

CAPÍTULO 12

ESTUDIOS SOBRE EL MEJORAMIENTO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

12.1 GENERALIDADES

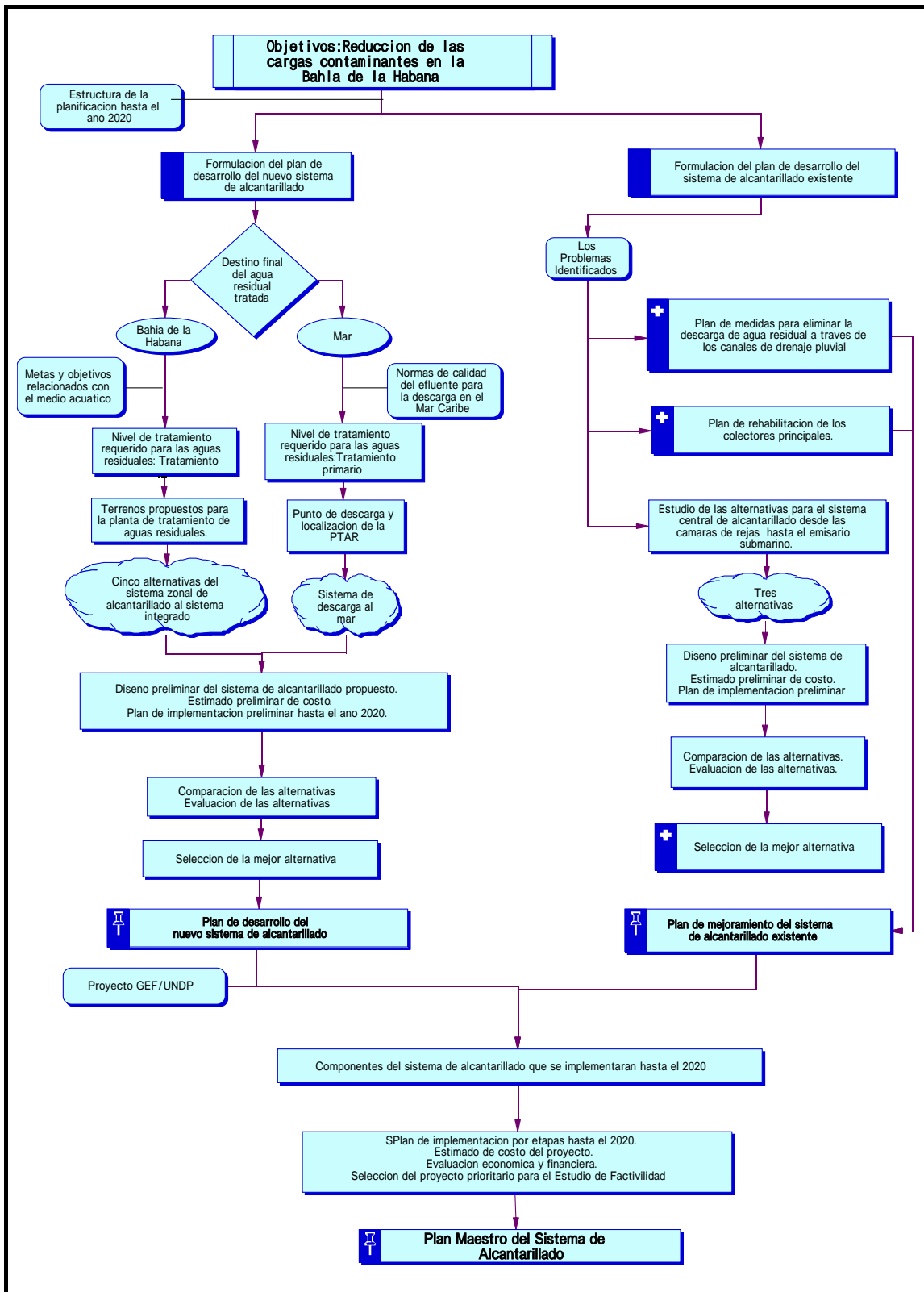
La contribución al mejoramiento de la calidad del agua de la Bahía de La Habana es el objetivo primordial del desarrollo del sistema de alcantarillado en este Estudio. La construcción de instalaciones para el alcantarillado exige por lo general una enorme inversión de capital y mucho tiempo. Se ha realizado una serie de estudios con el propósito de lograr efectos perceptibles en el mejoramiento de la calidad del agua mediante la solución financieramente menos costosa. En la Figura 12.1 se muestra un procedimiento para formular el Plan Maestro del Sistema de Alcantarillado (hasta el año 2020) para la Bahía de La Habana, mas este capítulo sólo describe el plan para el mejoramiento del sistema central de alcantarillado existente, el plan de desarrollo del nuevo alcantarillado, y la selección de los componentes del sistema de alcantarillado que se implementarán hasta el año meta 2020. Los programas de ejecución propuestos para los componentes del sistema de alcantarillado seleccionados se estudiarán más minuciosamente con el fin de examinar los aspectos sociales, ambientales, financieros y técnicos necesarios para formular un plan maestro de alcantarillado apropiado para la Bahía de La Habana.

Se han empleado distintos enfoques para formular el plan de mejoramiento del sistema de alcantarillado existente y el plan de desarrollo de un nuevo sistema de alcantarillado.

Para el plan de mejoramiento del sistema de alcantarillado existente se analizan los problemas actuales primeramente para identificar las razones y preparar las soluciones apropiadas. Se han realizado estudios de ingeniería con el fin de preparar el Plan de Mejoramiento del Sistema Central de Alcantarillado, que se compone de los planes siguientes:

- Plan de medidas para eliminar la descarga de aguas residuales en la Bahía de La Habana a través de los canales de drenaje pluvial.
- Plan de mejoramiento y rehabilitación de Colectores importantes.
- Estudio alternativo del sistema central de alcantarillado después de las cámaras de rejillas y hasta el emisario submarino. Alternativo con el fin de seleccionar la mejor variante.

Para el plan de desarrollo del nuevo sistema de alcantarillado, se ha realizado un estudio alternativo con el fin de seleccionar la mejor variante para el nuevo sistema de alcantarillado más eficaz y eficiente en términos de costos y de reducción de las cargas contaminantes. A partir del destino final para la descarga del agua residual tratada, se han preparado cinco alternativas para la descarga en la Bahía de La Habana, que comprende desde un sistema de cinco zonas hasta un sistema de alcantarillado integrado, y una alternativa que contempla la descarga en el mar.



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

Figura 12.1 Diagrama de Flujo para formular el Plan Maestro del Sistema de Alcantarillado

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

12.2 MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE

12.2.1 GENERALIDADES

(1) Problemas y medidas para el mejoramiento

En la Tabla siguiente se resumen los problemas identificados en el sistema de alcantarillado existente y las medidas para resolver tales problemas.

Tabla 12.1 Problemas y medidas de solución

Componente del sistema	Problemas	Medidas de mejoramiento
1. Alcantarillas y colectores	<p>Las alcantarillas y los colectores existentes son muy viejos. Algunas partes de la alineación y de la estructura interna de las tuberías están deterioradas.</p> <p>La capacidad de algunos tramos de los Colectores existentes sería inadecuada para el futuro caudal futuro.</p> <p>Las interconexiones entre las alcantarillas sanitarias y las tuberías o conductos de drenaje pluvial provoca que se vierta agua residual en la Bahía de La Habana..</p>	<p>Serán necesarias tanto la rehabilitación como la sustitución de los colectores existentes para mantener sus funciones y extender su vida útil.</p> <p>Para resolver la capacidad inadecuada de los colectores y las alcantarillas existentes se instalarán nuevos colectores y otros se reemplazarán.</p> <p>Se necesitan hacer estudios detallados para identificar la ubicación y las condiciones físicas de las interconexiones con el fin de preparar medidas para resolver tal problema.</p> <p>Las medidas para resolver el problema de las interconexiones pueden ser la instalación de una nueva tubería para conectar el alcantarillado al colector cercano eliminando la tubería de interconexión, además de la instalación de un colector adicional para incrementar la capacidad del colector existente.</p>
2. Cámaras de rejas	<p>Dos tamices están rotos, por lo que se produce acumulación de arena y de residuos en el fondo del sifón que puede provocar obstrucciones de la tubería de limpieza si no se mantiene adecuadamente.</p>	<p>1) Sustituir los tamices rotos.</p> <p>2) Operar la bomba de limpieza del sifón de manera continua en lugar de en forma intermitente como se realiza en la actualidad.</p>
3. Sifón	<p>La entrada de agua de mar en el sifón puede provocar la reducción de la vida útil de las bombas a causa de la corrosión producida por el agua salada, así como incrementar los costos de O/M al tener que bombear también el agua de mar que penetra en el sifón.</p>	<p>1) Se requiere realizar un estudio detallado de las condiciones físicas de la pared interior del sifón y de la entrada de agua de mar.</p> <p>2) A partir de los resultados del estudio se estudiarán y seleccionarán las medidas de rehabilitación apropiadas, incluyendo el estudio de la necesidad de instalar un sifón adicional</p>

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Tabla 12.1 Problemas y medidas de solución (Continuación)

Componentes del sistema	Problemas	Medidas de mejoramiento
4. Estación de bombeo de Casablanca	<p>1) Se necesita prestar especial atención a la O/M para mantener las bombas existentes en buenas condiciones.</p> <p>2) Las piezas de respuesto no están disponibles en el mercado ordinario toda vez que las piezas de respuesto usadas son hechas a la medida.</p> <p>3) La capacidad limitada del pozo sumidero obliga a hacer mediciones regulares y exactas del nivel del agua, pero el equipo de onda acústica que se emplea no puede medir adecuadamente el nivel del agua, lo que provoca que la bomba se opere manualmente mediante la observación visual de los operadores.</p> <p>4) No existe la práctica de medir regularmente el volumen de agua residual bombeado para proporcionar información sobre la O/M del sistema de colección de aguas residuales.</p>	<p>1) Instalar un nuevo tipo de bomba.</p> <p>2) Instalar un nuevo equipo de medición del nivel del agua residual.</p> <p>3) Instalar un nuevo equipo para medir el volumen de agua residual.</p>
5. Túnel de conducción	<p>En el estudio anterior se identificaron grietas en la pared interior. Las grietas pueden producirse en el proceso normal de desgaste.</p>	<p>1) Cuando el túnel se emplee en condiciones de flujo por gravedad sólo se requieren trabajos sencillos de rehabilitación parcial.</p> <p>2) Cuando el túnel se emplee en condiciones de flujo a presión se requerirá una rehabilitación completa: tubería insertada de acero o revestimiento de la pared interior con plástico reforzado e inyección de hormigón.</p> <p>3) En caso que se necesite hacer una rehabilitación completa, resulta imposible bombear el agua residual durante el tiempo que dure la rehabilitación. Para evitar tal situación se requerirá la construcción de un nuevo túnel de conducción.</p>
6. Emisario submarino	<p>Se necesita mejorar la calidad del agua residual vertida.</p>	<p>1) Ejecutar el plan de mejoramiento del emisario submarino.</p> <p>2) El plan de mejoramiento propuesto para el sistema actual de colección de aguas residuales elevará el contenido de DBO y de SS en las cargas contaminantes.</p>

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(2) CONDICIONES DE DISEÑO

1) Flujos de diseño

La Tabla 12.2 resume la base de planificación para el sistema de planificación existente con el fin de evaluar la actual capacidad y preparar un plan de mejoramiento para el futuro.

Los flujos de diseño se calculan para la población de servicio de alcantarillado, la generación futura de agua residual per capital, la generación de agua residual individual por grandes consumidores, y el caudal de entrada/infiltración de agua subterránea, tal y como se describe en el Capítulo 11.

(2) Calidad de diseño del afluente

A partir del flujo promedio diario y de los supuestos en cuanto a la carga de contaminación descritos en la sección 11.4.5, se calcula cada parámetro de la calidad de diseño del afluente como se muestra en la Tabla 12.2.

(3) Calidad de diseño del efluente

Calidad de diseño del efluente: La calidad de diseño del efluente se calcula a partir del nivel de tratamiento necesario para cumplir con las normas de calidad del efluente para el acuífero receptor, como se describe a continuación.

Normas de calidad del efluente: Las aguas residuales serían descargadas en la Playa del Chivo. Se aplicarían las siguientes normas de calidad del efluente.:

Sólidos suspendidos totales	- 150 mg/L
DBO ₅	- 150 mg/L
pH	- 5 –10 pH units
Grasa y aceite	- 50 mg/L
Flotables	- no visibles

Eficiencia del tratamiento: Para cumplir con las normas de calidad del efluente se aplicará el proceso de tratamiento primario de aguas residuales y la eficiencia del tratamiento en términos de los parámetros fundamentales de calidad pueden establecerse como sigue:

- DBO y SS: 30–50 % de remoción
- N-T y F-T: 10-20% de remoción

Tabla 12.2 Bases de diseño para el Sistema Central de Alcantarillado (Año meta 2020)

Aspecto	Sistema central de alcantarillado existente
1. Población de servicio	587,000 (*427,900) (**159,100)
2. Área de planificación (ha)	2,988.9 (*2,222) (**766.9)
3. Generación de aguas residuales (m³/d)	207,300 (*148,200)
3.1 Domésticas (m ³ /d)	98,617 (*71,888)
3.2 No domésticas, fuentes pequeñas (m ³ /d)	90,398 (*65,897)
3.3 No domésticas, fuentes grandes (m ³ /d)	18,214 (*10,377)
3.4 Total (m ³ /d)	207,229 (*148,162)
4. Flujos de diseño	
4.1 Infiltración/Caudal de entrada (m ³ /d)	23,340
4.2 Flujo diario promedio (m³/d)	230,569 = 230,600
4.3 Máximo diario (m³/d)	272,000
4.4 Máximo por hora (m³/d)	329,500
5. Calidad de diseño del agua residual	
5.1 Calidad del afluente	
DBO (mg/L)	190
SS (mg/L)	190
N-T (mg/L)	28
F-T (mg/L)	2.6
5.2 Calidad del efluente	
Con tratamiento primario	
DBO (mg/L) <30–50 % de remoción>	120
SS (mg/L) <40–60 % de remoción>	120
N-T (mg/L) <10-20% de remoción>	24
F-T (mg/L) <10-20% de remoción>	2.2

Nota) *: Dentro de la cuenca , **: Fuera de la cuenca

12.2.2 PROBLEMAS RELACIONADOS CON LAS INTERCONEXIONES Y MEDIDAS DE SOLUCIÓN

(1) Estudios de campo adicionales

Como se describe en la sección 5.2.3, se realizó un estudio inicial de las interconexiones con el empleo del método del colorante para las zonas piloto relacionadas con los canales de drenaje pluvial de San Nicolás, Arroyo Matadero y Agua Dulce, pero se encontraron muy pocos casos

de conexiones entre las viviendas y los drenes cercanos. Sólo se identificaron tres interconexiones de las 217 muestras estudiadas. El estudio posterior identificó una interconexión entre un colector principal y un canal de drenaje. Tales resultados indican que las viviendas están correctamente conectadas a los colectores laterales o a los colectores de la calle, pero algunos colectores principales se han conectado a tuberías/conductos de drenaje cuando la capacidad del colector es insuficiente.

