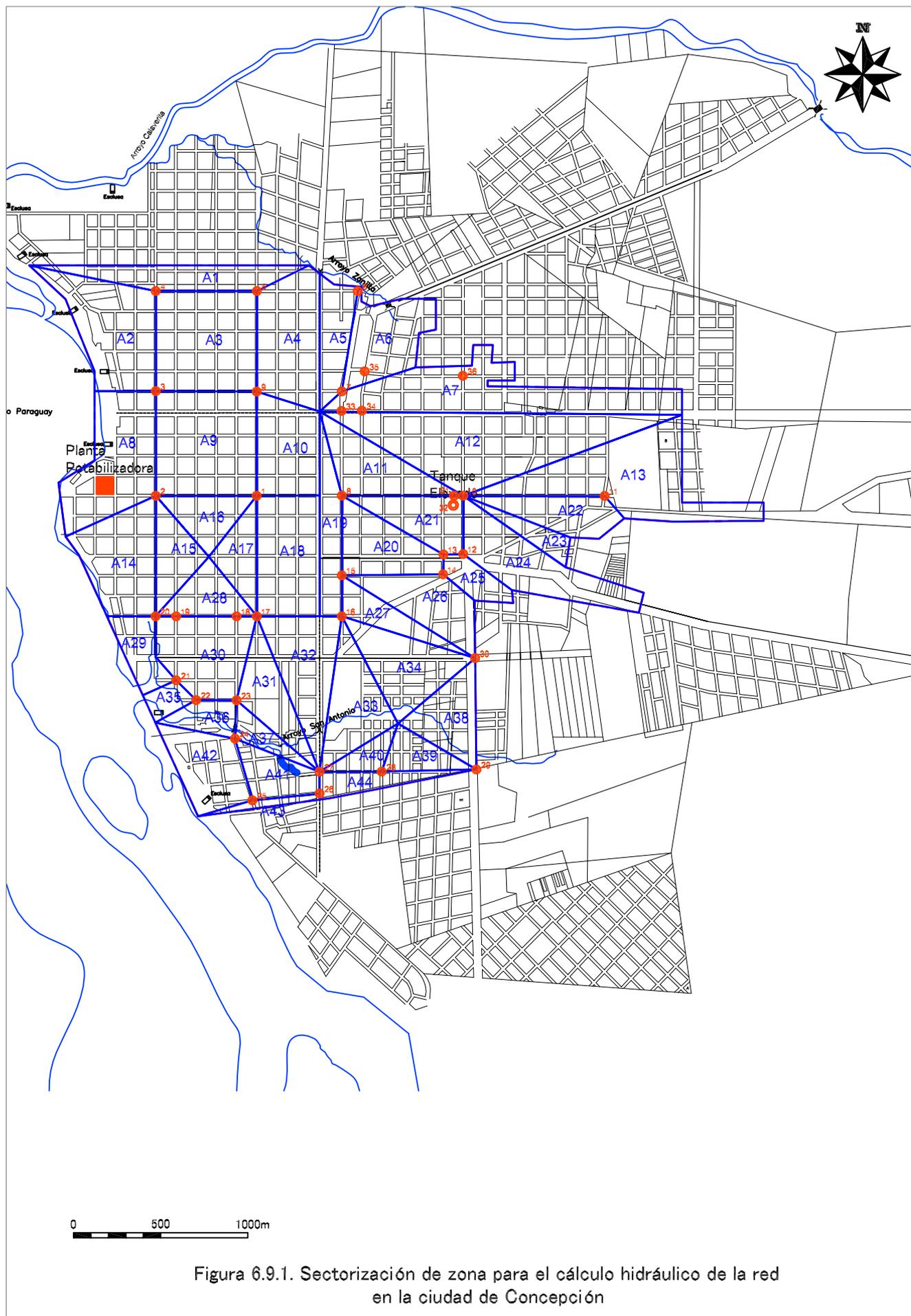


Figura 6.9.1. Sectorización de zona para el cálculo hidráulico de la red en la ciudad de Concepción

Datos de demanda para el cálculo hidrológico de la red de distribución para la ciudad de Concepción

Area de Servicio de ESSAP 7,628,015 m2  
 Demanda Media Diaria (a) 8,151 m3/día  
 Demanda Máxima Diaria (a\*1.2) 9,781 m3/día  
 Demanda Máxima Horaria (a\*1.2\*1.5) 169.81 L/seg