Si no se toman medidas para resolver el problema de las interconexiones sería difícil que el sistema central de alcantarillado rehabilitado pueda reducir eficazmente las cargas contaminantes toda vez que una parte del agua residual continuaría descargándose en la Bahía de La Habana a través de los canales de drenaje existentes.

En la sección siguiente se estudiarán y propondrán algunas medidas para la rehabilitación y el mejoramiento del sistema central de alcantarillado. La planificación y el diseño de tales medidas se basa en el supuesto de que se hallará una solución al problema de las interconexiones antes de la entrada en servicio de las instalaciones.

Se realizó otro estudio de campo sobre las interconexiones en cuatro de los lugares previamente identificados por el INRH para comprender en detalle la situación de las interconexiones en la zona relacionada con el Dren Matadero.

(2) Medidas de solución necesarias

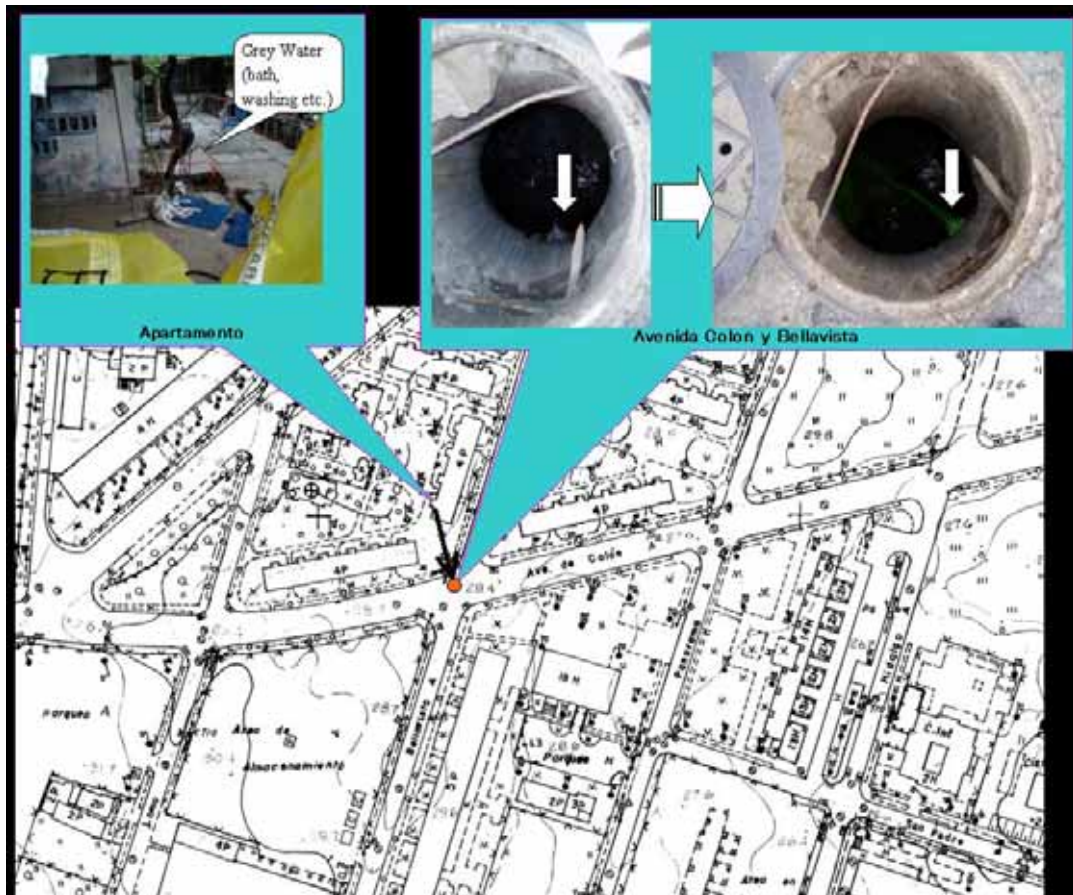
De las cuatro locaciones estudiadas fue posible identificar el origen o la fuente de la interconexión en tres de ellas. La Figura 12.5 muestra un ejemplo de los resultados de la investigación para las locaciones donde se pudo identificar el origen o la fuente de la interconexión.

Para eliminar las interconexiones en estos tres lugares se requieren adoptar las medidas siguientes:

- La interconexión proviene de un edificio de apartamentos situado en Avenida Colón y Bellavista y sólo se descarga una parte del agua gris. Tal interconexión puede eliminarse fácilmente con la conexión al colector más cercano.
- Con el empleo del método del colorante, se identificó una interconexión del registro de alcantarillado al registro de drenaje cercano en Tulipán y Estancia. La causa de tal interconexión podría ser la capacidad inadecuada del colector cercano o un simple error. Para la eliminación de esta interconexión se necesita investigar la capacidad actual y la elevación del colector.
- En la Figura 12.5 (Ermita y San Pedro) aparecen los resultados de una interconexión debido a la insuficiente capacidad del colector. En este caso será necesario instalar una tubería para incrementar la capacidad del colector.

Además de los hallazgos anteriores se descubrió asimismo que el Colector con estructura de sifón que cruza el canal de drenaje pluvial próximo cuenta con estructuras de desborde para desviar las aguas residuales cuando sobrepasan la capacidad del Colector.

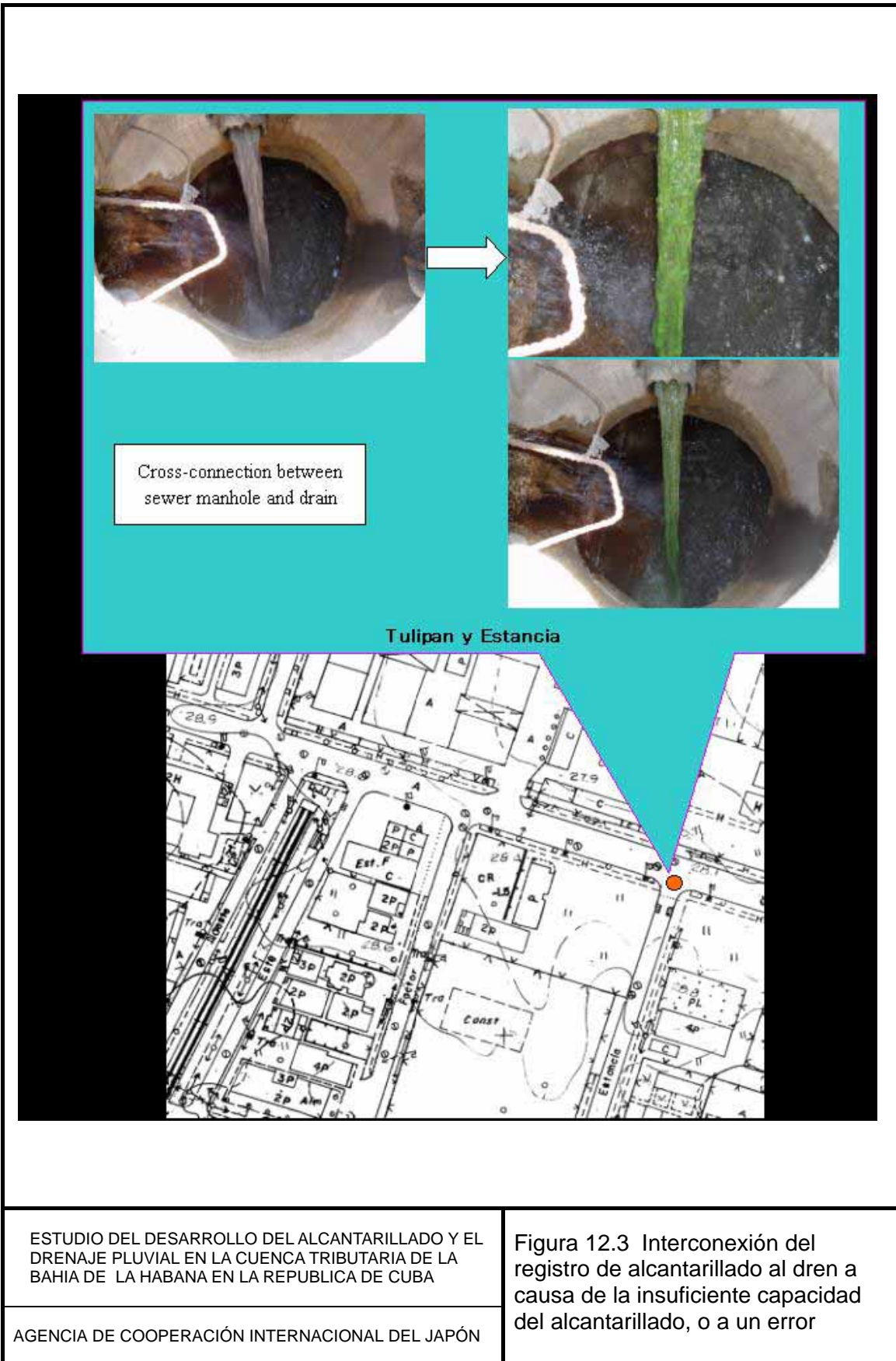
Resulta necesario realizar un estudio detallado a largo plazo para identificar la ubicación exacta de las interconexiones con el fin de preparar medidas apropiadas de solución del problema.

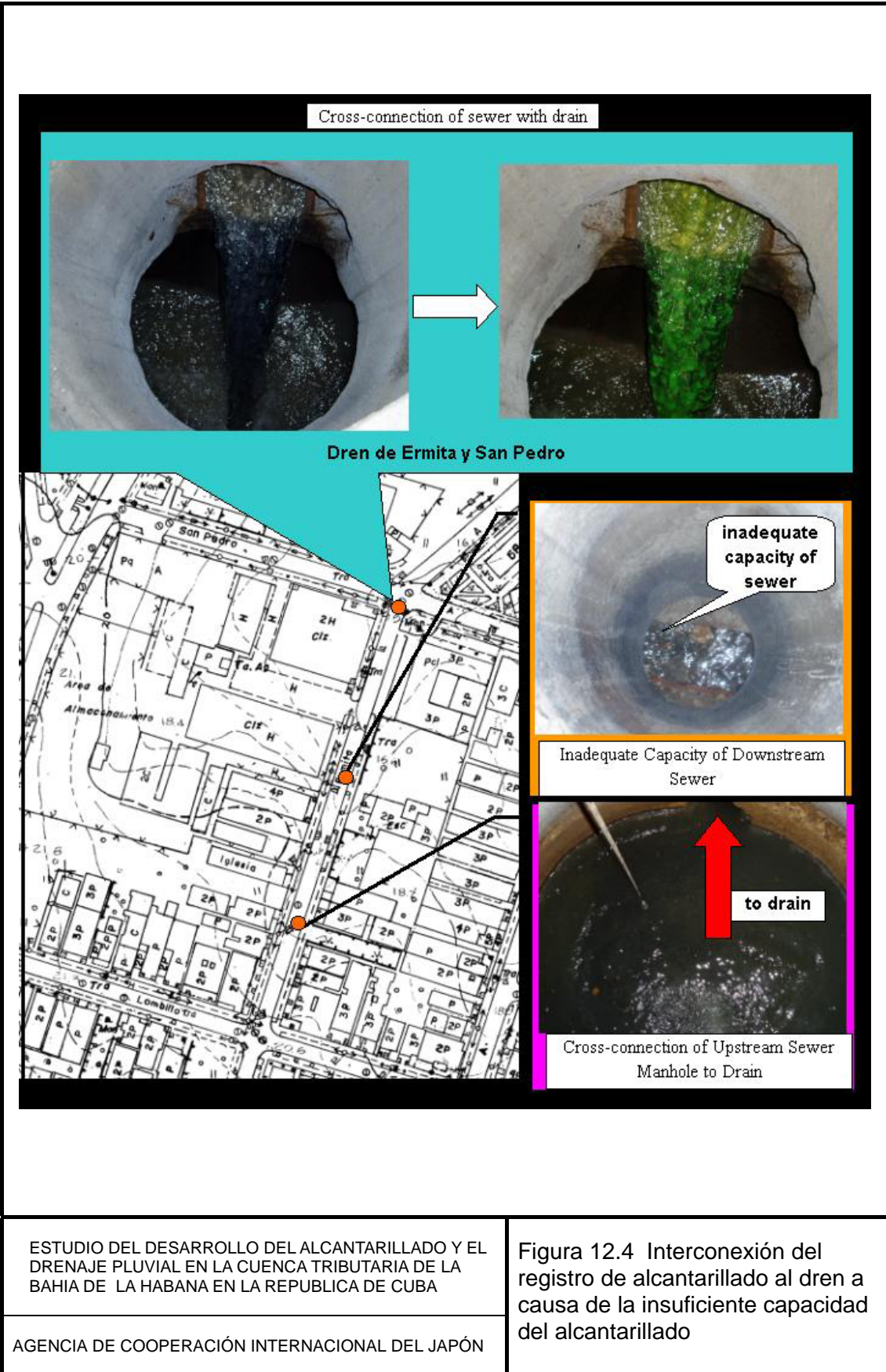


ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.2 Interconexión del registro de alcantarillado de un edificio de apartamentos al dren cercano





12.2.3 MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LOS COLECTORES

(1) Metodología

La capacidad de los colectores existentes de Centro Habana, Cerro, Sur 1, Sur 2, Sur 3 y Sur ,localizados donde muestra la Figura 12.5, se calcula y compara contra los flujos de diseño del año 2020 para determinar si se requiere aumentar o no la capacidad con la instalación de un nuevo colector. El nuevo sistema de colección se planifica para la capacidad adicional requerida.