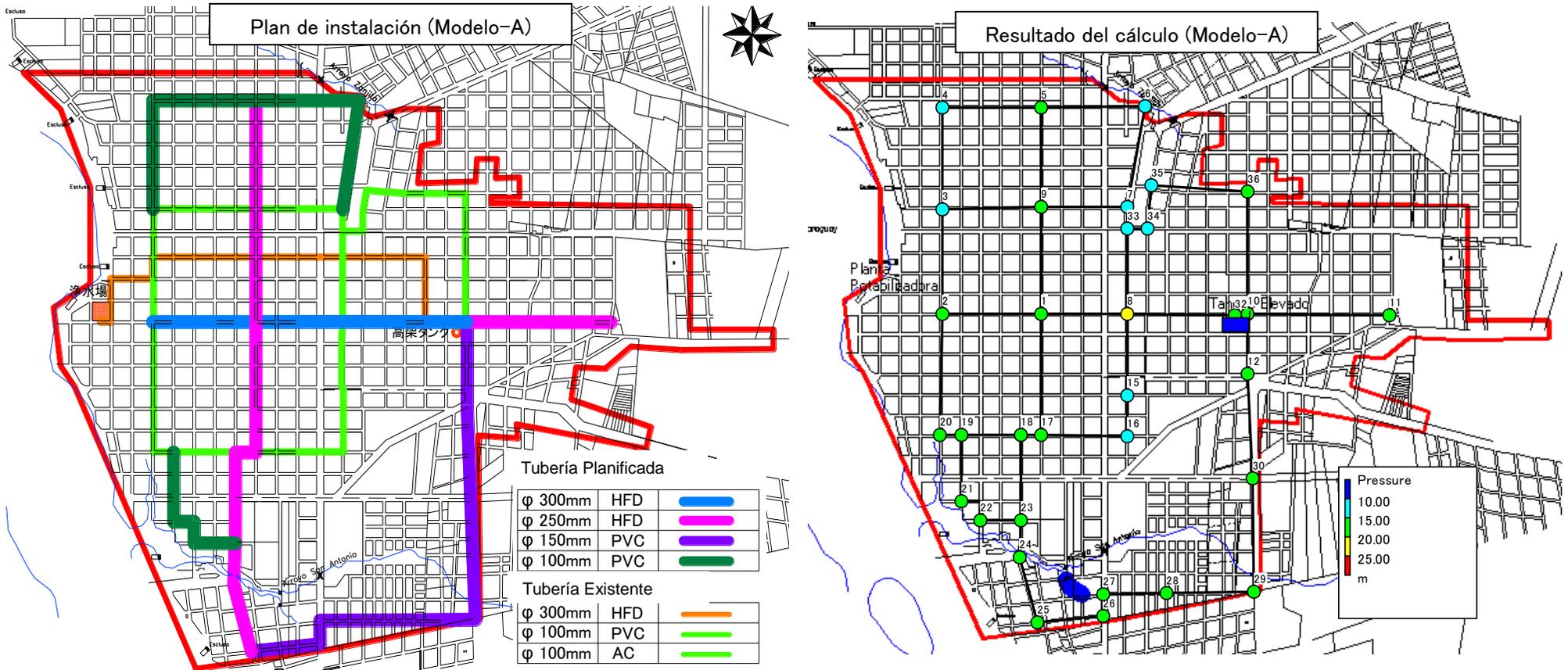
Zona	Area m2	Porcentaje %	N° de nudo	Asignación de la demanda a cada nudo																			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
A1	162,186	0.021	2				1.81	1.81															
A2	289,731	0.038	2			3.22	3.22																
A3	336,827	0.044	4			1.87	1.87	1.87				1.87											
A4	261,017	0.034	2					2.91				2.91											
A5	117,896	0.015	2						1.31	1.31													
A6	195,156	0.026	3						1.45	1.45													
A7	398,071	0.052	4							2.22													
A8	306,499	0.040	2		3.41	3.41																	
A9	350,282	0.046	4	1.95	1.95	1.95						1.95											
A10	196,623	0.026	2	2.19								2.19											
A11	169,355	0.022	2							1.89			1.89										
A12	498,737	0.065	1									11.10											
A13	398,944	0.052	2									4.44	4.44										
A14	240,021	0.031	2		2.67																		
A15	106,645	0.014	2		1.19																		
A16	102,289	0.013	2	1.14	1.14																		
A17	95,980	0.013	2	1.07																1.07			
A18	252,657	0.033	2	2.81																2.81			
A19	119,729	0.016	3							0.89							0.89	0.89					
A20	168,231	0.022	4							0.94				0.94	0.94	0.94							
A21	137,613	0.018	4							0.77			0.77	0.77									
A22	134,681	0.018	2									1.50	1.50										
A23	56,041	0.007	1									1.25											
A24	246,683	0.032	2									2.75		2.75									
A25	64,919	0.009	3											0.48	0.48								
A26	171,092	0.022	3												1.27	1.27							
A27	90,822	0.012	3													0.67	0.67						
A28	100,330	0.013	4																	0.56	0.56	0.56	
A29	90,601	0.012	2																				
A30	225,539	0.030	7																		0.72	0.72	0.72
A31	139,715	0.018	3																			1.04	
A32	219,474	0.029	3																		1.63	1.63	
A33	184,939	0.024	2																		2.06		
A34	198,283	0.026	2																		2.21		
A35	39,170	0.005	2																				
A36	66,443	0.009	3																				
A37	54,778	0.007	3																				
A38	143,971	0.019	2																				
A39	75,185	0.010	2																				
A40	49,646	0.007	2																				
A41	101,401	0.013	4																				
A42	172,969	0.023	2																				
A43	24,175	0.003	2																				
A44	72,667	0.010	4																				
Total	7,628,013	1.000	116	9.16	10.36	10.46	6.90	6.59	2.76	4.98	4.48	8.92	23.69	5.94	3.99	2.18	2.69	3.77	7.46	7.82	1.28	1.28	