La capacidad actual se calcula a partir de la información disponible sobre los colectores: forma y diámetro, pendiente, cota de invertida y longitud. Para calcular la capacidad de los colectores existentes, se emplea el coeficiente de rugosidad de la fórmula de Manning, valor n de 0.016.

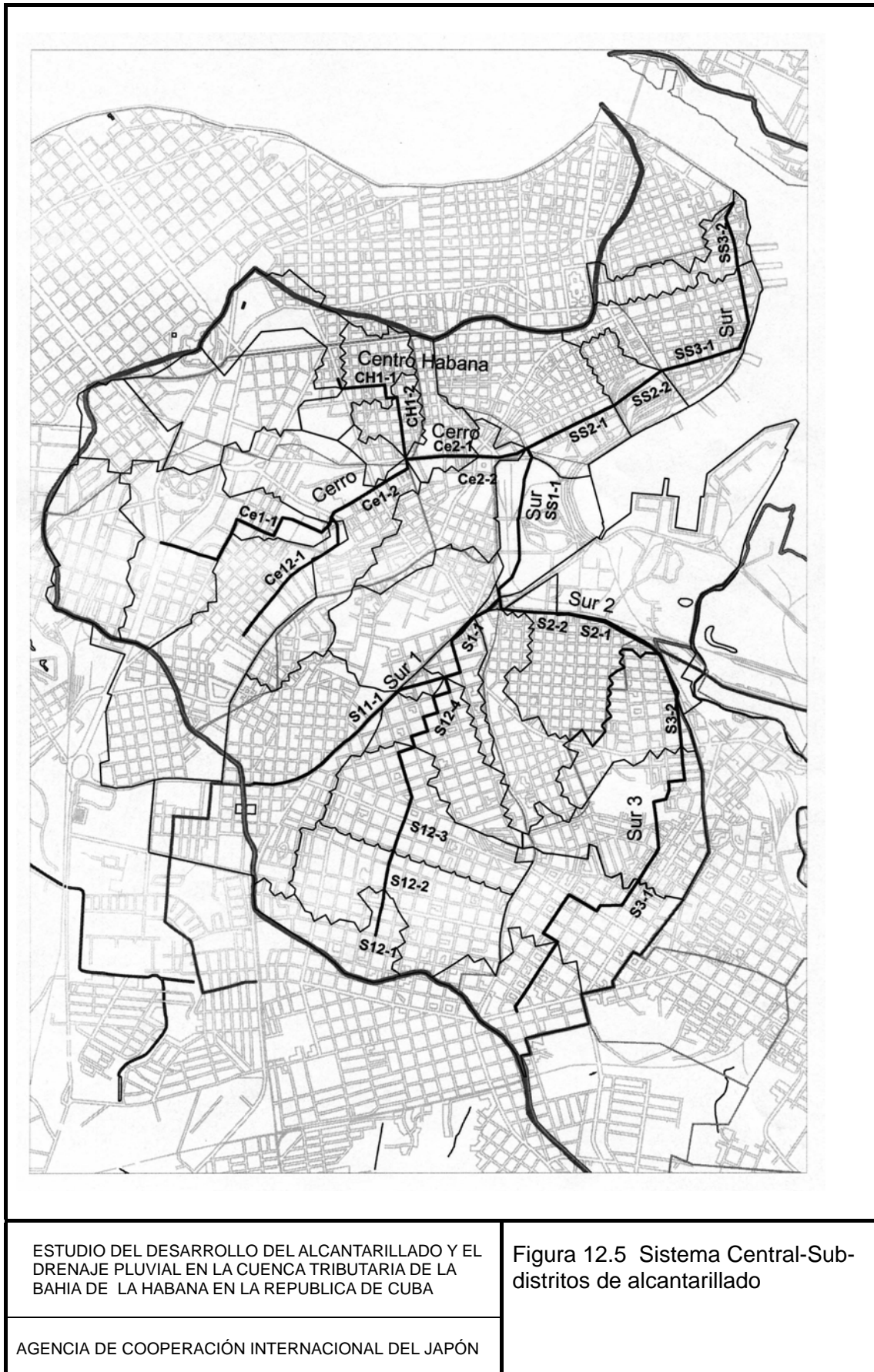
(2) Capacidad de los colectores existentes

En la tabla a continuación se resumen los colectores con una capacidad inferior a la capacidad de diseño. Los resultados detallados de la evaluación de la capacidad actual de los Colectores existentes aparecen en el Apéndice 10 del Informe Complementario, Volumen III. Como los Colectores existentes se diseñaron e instalaron a partir de la pendiente de superficie por lo general, algunas partes de los Colectores enumerados en la tabla que aparece a continuación podrían tener la capacidad suficiente en las condiciones hidráulicas de gradiente. Por tanto, se recomienda que los Colectores enumerados en la tabla se estudien en detalle con el fin de hallar cualesquiera problemas causados por una capacidad inadecuada o por sus condiciones físicas, e identificar las medidas de rehabilitación o mejoramiento apropiadas.

Tabla 12.3 Colectores que habrán de instalarse o sustituirse

Colector	Diámetro (mm)	Longitud (m)	
Cerro	675	294	
	1200	285	
	1350	380	
Centro Habana	450	314	
	675	250	
	750	115	
Sur-1	900	210	
Sur-2	750	518	
	900	391	
Sur-3	350	229	
	400	703	
	750	783	
Sur	1500	380	
	1950	602	
	2100	849	

Fuente :Equipo de Estudio de JICA



(3) Colector Sur y Colector Sur 2

1) Generalidades

En la Figura 12.5 se muestra cómo el Colector Sur 3 se conecta al Colector Sur 2 y el Colector Sur 2, el Sur 1, el Centro Habana, y el Cerro se conectan al Colector Sur finalmente para conducir las aguas residuales hasta las cámaras de rejillas de Caballería. El Colector Sur y el Colector Sur 2 son colectores importantes del Sistema Central de Alcantarillado, pero han estado en explotación durante más de 90 años y no poseen la capacidad suficiente para hacer frente a los futuros flujos de agua residual. Por tanto, su rehabilitación y mejoramiento resulta indispensable para el sistema central de alcantarillado.

2) Condiciones de diseño

La capacidad de los Colectores después de la rehabilitación se calcula también a partir de los siguientes supuestos:

- Reducción del diámetro
Después de los trabajos de rehabilitación, se asume que el diámetro del Colector se reducirá al 90% de su diámetro original.
- Disminución del valor n del coeficiente de rugosidad
Se aplica el valor n de 0.013 del coeficiente de rugosidad tomando en cuenta el caso del empleo de tuberías con revestimiento de hormigón.

En la sección 11.6.1 se analizan otras condiciones de diseño.

3) Capacidad de diseño de los colectores rehabilitados

La capacidad actual del Colector Sur y del Colector Sur 2 se estima tal y como se muestra en la Tabla 12.4. La Tabla muestra asimismo la capacidad del Colector Sur después de su rehabilitación.

Como la capacidad estimada del Colector Sur 2 es demasiado pequeña para conducir los flujos futuros de aguas residuales, se propone la instalación de un nuevo colector, a saber, Colector A (ver Figura 12.6) con el fin de conducir el agua residual, mientras que el Colector Sur 2 existente se utilizará como alcantarilla de calle o como sub-colector.

La tabla muestra que la capacidad del Colector Sur después de su rehabilitación es superior a los flujos de diseño, pero no satisface la resistencia de diseño especificada en la Tabla 11.13. La capacidad insuficiente se suplirá con la instalación del nuevo Colector propuesto, lo que permitirá la rehabilitación del Colector Sur y elevar su confiabilidad. En la tabla se muestra igualmente que la capacidad de diseño y la resistencia serán suficientes cuando entre en funcionamiento el nuevo sistema de colectores propuesto.

Tabla 12.4 Capacidad del Colector Sur y del Colector Sur 2

Colector	Sub-colector	Flujo de diseño (2020)	Diámetro	Gradiente hidráulica	Capacidad del sistema*	Capacidad después de la rehabilitación	Capacidad de diseño con la resistencia
		(L/s)	(mm)	(1/1000)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
Sur	SS1-1	1,504	1,350	1.0	1,820	1,689(12%)	1,059(59%)
	SS2-1	2,506	1,750	0.8	3,255	3,007(20%)	2,100(43%)
	SS2-2	2,567	1,750	0.8	3,255	3,007(17%)	2,162(39%)
	SS3-1	2,686	1,900	0.8	3,983	3,742(39%)	2,284(64%)
	SS3-2	2,733	1,900	0.8	3,983	3,742(37%)	2,332(60%)
Sur 2	S2-1	613	750		175(349)	Con el nuevo Colector Sur A	
	S2-2	676	900		286(573)	Con el nuevo Colector Sur A	
	S21-1	734				Sin rehabilitación	

Note: * estimated full flow capacity with n=0.016 and with average hydraulic gradient

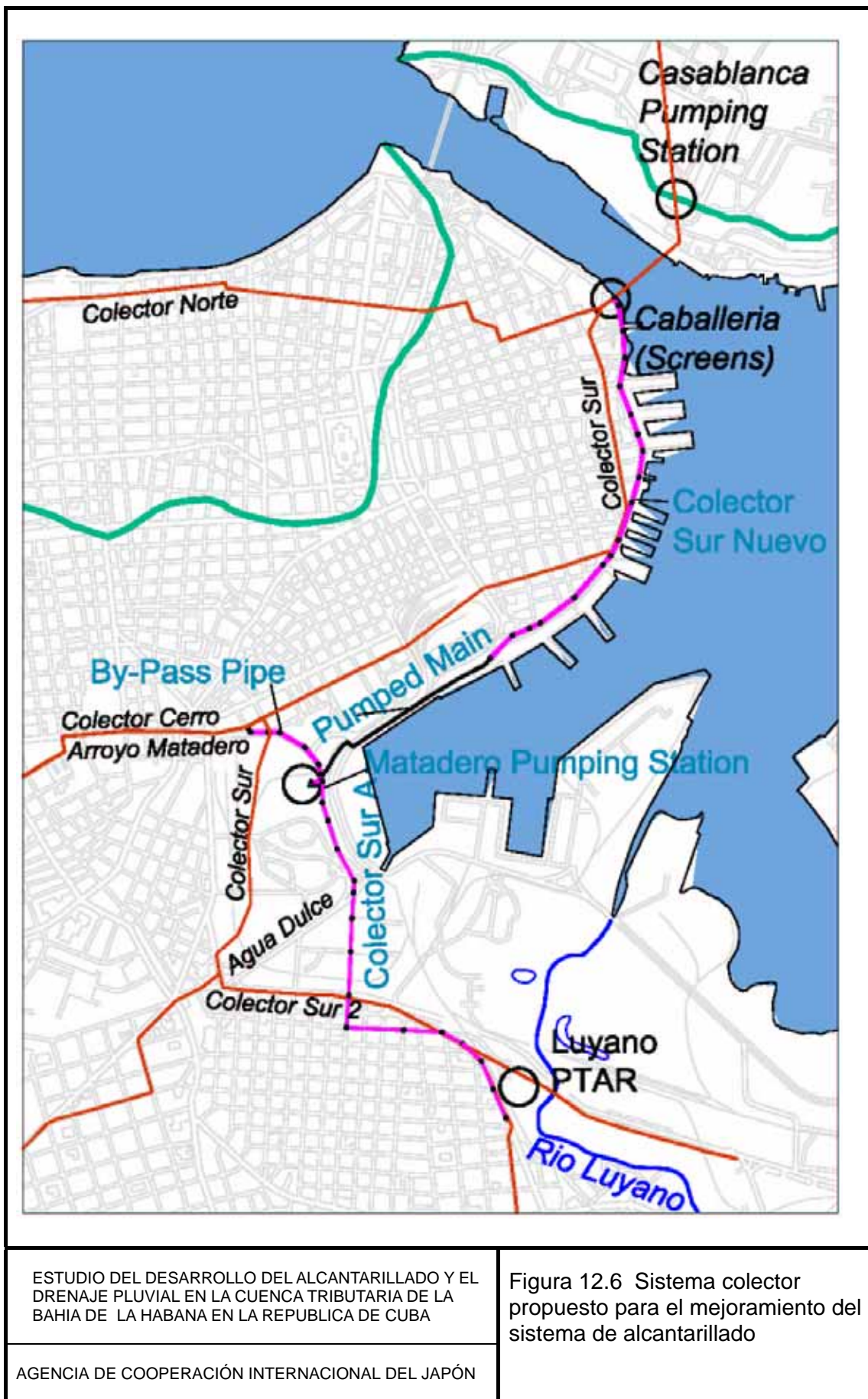
Fuente: Equipo de Estudio JICA

(4) Sistema propuesto para la rehabilitación del Colector Sur

Se propone el siguiente sistema de colección tal y como aparece en la Figura 12.6 para rehabilitar el Colector Sur y elevar la confiabilidad del Sistema Central:

- Colector Sur A
- Estación de bombeo de Matadero
- Colector a presión
- Colector Sur Nuevo

En la sección 12.3.3 se describirá en detalle el diseño de estas instalaciones de alcantarillado toda vez que el diseño tiene en cuenta asimismo el agua residual durante la rehabilitación del Colector Sur y el agua residual generada en la margen izquierda del río Luyanó.



12.2.4 ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EXISTENTE

(1) General

Algunas instituciones cubanas realizaron un estudio preliminar de las cámaras de rejillas, la estación de bombeo de Casablanca, el túnel de conducción y el emisario submarino. Por tanto, se preparará el plan de mejoramiento relacionado con los componentes del sistema de alcantarillado ubicados después de las cámaras de rejillas a través de un estudio de las alternativas a partir de la revisión del estudio preliminar con el fin de seleccionar la mejor variante.

(2) Alternativas

Se prepararon tres alternativas para el mejoramiento de todas las instalaciones existentes, salvo el Colector Sur. A continuación se hace una descripción de cada alternativa que además se ilustran en la Figura 12.7 y en la Figura 12.8.

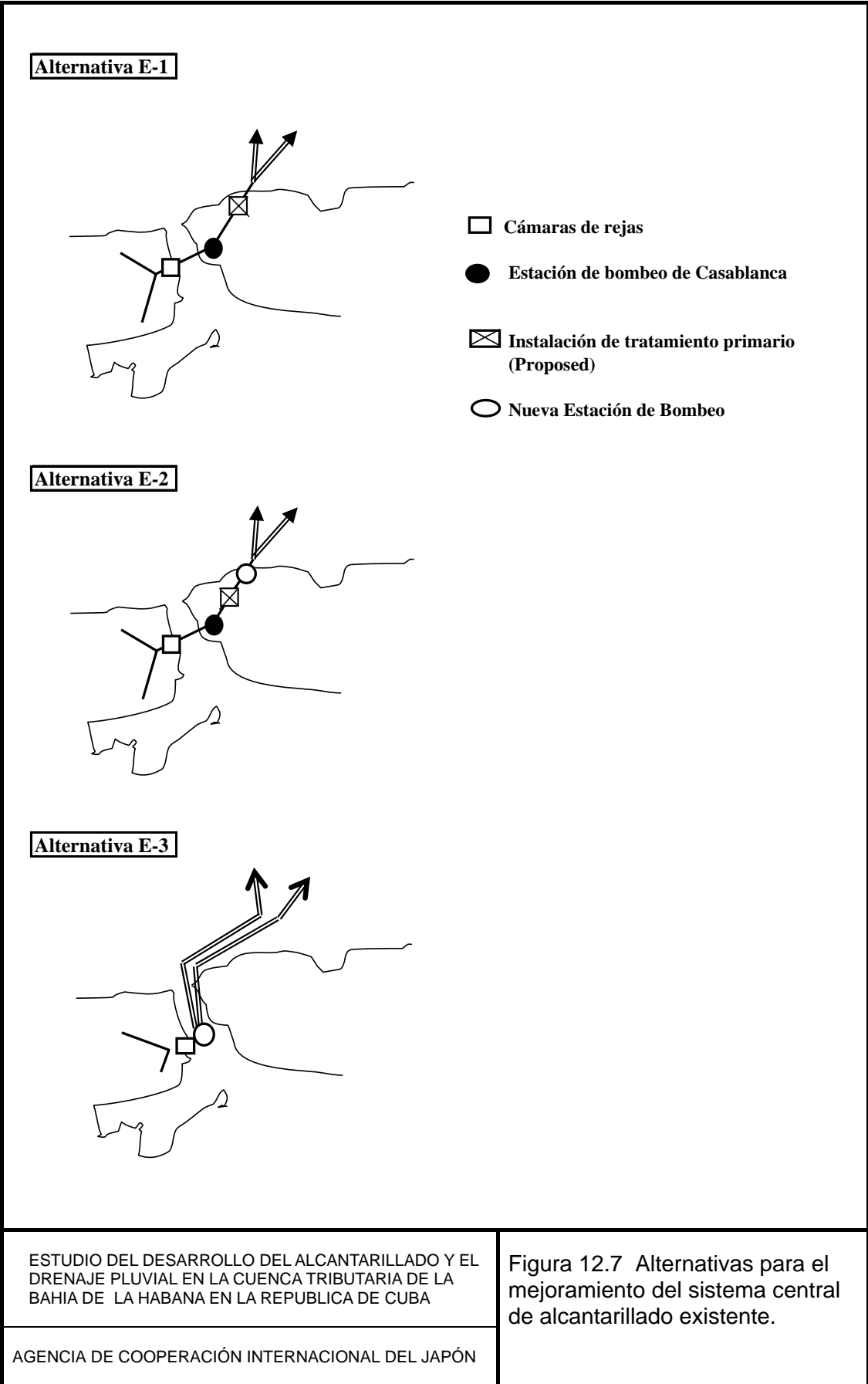
Alternativa E-1: Rehabilitación de la Estación de Bombeo de Casablanca, instalación de las bombas para incrementar la altura de bombeo a aproximadamente 15 a 20 metros comparada con la actual de 8 metros, rehabilitación del emisario submarino, y construcción de las instalaciones para el tratamiento preliminar de las aguas residuales en la zona de la Playa del Chivo.

Cuando se reemplace el emisario submarino de la Playa del Chivo por uno nuevo, se necesitará una altura de bombeo 8 metros mayor para las bombas que se instalen en la Estación de Bombeo de Casablanca. Asimismo, en este caso el túnel de conducción que se extiende desde la Estación hasta el emisario submarino operará bajo régimen de flujo a presión, por lo que se rehabilitará completamente para hacer frente a tal régimen.

Alternativa E-2: Rehabilitación de la Estación de Bombeo de Casablanca con la instalación de bombas con una altura de 8 m, construcción de la Estación de re-bombeo, reparación parcial y sencilla del túnel de conducción, rehabilitación de las cámaras de rejillas, sustitución del emisario submarino, y construcción de las instalaciones para el tratamiento preliminar de las aguas residuales en la zona de la Playa del Chivo.

La diferencia entre la alternativa 1 y la 2 estriba en la magnitud de la reparación del túnel de conducción. En la alternativa 2 se proponen instalar bombas adicionales después del túnel de conducción y realizar una reparación sencilla toda vez que el túnel operará por gravedad como en la actualidad.

Alternativa E-3: Construcción de una nueva estación de bombeo cerca de las cámaras de rejillas de Caballería y construcción de emisarios submarinos que atraviesen la bahía para descargar las aguas residuales en la Playa del Chivo.



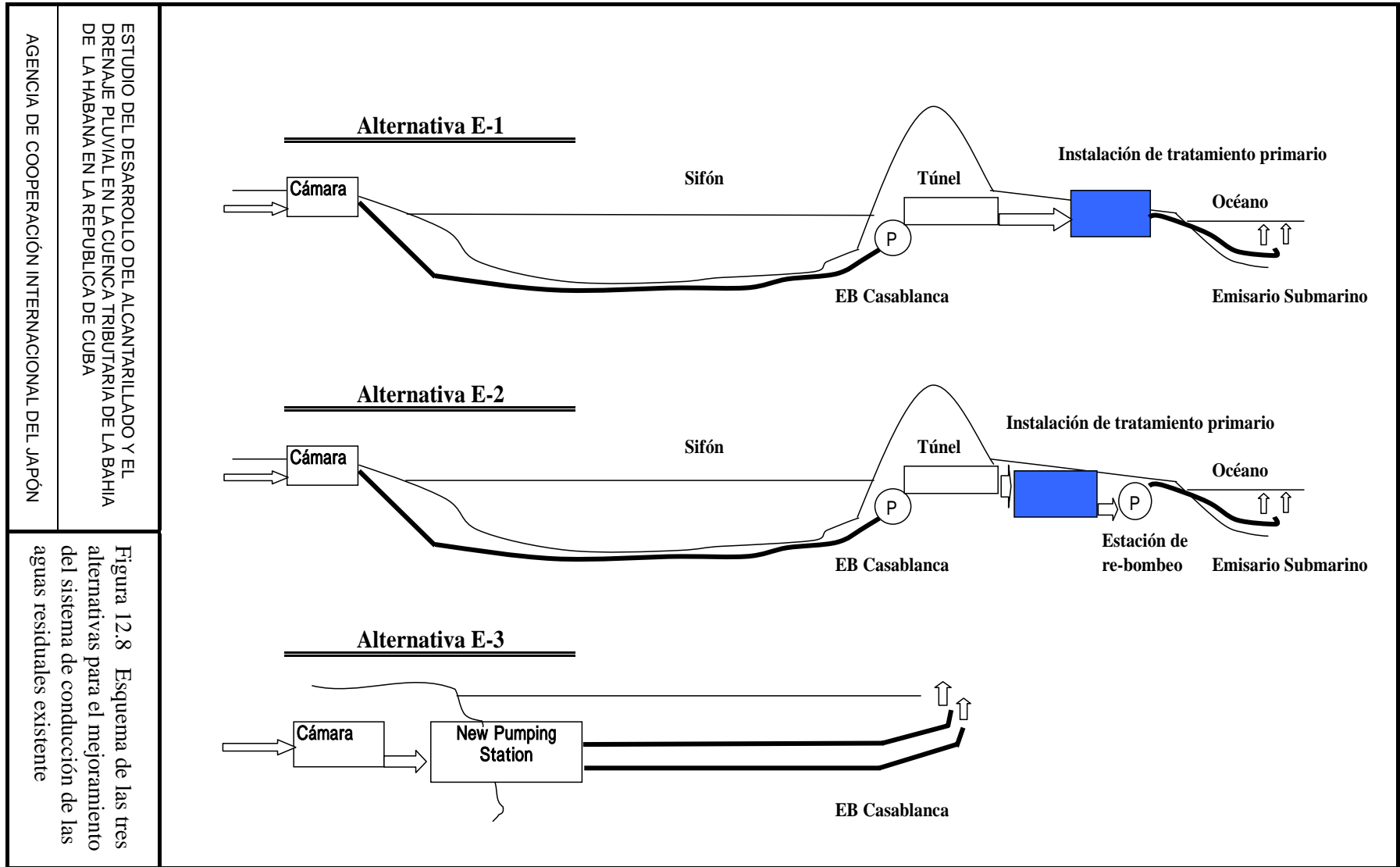


Figura 12.8 Esquema de las tres alternativas para el mejoramiento del sistema de conducción de las aguas residuales existente

(2) Plan de rehabilitación por etapas para cada alternativa

Tomando en consideración la importancia y la necesidad urgente, se preparó un plan de rehabilitación por etapas de los componentes de cada alternativa. Tal plan se resume en la Tabla 12.5.

Tabla 12.5 Plan de rehabilitación para cada alternativa

Período	Trabajos de rehabilitación propuestos	Alternativa E-1 (EB Casablanca)	Alternativa E-2 (EB Casablanca + ERB)	Alternativa E-3 (Nueva EB)
0 ~ 5 Años	1. Rehabilitación de la EB existente	Sustitución de las bombas existentes, aunque no cambiarán las especificaciones técnicas: Q=1.75 m ³ /s, altura = 8 m	Igual que se propone para la variante E-1	Igual que se propone para la variante E-1
	2. Rehabilitación de las cámaras existentes	1) Sustitución de los tamices rotos 2) Sustitución de los tres tamices en el futuro	Igual que se propone para la variante E-1	Igual que se propone para la variante E-1
5 ~ 10 Años	3. Reconstrucción del emisario submarino	1) Sustitución de las bombas por otras con mayor altura: alrededor de 15 m. 2) Reconstrucción del emisario submarino L=300+140=440m x 2 emisarios, incluyendo un difusor de 140m de longitud.	1) Se necesita construir una ERB. Q=1.75 m ³ /s, Altura=5m, 4 unidades (1 de reserva) 2) Reconstrucción del emisario submarino	1) Construcción de una nueva estación de bombeo cerca del sifón. Q=1.321 m ³ /s, H=20.7m, 325kw, 5 unidades (1 de reserva) 2) Construcción de emisarios submarinos desde las cámaras de rejillas hasta el punto de descarga, L=3100+140=3,240m x 2 emisarios submarinos
	4. Rehabilitación del túnel de conducción	Se requerirá la rehabilitación completa para enfrentar el régimen de flujo a presión	No se requerirá la rehabilitación en condiciones de flujo por gravedad	1) Abandono del túnel y del emisario submarino. 2) Abandono de la EB existente
	5. Reconstrucción del sifón	A partir del estudio detallado de las condiciones físicas del sifón se considerará la reconstrucción del sifón.	Igual que se propone para la alternativa 1	El sifón existente puede emplearse como instalación para el almacenamiento si se confirma con el estudio su impermeabilidad.
10 ~ 20 Años	6. Construcción de la instalación de tratamiento primario	Sustitución de las bombas para lograr una altura de bombeo de unos 20 metros.	Para la construcción de la instalación para el tratamiento de aguas residuales entre el túnel y la ERB no se necesita que las bombas cumplan con las especificaciones de la ERB.	