Datos de demanda para el cálculo hidrológico de la red de distribución para la ciudad de Concepción

Zona	(L/seg)																	Total
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
A1																		
A2																		
A3																		
A4																		
A5																		
A6																1.45		
A7														2.22	2.22		2.22	
A8																		
A9																		
A10																		
A11																		
A12																		
A13																		
A14	2.67																	
A15	1.19																	
A16																		
A17																		
A18																		
A19																		
A20																		
A21																		
A22																		
A23																		
A24																		
A25																		
A26											1.27							
A27											0.67							
A28	0.56																	
A29	1.01	1.01																
A30	0.72	0.72	0.72	0.72														
A31				1.04					1.04									
A32									1.63									
A33									2.06									
A34											2.21							
A35		0.44	0.44															
A36			0.49	0.49														
A37				0.41	0.41				0.41									
A38										1.60	1.60							
A39									0.84	0.84								
A40									0.55	0.55								
A41					0.56	0.56	0.56	0.56										
A42					1.93	1.93												
A43						0.27	0.27											
A44								0.40	0.40	0.40								
Total	6.14	2.16	1.65	2.65	3.39	2.76	1.24	6.65	1.79	2.84	5.75	0.00	0.00	2.22	2.22	1.45	2.22	169.81

【Concepción Modelo-A】 (Figura 6.9.2)

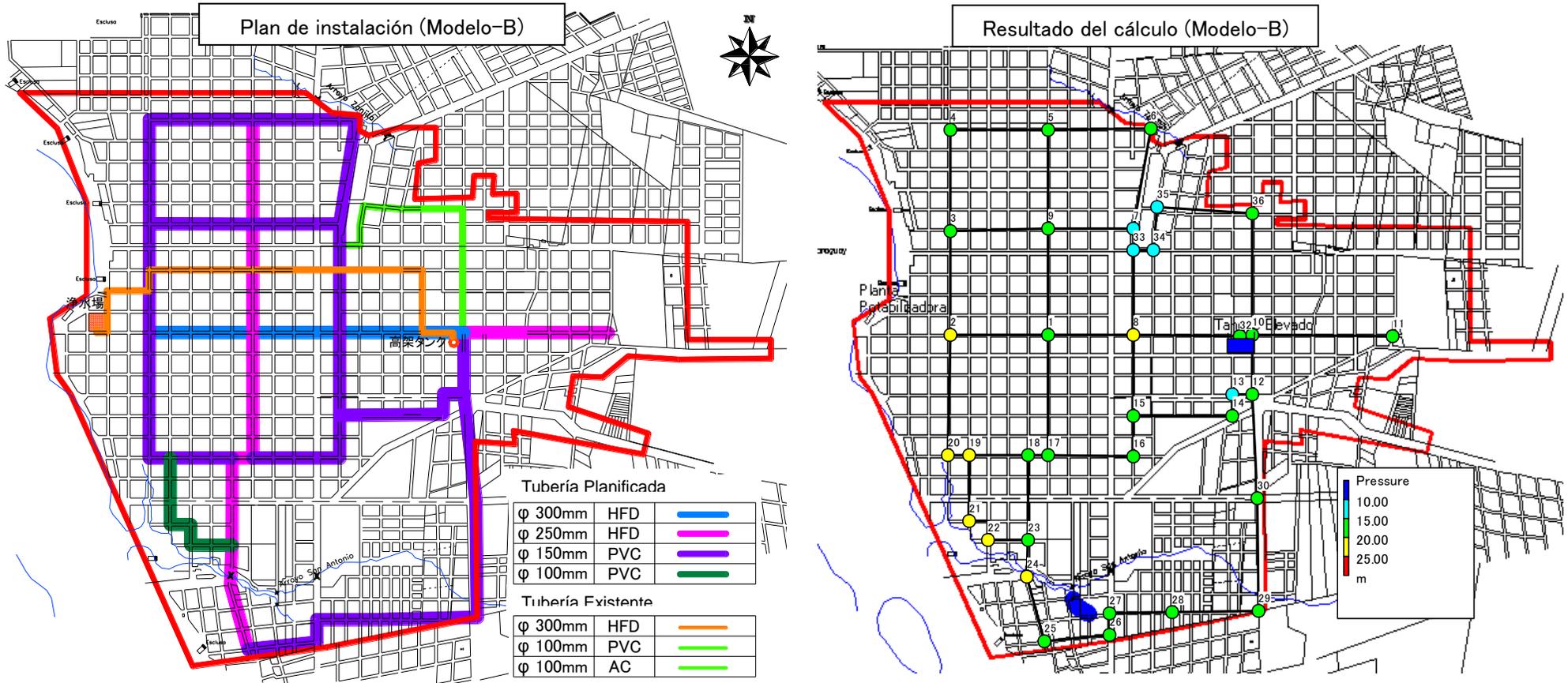
Se rectificará la desigualdad de presión de agua por la instalación de tubería secundaria de la forma de circuito en las zonas norte y sur junto con las líneas primarias de Norte-Sur y Este-Oeste.