(3) Comparación de las alternativas

Para comparar cada alternativa se toman en consideración los siguientes parámetros. La comparación preliminar de cada alternativa también se resume en la Tabla 12.6:

- Adquisición de terrenos
- Aplicación de la capacidad constructiva local
- Reducción de la carga contaminante vertida en el Gran Caribe
- Efecto durante la construcción
- Costo de construcción de las instalaciones principales (sólo para la comparación a partir del estimado preliminar de costo)
- Costo de O/M (sólo para la comparación del costo preliminar por concepto de electricidad a partir de la altura de bombeo requerida)

Tabla 12.6 Comparación de las variantes para el mejoramiento del sistema central de alcantarillado (1/2)

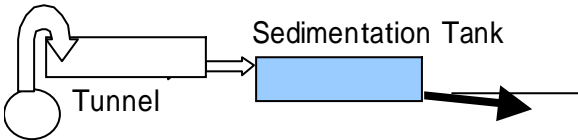
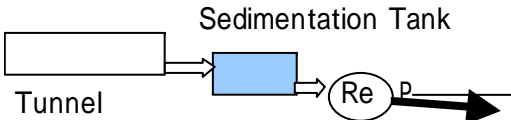
Aspecto	Alternativa E-1 EB Casablanca	Alternativa E-2 EB Casablanca +ERB	Alternativa E-3 Nueva estación de bombeo
1. Secuencia de la rehabilitación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rehabilitación de la Estación de Bombeo de Casablanca (en cinco años) 2. Construcción del emisario submarino, reparación necesaria para fortalecer la pared interior del túnel (de cinco a diez años) 3. Construcción de la instalación para el tratamiento primario(tanque de sedimentación), y trabajos de expansión para incrementar la capacidad de la Estación de Bombeo de Casablanca (de 10 a 20 años) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca existente (en cinco años) 2. Construcción del emisario submarino, construcción de la estación de re-bombeo, con reparación menor del túnel donde sea necesario para el flujo por gravedad (de cinco a diez años) 3. Construcción de instalación para el tratamiento primario de las aguas residuales de considerarse necesario (de diez a veinte años) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca (en cinco años) 2. Construcción del emisario para la nueva estación de bombeo (de 10 a 15 años)
2. Adquisición de terrenos	<ul style="list-style-type: none"> - Sólo para la instalación de tratamiento primario. Las otras son instalaciones existentes. - Es posible ubicar las instalaciones para la sedimentación en la zona costera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se necesitan para el tanque de sedimentación y la nueva estación de bombeo. - Es posible ubicar las instalaciones para la sedimentación en la zona costera después del túnel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es difícil obtener terrenos para la estación de bombeo cerca de las cámaras de rejillas
3. Aplicabilidad de la capacidad de construcción local	<p>La tecnología de la construcción en Cuba es aplicable en todos los casos excepto para el fortalecimiento de la estructura del túnel.</p>	<p>La tecnología constructiva cubana es aplicable para todas las obras</p>	<p>La tecnología constructiva cubana es aplicable para todas las obras</p>
4. Reducción de la descarga de la carga contaminante al Gran Caribe Sea	<p>Tasa de remoción DBO₅ y SS - 40 a 50%</p>	<p>Tasa de remoción DBO₅ y SS - 40 a 50%</p>	<p>Tasa de remoción DBO₅ y SS - 0%</p>

Tabla 12.6 Comparación de las variantes para el mejoramiento del sistema central de alcantarillado (2/2)

Aspecto	Alternativa E-1 EB Casablanca	Alternativa E-2 EB Casablanca + ERB	Alternativa E-3 Nueva estación de bombeo
5. Efecto durante la construcción		4.	
1) Dentro de la instalación existente	Inicialmente - rehabilitar 2 tamices Futuro - rehabilitar 3 tamices	Inicialmente - rehabilitar 2 tamices Futuro - rehabilitar 3 tamices	Inicialmente - rehabilitar 2 tamices Futuro - rehabilitar 3 tamices
2) Fuera de la instalación existente	En la carretera de acceso	Investigación (para decidir si la instalación de un nuevo túnel es necesaria)	Utilización posible como pozo sumidero para la nueva estación de bombeo si la infiltración es menor
3) En la bahía	Debido a la descarga de aguas residuales en la bahía durante la construcción	-----	Debido a la construcción del emisario, efecto sobre la navegación o viceversa
6. Costo de construcción de las instalaciones existentes	- Construcción del emisario - Túnel (reparación capital para fortalecer la pared interior y hacer frente a las condiciones del flujo a presión) - Instalación de tratamiento primario - Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca 130%	- Construcción del emisario - Túnel (reparación menor) - Instalación de tratamiento primario - Rehabilitación de la Estación de Bombeo de Casablanca 100%	Construcción de la nueva estación de bombeo y del emisario - 400%
7. Costo de O/M (Comparación del costo preliminar a partir de las necesidades de bombeo)	Altura total de bombeo requerida: H=20 m, (120%)	Altura total de bombeo requerida: H=17 m, (100%)	Altura total de bombeo requerida: H=21 m, (120%)

Fuente:Equipo de Estudio de JICA

(5) Selección de la alternativa

1) Criterios de selección

Para seleccionar la mejor alternativa se toman en consideración los criterios siguientes:

- Descarga en la bahía durante la construcción
- Efecto durante la construcción
- Complejidad de la construcción (aplicabilidad de la capacidad constructiva cubana)
- Aplicabilidad de la construcción por etapas (idónea para situaciones de limitaciones de recursos)
- Necesidades de terreno
- Costo de construcción
- Costo de O/M
- Uso del sistema existente
- Reducción de la carga contaminante vertida en el Gran Caribe

2) Evaluación de cada alternativa

La evaluación de cada alternativa se presenta en la Tabla 12.7 empleando una calificación preliminar: – **Muy bien**, – **Bien**, – **Regular** X – **Mal**.

Para la selección de la mejor alternativa la construcción por etapas será aplicable para la ejecución de cada alternativa, tomando en consideración los puntos de vista siguientes:

- Estará dentro de la capacidad constructiva cubana la reducción de los costos de construcción.
- La adquisición de terrenos (disponibilidad) será más fácil toda vez que es una pre-condición para la construcción.
- La carga de contaminación a la bahía será mínima durante la construcción.
- La carga de contaminación al Gran Caribe será mínima.
- Los costos de construcción y de operación serán mínimos.

3) Selección de la mejor alternativa

A partir de lo anterior, la alternativa preferible es aquella para la que sea aplicable la construcción por etapas así como la de menor costo para obtener financiamiento. De acuerdo con los resultados de la evaluación para cada alternativa, se seleccionó la Alternativa E-2 toda vez que su ejecución es ventajosa considerando la construcción por etapas.

Tabla 12.7 Evaluación de los sistemas alternativos para el mejoramiento del sistema central de alcantarillado (1/3)

Aspecto	Alternativa E-1 EB Casablanca	Alternativa E-2 EB Casablanca + ERB	Alternativa E-3 Nueva estación de bombeo
1 Descarga a la bahía durante la construcción	Por alrededor de tres meses durante el reforzamiento del túnel X	No hay descarga en la bahía	Corto período durante la sustitución de las bombas
2 Efecto durante la construcción	<ul style="list-style-type: none"> - Reforzamiento del túnel dentro de los límites de la instalación. - Construcción del tanque de sedimentación fuera de los límites de la instalación - Será necesario modificar las instalaciones de bombeo durante la construcción por etapas. 	La mayor parte de la construcción es la rehabilitación del sistema existente y la construcción del tanque de sedimentación y de la estación de bombeo fuera de los límites de la instalación, lo que afectará el tráfico.	Congestión del tráfico debido a la construcción de la estación de bombeo contigua a una carretera principal. Como la construcción del emisario afecta el tráfico marítimo, se establecerán restricciones a las construcciones. X
3 Complejidad de la construcción (aplicabilidad de la capacidad de construcción cubana)	Excepto para el reforzamiento del túnel que requiere tecnología extranjera, la capacidad cubana es adecuada para el resto de las obras.	La capacidad cubana es adecuada para todas las construcciones.	La capacidad cubana es adecuada para la construcción subterránea de la estación de bombeo, así como para la instalación de los emisarios.
4 Aplicabilidad de la construcción por etapas (Idónea para limitaciones de financiamiento)	Se requiere reforzar el túnel, construir el emisario y rehabilitar las bombas durante la misma etapa.	Comparada con la Alternativa 1 que es aplicable para la construcción por etapas, el no incluir el reforzamiento del túnel hace atractiva esta alternativa para la construcción por etapas.	Resulta necesario construir todo el sistema de una vez. Requiere gran inversión de capital y la obtención del financiamiento será difícil. X

Nota : – Muy bien, – Bien, – Regular X - Mal

Tabla 12.7 Evaluación de los sistemas alternativos para el mejoramiento del sistema central de alcantarillado (2/3)

Aspecto	Alternativa E-1 EB Casablanca	Alternativa E-2 EB Casablanca + ERB	Alternativa E-3 Nueva estación de bombeo
5 Necesidades de terrenos	Se necesitan para la instalación de sedimentación	Se necesitan para la instalación de sedimentación y para la estación de re-bombeo	La obtención de los terrenos cerca de las cámaras de rejillas es difícil. X
6 Costo de construcción	Resultará necesario desembolsar los costos de construcción del emisario, del reforzamiento del túnel, y de la rehabilitación de las bombas en una misma fase.	En la construcción por etapas se juntarán el costo de construcción del emisario y el de la estación de re-bombeo. La construcción de otras instalaciones puede realizarse individualmente.	Costo de construcción en gran escala necesario. X
7 Costo de O/M	- una sola estación de bombeo	- dos estaciones de bombeo pero con un costo de mantenimiento menor.	El costo por concepto de electricidad representará la mayor parte del costo de O/M.
8 Uso del sistema existente	Al máximo	Al máximo	Se abandonarán casi todas las instalaciones X
9 Reducción de la carga contaminante al Gran Caribe	Tratamiento primario	Tratamiento primario	Sin tratamiento X

Nota : - Muy bien, - Bien, - Regular **X** - Mal

Tabla 12.7 Evaluación de los sistemas alternativos para el mejoramiento del sistema de alcantarillado (3/3)

Aspecto	Alternativa E-1 EB Casablanca	Alternativa E-2 EB Casablanca +ERB	Alternativa E-3 Nueva estación de bombeo
10 Evaluación general	<ul style="list-style-type: none"> - La construcción por etapas será aplicable por sus grandes posibilidades de ejecución. - Estará dentro de la capacidad constructiva cubana reducir los costos de construcción. - La adquisición de terrenos (disponibilidad) será más fácil ya que es una pre-condición para la construcción. - La carga de contaminación vertida en la bahía será mínima durante la construcción. - La carga de contaminación al Gran Caribe será mínima. - Los costos de construcción y mantenimiento serán mínimos. <p>A partir de lo anterior, la alternativa preferible es aquella para la que sea aplicable la construcción por etapas así como la de menor costo para obtener financiamiento.</p>		
	Una sola estación de bombeo comparada con la Alternativa 2 que es ventajosa en términos de costo de O/M.	La construcción por etapas y los costos inferiores de construcción y de operación de esta alternativa resultan ventajas para su ejecución.	X Si se dispone de financiamiento en gran escala, la alternativa resulta atractiva.

Nota : – Muy bien, – Bien, – Regular X – Mal

12.2.5 PLAN DE MEJORAMIENTO PROPUESTO PARA EL SISTEMA CENTRAL DE ALCANTARILLADO EXISTENTE

El plan de mejoramiento propuesto de las instalaciones existentes se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 12.8 Plan de mejoramiento propuesto para el sistema central de alcantarillado existente

Aspecto	Plan propuesto	Observaciones
1.Población meta (año 2020)	Población total de servicio: 587,000 Dentro del área de la bahía: 427,900 Fuera del área de la bahía: 159,100	
2.Área de servicio de alcantarillado	Área total: 2,989 ha Dentro (2,222 ha) 、 Fuera (767 ha)	
3.Generación de aguas residuales (año 2020)	207,229 m ³ /día (148,162 m ³ /día)	(figura) : Dentro del Área de la bahía de la Habana
Agua residual doméstica	98,617 m ³ /day (71,888 m ³ /día)	
Otras aguas residuales (Pequeños consumidores)	90,398 m ³ /day (65,897 m ³ /día)	
Otras aguas residuales (Grandes consumidores)	18,214 m ³ /day (10,377 m ³ /día)	
4. Flujo de diseños		
Flujo promedio diario	230,600 m ³ /día	

Flujo máximo diario	272,000 m ³ /día	
Flujo máximo por hora	329,500 m ³ /día	
5. Afluente proyectado	DBO: 190 mg/L, SS: 190 mg/L N-T 8 mg/L, F-T: 2.6 mg/L	
6. Normas de calidad del afluente	DBO 50 mg/L, TSS: 150 mg/L	Gran Caribe
7. Plan de mejoramiento del sistema central de alcantarillado		
7.1 Estudios detallados de las interconexiones para preparar las medidas de solución apropiadas	Realizar estudios detallados para identificar las interconexiones y preparar medidas de solución con el fin de eliminar la descarga directa de aguas residuales en la zona de Atarés en la bahía de La Habana a través del Dren Matadero y el Dren Agua Dulce.	
7.2 Rehabilitación de la capacidad inadecuada de los colectores	La insuficiente capacidad de los Colectores existentes en Centro Habana, Cerro, Sur 1, Sur 2 y Sur 3 será resuelta con la sustitución de algunos colectores y con la instalación de nuevos colectores.	
7.3 Rehabilitación del Colector Sur y construcción del sistema de colección propuesto	Rehabilitación del Colector Sur (Diámetro: de 1500 a 2100 mm, longitud de la CP: 2,78 km) y construcción del sistema colector propuesto: colector a presión (diámetro:1,350 mm, longitud de la CP: 1,020 mm, Colector Sur Nuevo (diámetro: 1500 mm, longitud de la CP: 1,830 m), y tubería de interconexión (diámetro: de 1,030/1200 mm, HDPE, a 1500 mm, longitud de la CP: 500 m). Construcción del Colector Sur A propuesto (método de excavación, diámetro: 1500 mm, longitud de la CP: 580 m, y método de perforación, diámetro: 1500 mm, longitud de la CP: 1070 m. Construcción de la estación de bombeo de Matadero, Q=20 m ³ /min, H=12 m, 3 unidades incluyendo una de reserva. Durante la rehabilitación del Colector Sur, se instalarán dos unidades adicionales de Q=40 m ³ /min, H=12 m.	CP: tubería centrífuga de hormigón reforzado. HDPE: tubería de polietileno de alta densidad. Se muestran los diámetros interiores y exteriores.
7.4 Rehabilitación de las cámaras de rejillas y estudio detallado de la estructura del sifón	Rehabilitar las cámaras de rejillas (2 unidades) de Caballería, y realizar estudios detallados de las condiciones físicas de las estructuras del sifón para preparar planes de rehabilitación.	
7.5 Rehabilitación de la Estación de Bombeo de Casablanca	Sustituir las bombas existentes (Q=1.75 m ³ /s, H=8 m), 4 unidades incluyendo una de reserva.	Las bombas existentes son de Q=2.6 m ³ /s, H=8 m, 3 unidades incluyendo una de reserva.
7.6 Rehabilitación del túnel de conducción y construcción de la estación de bombeo para descargar el agua residual en el mar a través del nuevo emisario submarino	Descargar las aguas residuales a través de un nuevo emisario submarino con reparaciones menores del túnel de conducción. Se construirá una estación de re-bombeo, Q=1.75 m ³ /s, H=5 m, 4 unidades incluyendo una de reserva, después del túnel de conducción para mitigar la pérdida de altura de bombeo.	