- La tubería secundaria de la zona central seguirá utilizando así como actual sin renovación. (Tubo Asbesto de 100mm).
- La distribución de presión de agua permanecerá desigual a pesar de que la presión de la zona periférica se satisface a la presión dinámica mínima (0.1Mpa=10m).
- Existe alto nivel de inseguridad sobre uso continuo de tubo de asbesto por su antigüedad, hay posibilidad de la falta de capacidad de tubería por sedimentos acumulados en el tubo.

【Concepción Modelo-B】 (Figura 6.9.3)

Se instalará la red de distribución secundaria en el área total incluyendo el cambio de tubos de asbesto existente.



•Existen algunas zonas puntuales que falta de presión dinámica igual que Modelo-A, pero esto no afectará a las condiciones de abastecimiento de agua para los habitantes.

•No observa falta de presión del grifo manteniendo la presión dinámica adecuada (0.15Mpa=15m) en las zonas periféricas.



Se estimará la proporción (%) de superficie de cada área sobre la superficie del área de provisión.

Se estimará el volumen de demanda para cada área a través de la proporción de superficie de cada área sobre el volumen de demanda máxima por hora del año 2019.

El área “A40” pertenece al lado norte del Arroyo, y será necesario proveer el agua desde el tanque elevado a ser planificado al norte, por lo que el volumen de demanda a ser distribuida a A40 será restado de la distribución para cada nudo.

El área “A19” pertenecerá a la zona norte, y el volumen de demanda distribuida no será incluido en el cálculo.

Se realizará el cálculo de volumen de demanda a cargo de cada nudo, distribuyendo el volumen de demanda de cada área al nudo a la que está conectada.

#### ⑥ Modelo del cálculo

Pilar Modelo-A	Pilar Modelo-B
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Renovar la tubería primaria de distribución desde tanque hasta el extremo del sur.</li> <li>•Instalar nuevas líneas secundarias de la forma de circuito solo para la partes sur.</li> <li>•Permanecer existente la tubería secundaria de distribución en las parte central y norte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Renovar la tubería primaria de distribución del tramo Norte-Sur.</li> <li>•Instalar nuevas líneas secundarias de la forma de circuito para la partes norte y sur.</li> <li>•Renovar las tuberías secundarias de distribución en la parte central</li> </ul>

#### (6) Resultado del cálculo

Se realizó el cálculo hidráulico de los dos modelos y se decidió los diámetros adecuados de tuberías para asegurar la presión de cada nudo en 15m (0,15MPa).

El resultado gráfico del cálculo se indica en las figuras 6.9.5 y 6.9.6 a continuación y la cantidad de tuberías que se recomienda a instalarse se menciona como lo siguientes:

Asimismo, se tendrá como premisa que la aductora desde la planta de tratamiento hasta el tanque elevado será nuevamente construida por ESSAP, y toda la distribución se hará desde el tanque elevado a través de gravedad.

#### Cantidad recomendable a instalarse según el resultado del cálculo

Pilar Modelo-A	Pilar Modelo-B
<p>φ250:1.9km aprox. (Hierro Fundido Dúctil)</p> <p>φ150:5.9km (PVC)</p>	<p>φ250:2.7km aprox. (Hierro Fundido Dúctil)</p> <p>φ150:12.7km (PVC)</p>

(7) Plan de suministro de agua para la zona norte

Al norte de Pilar se halla construido el palacio de justicia, por lo que se podría estimar que será la zona en donde aumentará población en el futuro.

En esta zona, la ESSAP instalará un tanque elevado.

La aductora desde la planta de tratamiento hasta el tanque elevado será instalada por ESSAP, pero también deberá ser instalada, en forma independiente, la bomba de distribución. La razón de la misma, es que las condiciones como el caudal y la pérdida por fricción de la cañería serán diferentes con el sistema de envío al tanque elevado en el centro de la ciudad, y no podría ser operada de forma eficiente enviando a dos zonas con una sola bomba.

La parte japonesa hará el diseño de la planta de tratamiento nuevo, pero las instalaciones de envío a través de la bomba será limitada solo para el envío hacia el tanque elevado que se halla dentro de la ciudad. Los motivos son los siguientes.

- El inicio de las obras por la parte japonesa, en el más rápido de los casos, será después de 2012, y se estima que para dicho momento, ESSAP realizará la construcción de sistema de envío para la zona norte.
- No se puede fijar la escala de las instalaciones de bomba hacia el norte, hasta que se defina la altura de HWL, altura del tanque elevado, la distancia de la aductora.

Por ello, en la nueva planta de tratamiento se asegura espacio para poder instalar la bomba de envío para la zona norte, y se planificará para que luego de instalación de la nueva planta, y la ESSAP se encargará de mudar la bomba de envío para la zona norte.

Para referencia, en el caso de planificación de la bomba de envío para la zona norte, se estima que será necesaria la de siguiente escala.

- Zona de nuevo desarrollo en las cercanías de palacio de justicia

Demanda Media Diaria	1,087 m <sup>3</sup> /día
----------------------	---------------------------

- Área "A40" y "A19" Demanda Media Diaria 1,057 m<sup>3</sup>/día

Total	2,144 m <sup>3</sup> /día
-------	---------------------------

- Caudal de bombeo previsto 2,573 m<sup>3</sup>/día (2,144 m<sup>3</sup>/día×1.2)
- Capacidad de bomba 1.80 m<sup>3</sup>/min=30L/seg
- Altura total de bomba 30m
- Condición estimada de la aductora 250mm de diá. y L=1,500m