	Las aguas residuales pueden conducirse por gravedad en el túnel, por lo que trabajos menores de reparación tales como el revestimiento interior son aplicables.	
7.7 Instalaciones para el tratamiento primario de aguas residuales y lodos	Para cumplir con las normas de calidad del efluente para la descarga en el Gran Caribe, podrá requerirse en el futuro la construcción de instalaciones para el tratamiento primario de lodos y de aguas residuales. Se prepara un plano del diseño general de las instalaciones de tratamiento.	La necesidad de la construcción de las instalaciones de tratamiento se decidirá a partir del estudio sobre el monitoreo de la calidad del agua residual con anterioridad a la ejecución del plan.
7.8 Instalación de los emisarios submarinos	Instalar un emisario submarino de 300m de largo con dos tuberías difusoras de 140m de longitud.	

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

12.3 PLAN DE DESARROLLO DEL NUEVO SISTEMA DE ALCANTARILLADO

12.3.1 GENERALIDADES

Sería ideal poder construir para el año meta 2020 todos los sistemas de alcantarillado necesarios para cumplir los objetivos relacionados con el mejoramiento de la calidad del agua de la Bahía de La Habana. Sin embargo, como el desarrollo de un nuevo sistema de alcantarillado exige una gran inversión de capital y de tiempo, sólo pueden implementarse algunas partes del plan de desarrollo del sistema de alcantarillado hasta tal año meta. Por tanto, un plan de desarrollo del sistema de alcantarillado que traiga consigo efectos significativos o beneficios sustanciales con un mínimo de inversión de capital resulta muy atractivo. En este Estudio el objetivo primordial del desarrollo del sistema de alcantarillado es reducir las cargas contaminantes que se vierten en la Bahía de La Habana. Por consiguiente, el plan de desarrollo mediante el cual se pueda reducir considerablemente tales cargas con un costo mínimo sería el idóneo.

En la siguiente sección se abordan y estudian comparativamente los planes para las zonas sin servicio de alcantarillado en la actualidad pero que resultan apropiadas para coleccionar el agua residual generada por un sistema de alcantarillado con el fin de formular un plan adecuado para el desarrollo del alcantarillado y cumplir el objetivo de desarrollar un sistema de alcantarillado.

12.3.2 ESTUDIO ALTERNATIVO SOBRE EL NUEVO SISTEMA DE ALCANTARILLADO

(1) Alternativas

Para preparar las alternativas para el nuevo sistema de alcantarillado se toman en cuenta dos destinos finales para la disposición de las aguas residuales tratadas. Uno es la Bahía de La Habana y el otro es el Gran Caribe. En dependencia de los destinos se han preparado las siguientes seis alternativas para el desarrollo del nuevo sistema de alcantarillado.

(1) Bahía de La Habana

Se proponen estudiar las cinco alternativas siguientes. Cada distrito de alcantarillado en todas las alternativas cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) habilitada con un proceso biológico secundario.

Alternativa N-1 (Sistema de cinco zonas): Se crearon cinco pequeños distritos de alcantarillado como se muestra en la Figura 12.9. Esta alternativa es la forma básica. Las otras alternativas se formulan para combinar algunos distritos de alcantarillado. El límite de cada zona se determina de manera tal que pueda aplicarse el sistema de conducción por gravedad. Las cinco zonas se nombran: 1) Distrito de alcantarillado Luyanó Abajo, 2) distrito de alcantarillado Luyanó Arriba, 3) distrito de alcantarillado Martín Pérez Abajo, 4) distrito de alcantarillado Martín Pérez Arriba y 5) distrito de alcantarillado Tadeo. Cada zona posee una PTAR. Por tanto, en esta alternativa se desarrollarían cinco PTAR.

Alternativa N-2 (Sistema de cuatro zonas): Esta es una variante de la alternativa N-1 en la que se combinan el distrito de alcantarillado Luyanó Abajo con el distrito de alcantarillado Martín Pérez Abajo para formar el distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo. Las otras zonas son las mismas que las de la alternativa N-1. En la Figura 12.10 se muestra el sistema de cuatro zonas.

Alternativa N-3 (Sistema de tres zonas): Se establece un distrito de alcantarillado para cada cuenca fluvial. Por tanto, esta alternativa se compone de tres distritos de alcantarillado, a saber, 1) distrito de alcantarillado Luyanó, 2) distrito de alcantarillado Martín Pérez, y 3) distrito de alcantarillado Tadeo. En la Figura 12.10 aparece el sistema de tres zonas.

Alternativa N-4 (Sistema de dos zonas): Esta es una variante de la alternativa N-2 en la que se combinan el distrito de alcantarillado Tadeo y el distrito Martín Pérez. La Figura 12.10 muestra el sistema de dos zonas.

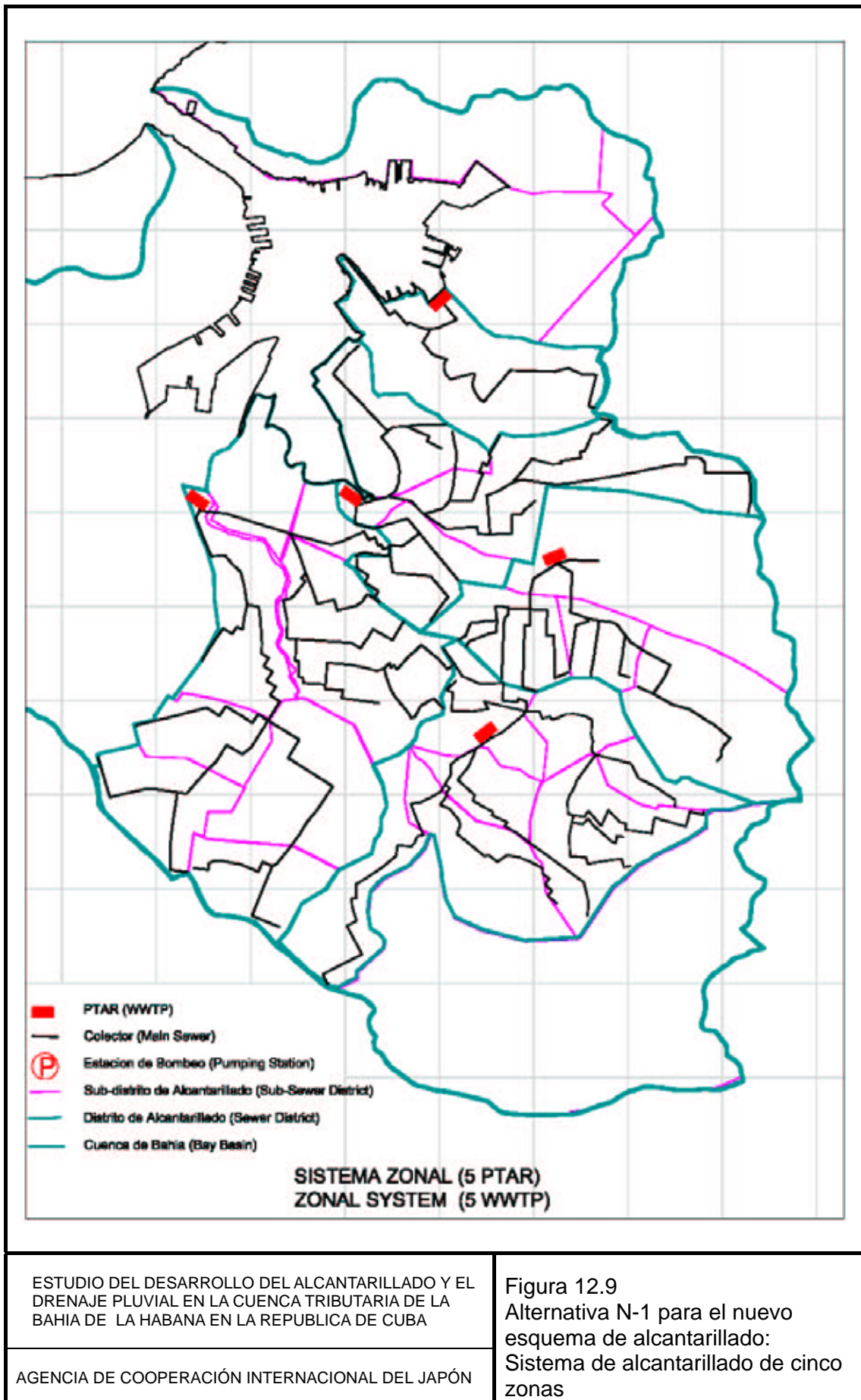
Alternativa N-5 (Sistema integrado): Todos los distritos de alcantarillado se integran en un solo distrito. En la Figura 12.10 aparece el sistema integrado.

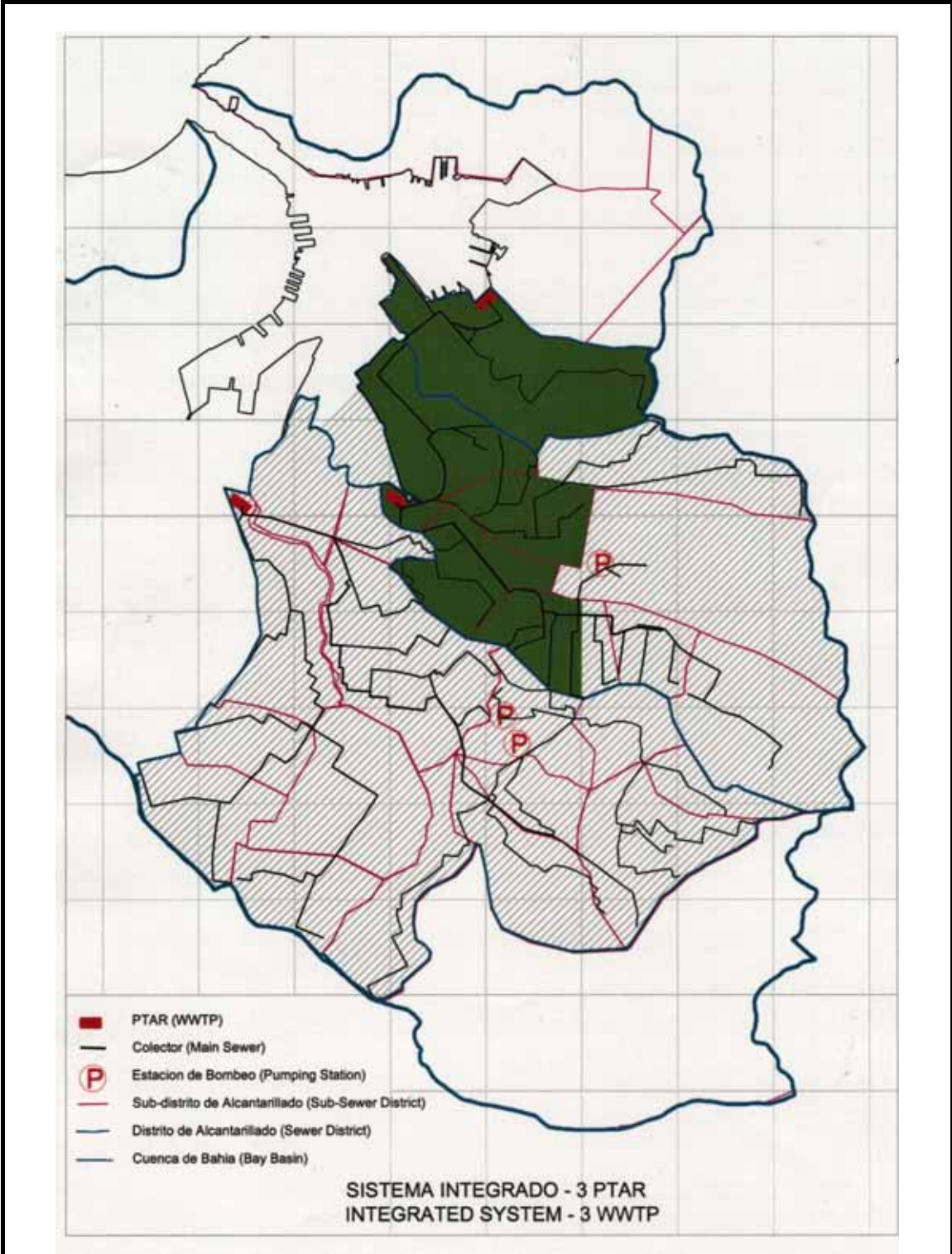
(2) Gran Caribe (descarga en la Playa del Chivo)

Se contempla una alternativa para la descarga en el mar.

Alternativa N-6 (Sistema de descarga en el mar): Todas las aguas residuales se conducirán y descargarán finalmente en el mar después de un tratamiento primario para cumplir con las normas de calidad del efluente.

En la Figura 12.11 se muestra la alternativa de descarga en el mar.