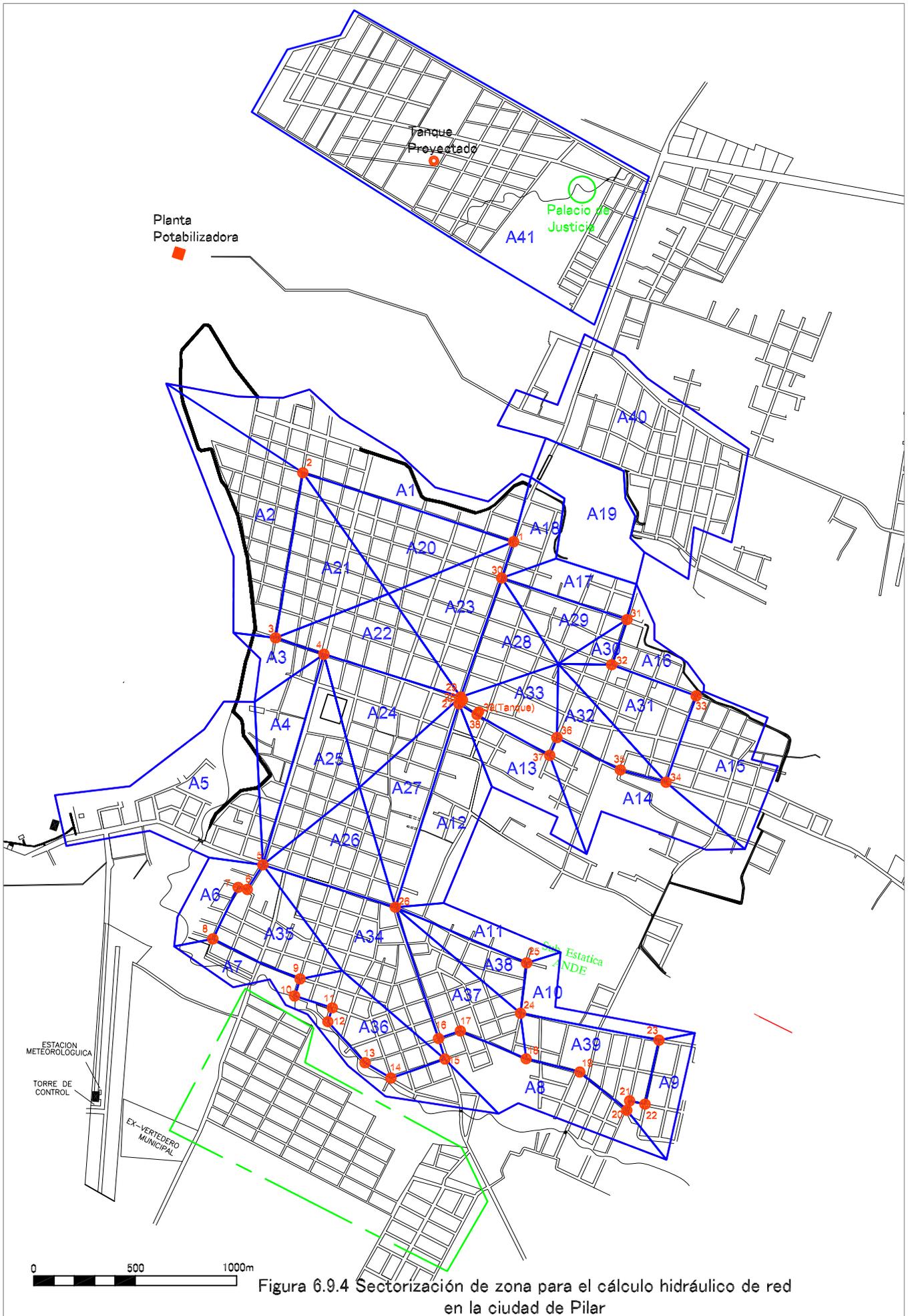


Figura 6.9.4 Sectorización de zona para el cálculo hidráulico de red en la ciudad de Pilar

Datos del cálculo hidrológico de la red de distribución de la ciudad de Pilar (Modelo-B)

Area de Servicio de ESSAP	7,449,116	m2
Demanda Media Diaria (a)	6,212	m3/día (Incluido la demanda prevista de la zona norte Sector "A41")
Demanda Media Diaria (b)	5,125	m3/día (Demanda asignada para la zona de servicio actual de ESSAP)
Demanda Máxima Diaria (b*1.2)	6,150	m3/día
Demanda Máxima Horaria (b*1.2*1.5)	106.77	L/seg

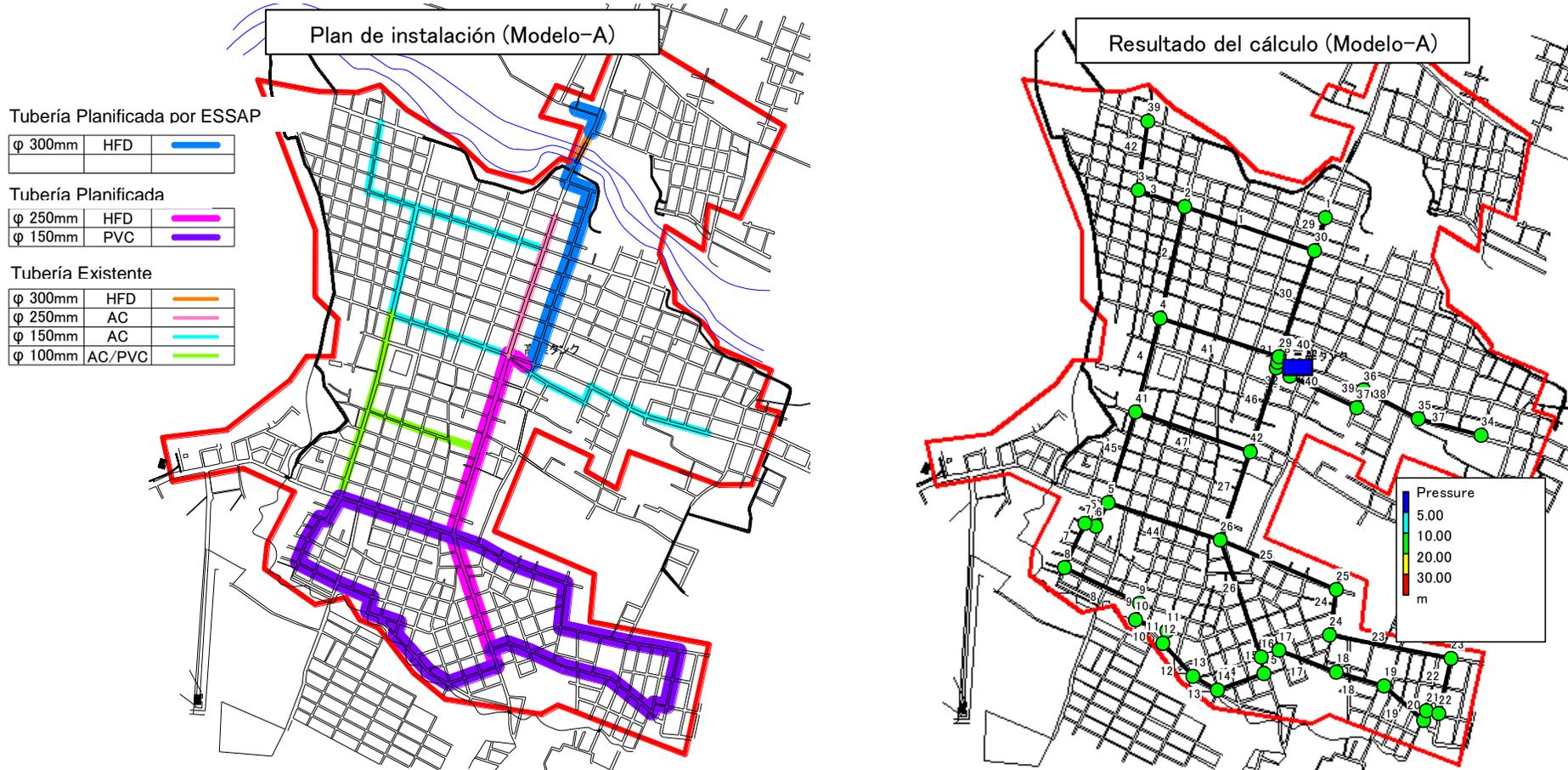
Zona	Area m2	Porcentaje %	Nº de nudo	Asignación de la demanda a cada nudo																		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A1	390,300	0.052	2	2.80	2.80																	
A2	365,991	0.049	2		2.62	2.62																
A3	60,271	0.008	2			0.43	0.43															
A4	142,399	0.019	2				1.02															
A5	440,740	0.059	1					6.32														
A6	95,316	0.013	4					0.34	0.34	0.34	0.34											
A7	194,448	0.026	8								0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35				
A8	237,801	0.032	6															0.57	0.57	0.57	0.57	
A9	95,025	0.013	4																			
A10	88,144	0.012	3																			
A11	75,119	0.010	2																			
A12	212,591	0.029	2																			
A13	144,262	0.019	2																			
A14	218,894	0.029	4																			
A15	249,911	0.034	2																			
A16	94,416	0.013	3																			
A17	95,160	0.013	2																			
A18	85,343	0.011	2	0.61																		
A19	226,494	0.030	1																			
A20	239,771	0.032	2	1.72	1.72																	
A21	213,523	0.029	2		1.53	1.53																
A22	183,659	0.025	3			0.88	0.88															
A23	204,605	0.027	3	0.98																		
A24	203,873	0.027	4				0.73															
A25	191,092	0.026	2				1.37	1.37														
A26	175,593	0.024	2					1.26														
A27	188,853	0.025	2																			
A28	125,300	0.017	2																			
A29	102,665	0.014	2																			
A30	29,574	0.004	2																			
A31	176,945	0.024	3																			
A32	107,785	0.014	3																			
A33	121,655	0.016	5																			
A34	267,991	0.036	4					0.96									0.96	0.96				
A35	173,880	0.023	5					0.50	0.50	0.50	0.50	0.50										
A36	164,111	0.022	7									0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34				
A37	178,783	0.024	5																0.51	0.51	0.51	
A38	84,878	0.011	3																			
A39	175,698	0.024	7																	0.36	0.36	
A40	626,260	0.084	1																			
Total	7,449,115	1.000	123	6.10	8.67	5.46	4.43	11.77	0.84	0.84	1.19	1.18	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	2.21	2.04	1.08	1.44	0.93

Datos del cálculo hidrológico de la red de distribución de la ciudad de Pilar (Modelo-B)

Zona																				(L/seg)	
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	Zona Norte	Total
A1																					
A2																					
A3																					
A4																					
A5																					
A6																					
A7																					
A8	0.57																				
A9	0.34	0.34	0.34	0.34																	
A10				0.42	0.42	0.42															
A11						0.54	0.54														
A12							1.52	1.52													
A13								1.03											1.03		
A14															0.78	0.78	0.78	0.78			
A15														1.79	1.79						
A16											0.45	0.45	0.45								
A17											0.68	0.68									
A18											0.61										
A19																				3.25	
A20																					
A21																					
A22										0.88											
A23										0.98	0.98										
A24								0.73	0.73	0.73											
A25																					
A26								1.26													
A27								1.35	1.35												
A28										0.90	0.90										
A29										0.74	0.74										
A30											0.21	0.21									
A31												0.85	0.85	0.85							
A32															0.51	0.51	0.51				
A33									0.35	0.35	0.35						0.35	0.35			
A34								0.96													
A35																					
A36																					
A37					0.51		0.51														
A38					0.41	0.41	0.41														
A39	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36																
A40																					8.98
Total	1.27	0.70	0.70	1.12	1.70	1.37	6.55	4.99	1.08	3.83	3.90	2.08	1.51	3.09	3.94	1.30	1.65	2.17	0.00	12.22	106.77

【Pilar Modelo-A】 (Figura. 6.9.5)