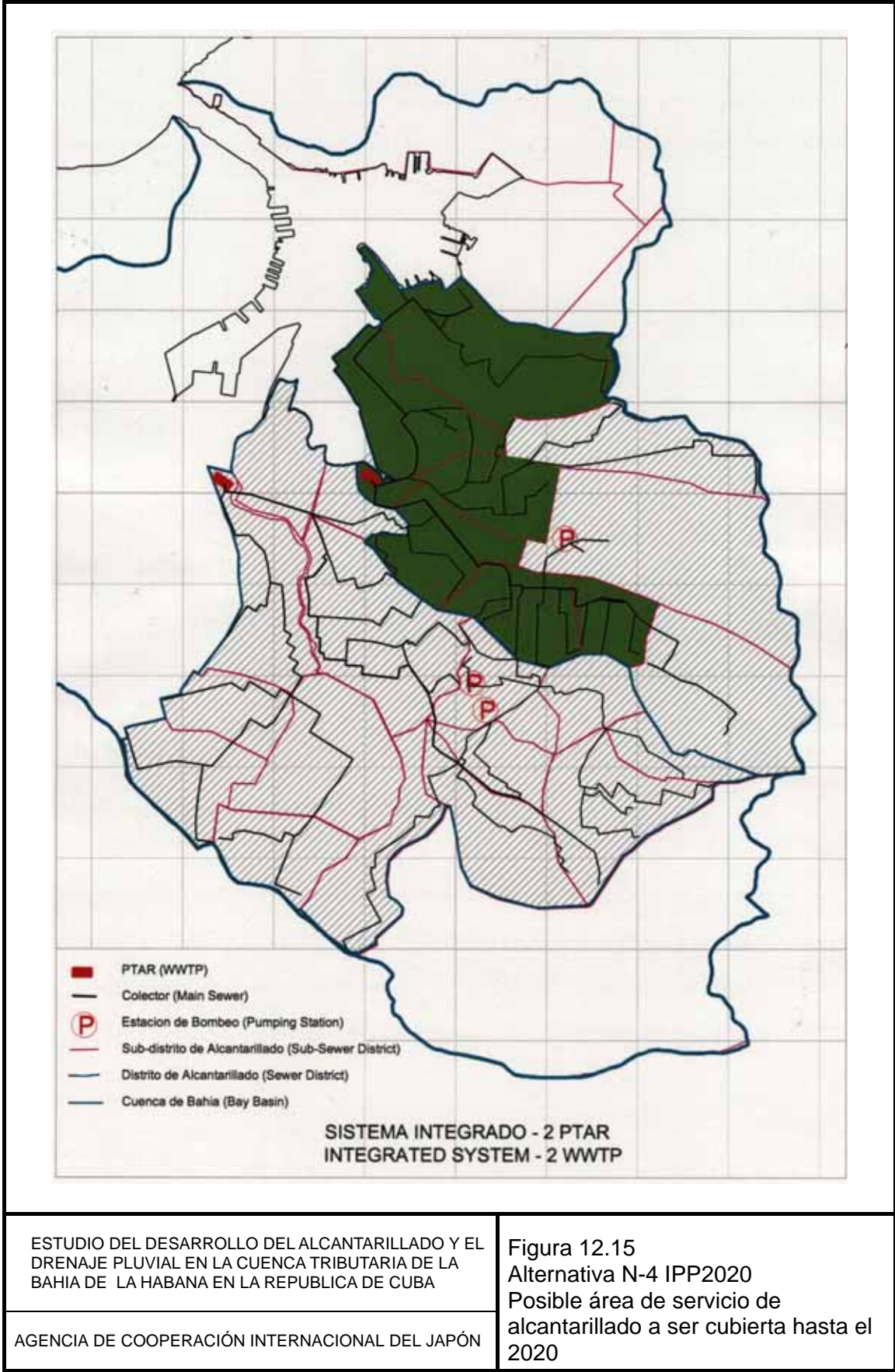


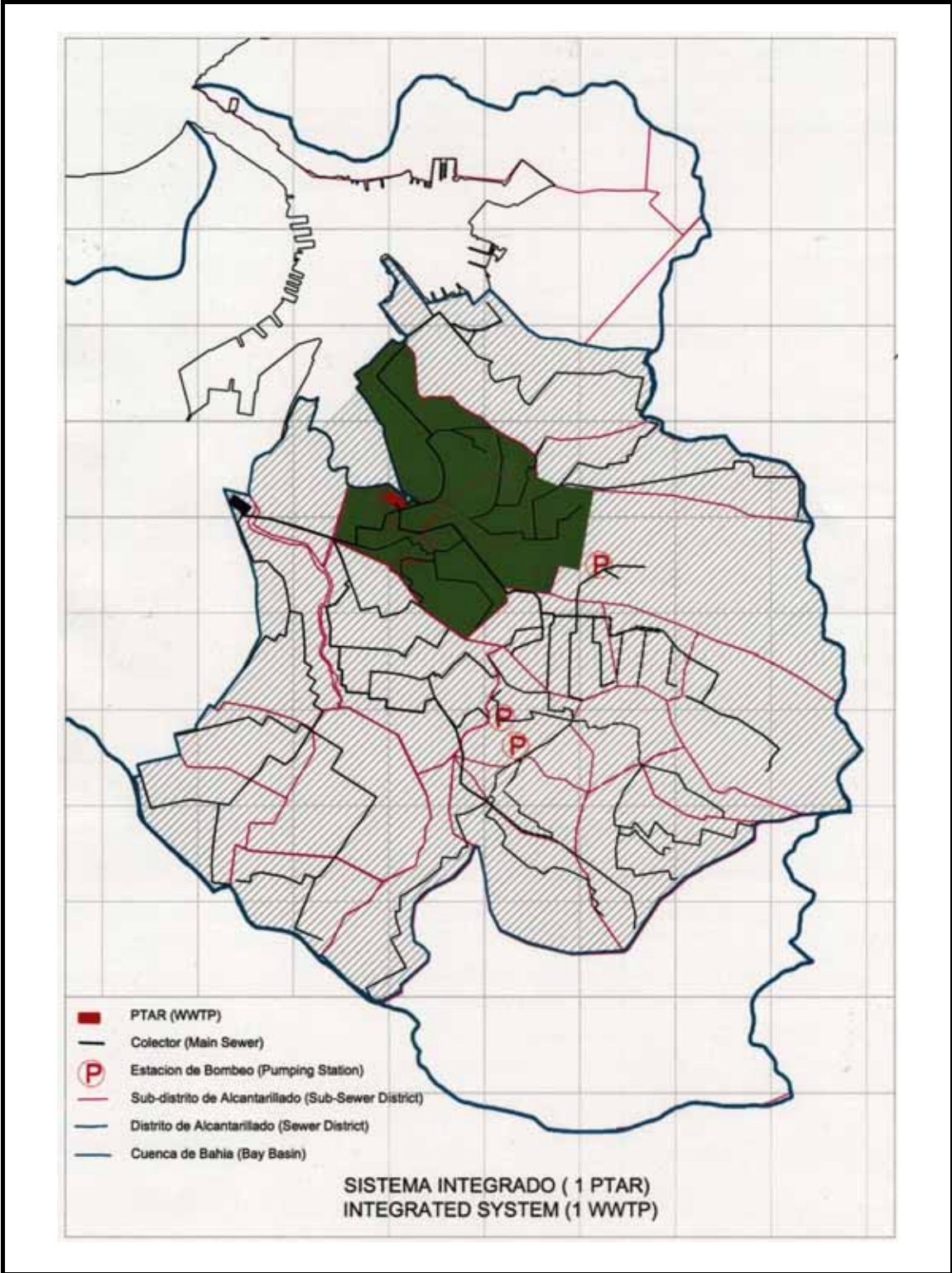


ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.14
 Alternativa N-3 IPP2020
 Posible área de servicio de alcantarillado a ser cubierta hasta el 2020





ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.16
 Alternativa N-5 IPP2020
 Posible área de servicio de alcantarillado a ser cubierta hasta el 2020

2) Comparación de las alternativas

Cada alternativa se compara y resume en las tablas 12.13 y 12.14 tomando en consideración los parámetros siguientes:

- Costo de construcción
- Costo de operación y mantenimiento
- Disponibilidad de terrenos para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales
- Aplicabilidad del proceso de tratamiento de aguas residuales para la remoción de nutrientes en el futuro
- Adaptabilidad en caso de interrupción de la electricidad o de avería
- Efectos del proyecto
- Facilidad para la ejecución del proyecto y problemas a resolver
- Atractivo para la población

3) Selección de la mejor alternativa

A partir de los resultados de la comparación se seleccionó la Alternativa N-2 (sistema de alcantarillado de cuatro zonas) como la mejor alternativa entre las cinco propuestas.

Las razones principales de la selección son las siguientes:

- Mayor reducción de la carga de contaminación entre las alternativas si consideramos la implementación hasta el año 2020.
- Se propone cubrir la zona más densamente poblada con el plan de implementación del sistema de alcantarillado, por lo que el número de beneficiarios directos del servicio de alcantarillado es mayor que en las otras alternativas.

Tabla 12.13 Comparación del plan de alcantarillado general para cada alternativa de descarga de aguas residuales tratadas en la Bahía de la Habana

Aspecto	Alternativas de descarga de aguas residuales tratadas en la Bahía de la Habana					Observaciones
	Alternativa N-1	Alternativa N-2	Alternativa N-3	Alternativa N-4	Alternativa N-5	
1. Costo de construcción						
1) Sistema completo	Op-1 : 100% Op-2 : 100%	Op-1 : 98% Op-2 : 97%	Op-1 : 99% Op-2 : 98%	Op-1 : 96% Op-2 : 96%	Op-1 : 88% Op-2 : 89%	
2) Colector + Estación de bombeo	100 %	10 5%	111%	114%	115	
3) PTAR	Op-1 : 100% Op-2 : 100%	Op-1 : 93% Op-2 : 91%	Op-1 : 90% Op-2 : 87%	Op-1 : 84% Op-2 : 81%	Op-1 : 69% Op-2 : 67%	
4) Calificación						
2. Costo de construcción directo per cápita	Op-1: 1,339 US\$/persona Op-2: 1,156 US\$/persona	Op-1: 1,306 US\$/persona Op-2: 1,125 US\$/persona	Op-1: 1,322 US\$/persona Op-2: 1,322 US\$/persona	Op-1: 1,283 US\$/persona Op-2: 1,111 US\$/persona	Op-1: 1,173 US\$/persona Op-2: 1,031 US\$/persona	Se asume que la población de servicio de alcantarillado asciende a 257,070(=297,700-40,630). El proyecto del GEF/UNDP dará service a 40,630.
Calificación						
3. Costo anual de O/M						
1) Costo de O/M para Op-1	2,631,000 US\$ (100%)	2,827,000 US\$ (107%)	3,254,000 US\$ (124%)	3,036,000 US\$ (115%)	2,481,000 US\$ (94%)	
2) Costo de O/M per cápita para Op-1	10.2 US\$/persona	11.0 US\$/persona	12.7 US\$/persona	11.8 US\$/persona	9.7 US\$/persona	
3) Costo de O/M para Op-2	-	2,330,000 US\$	2,598,000 US\$	2,380,000 US\$	1,826,000 US\$	
4) Costo de O/M per cápita para Op-2	-	9.1 US\$/persona	10.1 US\$/persona	9.3 US\$/persona	7.1 US\$/persona	
5) Calificación						
4. Disponibilidad de terrenos para la planta de tratamiento de aguas residuales	Los emplazamientos se seleccionaron y estudiaron para las PTAR en un futuro plan de desarrollo del alcantarillado preparado a partir de los resultados del Estudio del GEF/PNUD realizado por el INRH y el GTE. El Departamento de planificación urbana de la Ciudad de La Habana confirma la disponibilidad de los emplazamientos. Ha de obtenerse asimismo la "microlocalización" para la ubicación de las instalaciones, a partir de los resultados de la evaluación del impacto ambiental (EIA) para el proyecto propuesto.	La disponibilidad de los tres emplazamientos seleccionados para la construcción de las PTAR está confirmada por el departamento de planificación urbana de la Ciudad de la Habana. Sin embargo el terreno de la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez, ubicado cerca de la desembocadura del río Martín Pérez, es difícil de obtener porque se prevé utilizar como parte de un patio de contenedores. Se requerirían grandes esfuerzos y gestiones entre las entidades pertinentes para modificar el plan de uso futuro de la tierra.	La disponibilidad del terreno para la PTAR está confirmada por departamento de planificación urbana de la Ciudad de la Habana. Sin embargo el lugar idóneo para la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó es difícil de obtener.	Como se necesita un terreno mayor para la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó, se necesitan hacer gestiones adicionales para obtener el terreno necesario para construir la instalación. El sitio idóneo para la PTAR del distrito de alcantarillado Martín Pérez es difícil de obtener en la actualidad.	Se seleccionó en terreno vacío cerca de la desembocadura del río Martín Pérez como el lugar idóneo para la PTAR propuesta. Sin embargo, se prevé usar tal terreno en el futuro como parte de un patio de contenedores. En la actualidad resulta muy difícil obtener el terreno ideal para la construcción de la PTAR propuesta. Se requerirían grandes esfuerzos para cambiar el plan de uso futuro de la tierra y para obtener los terrenos de mayores dimensiones que los necesarios para el resto de las alternativas.	
Calificación					X	

5. Aplicabilidad del proceso de tratamiento de aguas residuales para la remoción de nutrientes en el futuro	Sería difícil mejorar la instalación dentro del espacio limitado del terreno. Se requerirían terrenos adicionales para hacer renovaciones.	La situación es la misma que para la Alternativa N-1. Se necesitarían terrenos adicionales para hacer las renovaciones requeridas.	La situación es la misma que para la Alternativa N-2.	Si se instalaran tuberías de conexión entre dos plantas de tratamiento, sería posible la descarga del agua residual tratada en la bahía.	La situación es la misma que para la Alternativa N-1. En lugar de introducir un proceso avanzado de tratamiento de aguas residuales sería posible la descarga en el mar del agua residual tratada.	
Calificación						
6. Adaptabilidad en caso de interrupción de la electricidad o de problemas de funcionamiento en el sistema de alcantarillado	Como las PTAR están descentralizadas y se localizan en las partes medias de los ríos y en la zona del puerto, no deben ocurrir averías simultáneas en todas las PTAR.	Para mitigar los efectos adversos provocados por la interrupción de la electricidad el costo de la introducción de generadores en todas las plantas de tratamiento sería superior que el costo para otros casos.	Como habría tres PTAR en el litoral de la bahía, no ocurrirían averías simultáneas en las PTAR. Pero tales riesgos serían mayores que los de las alternativas N-1 y N-2.	Si una o dos PTAR detuvieran la operación a causa de una avería o de la interrupción de la electricidad, sería descargada en la bahía agua residual sin tratar o insuficientemente tratada, lo que provocaría un impacto negativo en el medio ambiente de la bahía.	Si la PTAR dejara de funcionar un gran volumen de agua residual sin tratar o insuficientemente tratada sería descargada en la bahía y provocaría un impacto negativo en el medio ambiente acuático de la bahía. Ha de instalarse un generador eléctrico para minimizar los efectos negativos.	
Calificación					X	

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

Nota: Op-1 (Proceso convencional de lodos activados + Equipo para la deshidratación mecánica de lodos)
Op-2 (Proceso convencional de lodos activados + Lechos de secado de lodos)

Tabla 12.14 Comparación del plan de implementación hasta el año 2020 para cada alternativa de descarga de agua residual tratada en la bahía de la Habana