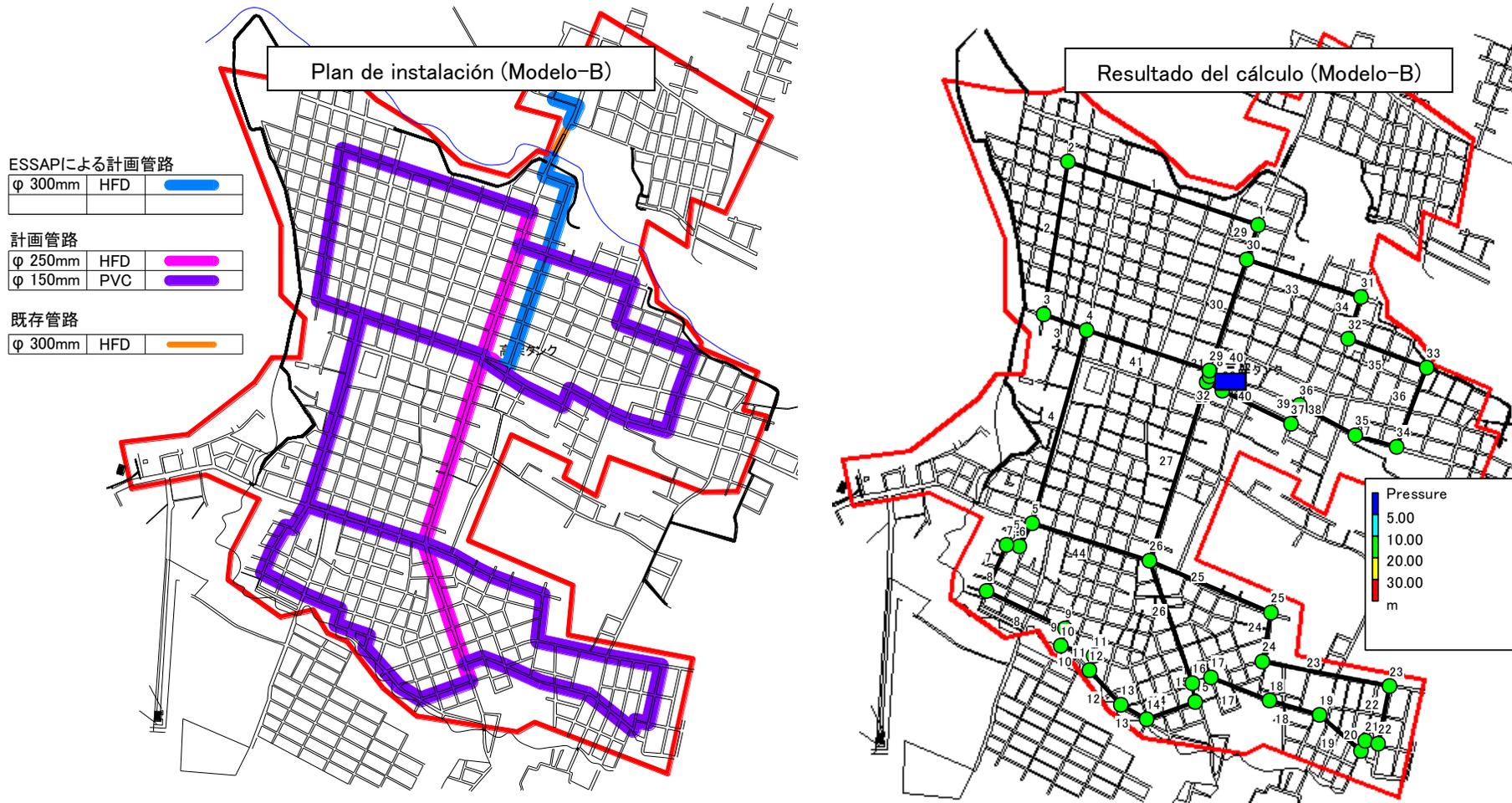
Se instalará la tubería primaria y secundaria del sector sur para mejorar la condición de agua en la zona periférica del sur.



- Se mejorará la condición de abastecimiento de agua especialmente en la zona periférica del sur.
- Existe alto nivel de inseguridad sobre uso continuo de tubo de asbesto por su antigüedad, hay posibilidad de la falta de capacidad de tubería por sedimentos acumulados en el tubo.
- Hay posibilidad de carestía de la capacidad de abastecimiento de agua para los sectores central y norte en el futuro, por el plan incompleta de instalación de tuberías.

【Pilar Modelo-B】 (Figura 6.9.6)

Se instalará la red de distribución secundaria en el área total incluyendo el cambio de tubos de asbesto existente.



•No observa falta de presión del grifo manteniendo la presión dinámica adecuada (0.10Mpa=10m) en las zonas periféricas.