Aspecto	Alternativas de decarga de agua residual tratada en la Bahía de la Habana					Observaciones
	Alternativa N-1-IPP2020	Alternativa N-2-IPP2020	Alternativa N-3-IPP2020	Alternativa N-4-IPP2020	Alternativa N-5-IPP2020	
1. Efectos previstos						
1) Cantidad de beneficiarios	56,000	93,700	61,000	71,900	40,000	
2) Reducción de las cargas contaminantes (1,000kgDBO/día)	4.1	6.0	4.4	5.1	2.8	
2. Facilidad de la ejecución del proyecto y problemas a resolver	<p>Es posible obtener los terrenos para la construcción de las PTAR propuestas.</p> <p>Los sistemas de alcantarillados zonales pequeños tienen algunas ventajas. Por ejemplo, la ejecución puede hacerse en orden de importancia y de urgencia por zonas, y resulta más fácil encontrar financiamiento.</p>	<p>La obtención del terreno de la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez, ubicado cerca de la desembocadura del río Martín Pérez, es una cuestión fundamental para la ejecución de esta alternativa.</p> <p>Sin embargo resulta difícil obtener el terreno en la actualidad toda vez que se prevé utilizarlo como patio de contenedores.</p> <p>Con el fin de obtener el terreno para la PTAR en propuesta, se requerirían de grandes esfuerzos y gestiones por parte de las entidades pertinentes para cambiar el plan de uso futuro de la tierra.</p>	<p>La obtención de los dos terrenos ubicados en las desembocaduras de los ríos Luyanó y Martín Pérez es una cuestión esencial para la implementación de esta alternativa.</p>	<p>La situación es la misma que para la alternativa N-3.</p> <p>Como se necesita obtener un terreno de mayores dimensiones en la desembocadura del río Martín Pérez, la obtención del terreno resulta más difícil que para la alternativa N-3-IPP2020.</p>	<p>La obtención del terreno de mayores dimensiones entre las alternativas en la desembocadura del río Martín Pérez es una cuestión esencial para implementar esta alternativa.</p> <p>La posibilidad de obtener el terreno es la misma que la de la alternativa N-2-IPP2020.</p>	
3. Atractivo para la población	<p>Como cada sistema de alcantarillado zonal colecta el agua residual y la trata en una PTAR próxima, los beneficiarios directos reconocerían con facilidad que su propio sistema de alcantarillado desempeña un papel importante en el mejoramiento de las condiciones sanitarias de la zona, en sus condiciones de vida, y en el medio ambiente acuático.</p>	<p>Toda vez que se propone cubrir la zona más densamente poblada con el plan de implementación del sistema de alcantarillado, el número de personas que recibirían los beneficios directos del servicio de alcantarillado sería el mayor entre todas las alternativas.</p> <p>Los beneficiarios indirectos también comprenderían que el plan propuesto es el más efectivo para reducir las cargas contaminantes vertidas actualmente en la bahía.</p>	<p>Como se proponen construir dos PTAR en la zona de la bahía, los beneficiarios podrían comprender la importancia del sistema de alcantarillado en el mejoramiento de la calidad del agua de la bahía.</p> <p>Unas relaciones públicas apropiadas serían importantes para que la población comprenda el funcionamiento del sistema de alcantarillado.</p>	<p>Los residentes del área del Tadeo reconocerían los efectos del sistema de alcantarillado, pero se necesitarían relaciones públicas adecuadas para que la población de la región comprenda que el agua residual generada en la zona será tratada en la PTAR del río Martín Pérez.</p>	<p>Como los componentes principales del sistema de alcantarillado propuesto deben implementarse en la primera etapa, la inversión en redes de alcantarillado es la menor entre todas las alternativas.</p> <p>El desarrollo del área de servicio de alcantarillado más pequeña entre todas las alternativas no resulta atractivo para los beneficiarios directos.</p> <p>La ubicación de la PTAR más alejada del área de servicio de alcantarillado impide que los beneficiarios puedan comprender en toda su magnitud la presencia y la función de la planta de tratamiento de aguas residuales.</p>	

Fuente:Equipo de Estudio de JICA

(4) ALTERNATIVA DE DESCARGA AL MAR (ALTERNATIVA N-6)

1) Generalidades

Se evaluó la ejecución de esta alternativa a través de la preparación de un plan de implementación hasta el año 2020.

Se construirá una planta de tratamiento de aguas residuales de conformidad con esta alternativa. Se prevé contar con tratamiento primario antes de descargar el agua en la bahía tomando en consideración los puntos siguientes:

- El diseño de colectores tales como el túnel de conducción y el emisario submarino se basa en los flujos de diseño del año 2020. Por tanto, durante la etapa inicial de la implementación, es decir, durante el proyecto para la primera etapa, el flujo y la velocidad reales del agua residual serán bajos, lo que facilitaría la fácil acumulación de sedimentos en los colectores y provocaría su corrosión. Con el fin de evitar tales problemas se tratarían las aguas residuales antes de su descarga en la bahía.
- En casos de emergencia como la rotura del equipo de bombeo, el agua residual se debería descargar en la bahía, mas se podría reducir su carga contaminante con la adopción del tratamiento primario de las aguas.

La planta de tratamiento de aguas residuales se localizará cerca de la desembocadura del Río Martín Pérez.

2) Aplicabilidad de la Alternativa N-6.

En la Tabla 12.15 se resume el estimado preliminar del costo de construcción para todo el sistema de alcantarillado y para el sistema de alcantarillado requerido para el proyecto de la primera etapa.

El costo total de construcción para la Alternativa N-6 es el inferior de todas las alternativas fundamentalmente porque el costo necesario para el tratamiento primario en el caso de la Alternativa N-6 es mucho menor que el costo del tratamiento secundario del resto de las alternativas.

Toda vez que se requiere la construcción del emisario submarino desde la etapa inicial de la implementación de esta alternativa, el costo de construcción del sistema de emisarios submarinos que asciende a US\$ 55,814,000, o sea, alrededor del 20 % del costo total de construcción de US\$ 272,271,000 para todo el sistema de alcantarillado ha de incluirse en el proyecto para la primera etapa.

El costo de construcción para el proyecto de la primera etapa serían superiores al costo de US\$ 85,857,000 que excluye el costo de construcción del sistema de colección de aguas residuales. Cuando se emplee un tercio del costo para el sistema de colección de aguas residuales en el proyecto de la primera etapa, el costo de construcción para el proyecto de la primera etapa sería de 138,613,000, alrededor del 50% del costo total. El elevado costo requerido para el proyecto de la primera etapa indica que esta alternativa podría resultar difícil de aplicar.

Tabla 12.15 Estimado preliminar del costo de capital para la Alternativa N-6

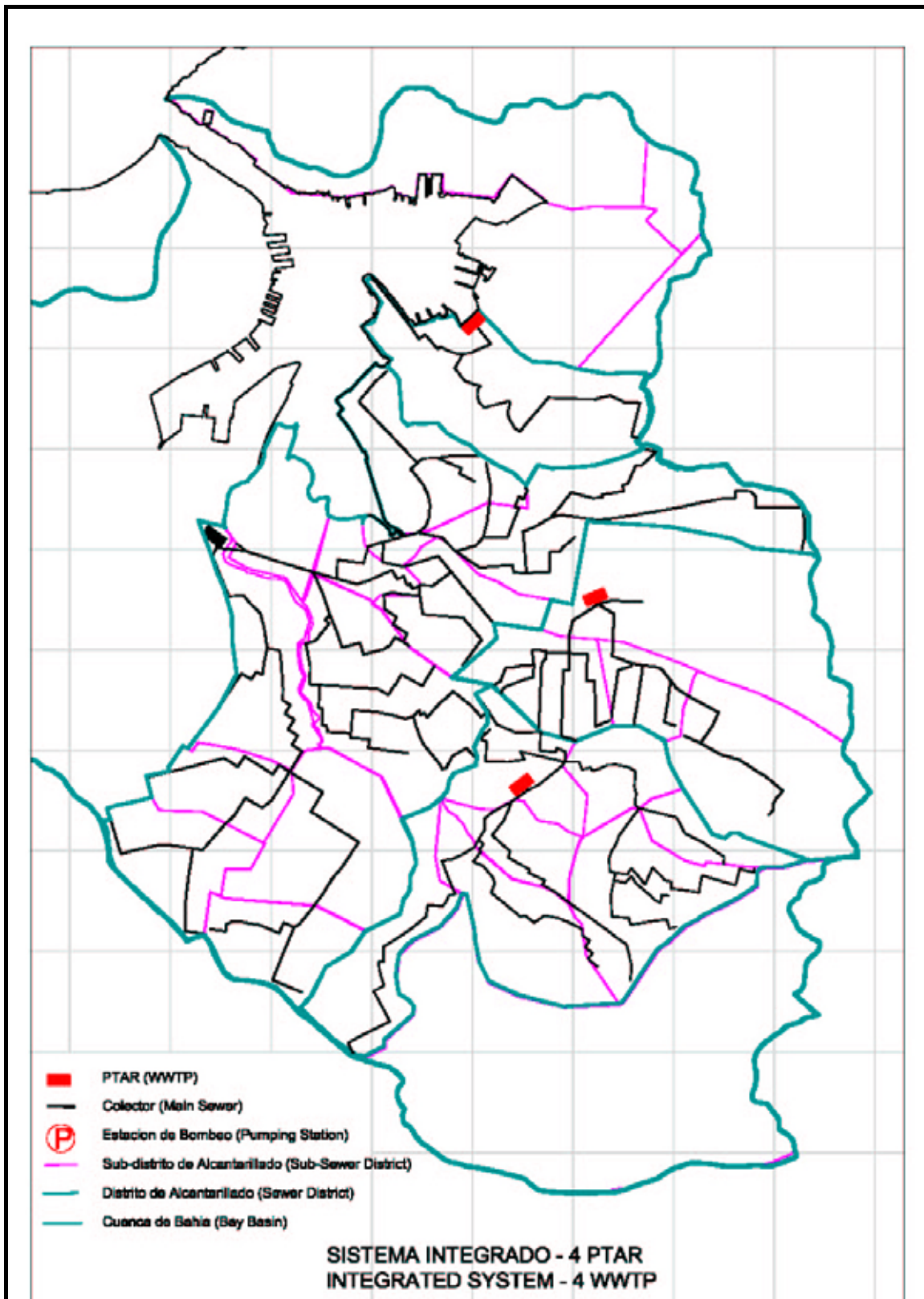
Aspecto	Características del diseño	Estimado de costo (x1000 US\$)	Observaciones
1. Todo el sistema			
1.1 Sistema de colección de aguas residuales		158,268	
1) Colector (método de excavación)	Dia. 200 a 1,350mm	140,895	
2) Colector (método de perforación)	Dia. 750 a 1,350mm	4,988	
3) Estación de bombeo		12,385	
1.2 Plan de tratamiento de aguas residuales (Tratamiento primario)	119,100 m ³ /d (24 tanques de sedimentación)	58,189	
1.3 Sistema de emisarios submarinos		55,814	
1) Estación de bombeo a presión	124 m ³ /min	5,914	
2) Colector a presión	Dia. 1,500mm, L=4,050m	30,375	
3) Sifón	Dia. 1,500mm, L=920m	7,820	
4) Túnel de conducción	Dia. 1,500mm, L=1,770m	7,965	
5) Emisario submarino	Dia. 1,500mm, L=300m	2,550	
6) Tubería difusora	Dia. 1,500mm, L=140m	1,190	
1.4 Costo total para todo el sistema		272,271	
2. Proyecto de la Primera Etapa			
2.1 Sistema de colección de aguas residuales		No calculado	
2.2 Planta de tratamiento de aguas residuales	19,850 m ³ /d (4 sedimentation tanks)	54,369	4 tanques de 24
2.3 Sistema de emisarios submarinos		54,369	
1) Estación de bombeo a presión	13.8 m ³ /min	4,469	2 bombas de 7.
2) Colector a presión	Dia. 1,500mm, L=4,050m	30,375	
3) Sifón	Dia. 1,500mm, L=920m	7,820	
4) Túnel de conducción	Dia. 1,500mm, L=1,770m	7,965	
5) Emisario submarino	Dia. 1,500mm, L=300m	2,550	
6) Tubería difusora	Dia. 1,500mm, L=140m	1,190	
2.4 Costo total para el proyecto de la Primera Etapa excluyendo el costo para el sistema de colección de aguas residuales		85,857	

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(5) RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL NUEVO SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Las siguientes conclusiones y recomendaciones se derivan del exámen anterior de la seis alternativas.

- La Alternativa N-2, o sistema de alcantarillado de cuatro zonas, se selecciona como el nuevo plan de alcantarillado para la cuenca de la Bahía de La Habana..
- Se ha demostrado que la Alternativa N-2 reduciría más eficazmente las cargas contaminantes vertidas en la Bahía de La Habana, ya que las zonas que posiblemente se desarrollen hasta el 2020 son zonas densamente pobladas y cubren el área donde abundan las industrias.
- La disponibilidad actual de terrenos para la construcción de las PTAR obligó a la selección del proceso convencional de lodos activados y a la deshidratación mecánica de lodos, excepto para la PTAR de Guanabacoa. Sin embargo, si se dispusiera de terrenos mayores en el futuro se podrían aplicar procesos de tratamiento de aguas residuales y de lodos más apropiados tales como el proceso convencional de filtro percolador con el fin de disminuir los costos de construcción y de operación y mantenimiento. Cuando se necesite revisar el plan de alcantarillado de cuatro zonas para la expansión del servicio de alcantarillado, la adquisición de terrenos de mayores dimensiones sería sumamente recomendable para poder aplicar un proceso adecuado de tratamiento de aguas residuales y de lodos en la operación y el mantenimiento.
- El lugar propuesto para la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo en el estudio alternativo resulta muy difícil de obtener porque se prevé su utilización como patio de contenedores. En lugar de este sitio, el GTE y el INRH propusieron la expansión del emplazamiento para la PTAR del proyecto en ejecución del GEF/PNUD para construir la PTAR del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo.
- El plano general del sistema de cuatro zonas aparece en la Figura 12.17. Los trabajos de diseño de las instalaciones de alcantarillado propuestas se muestran en el Apéndice-10 y en el Apéndice 11 del Informe Complementario, Volumen III, de este informe.



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

Figura 12.17 Plan de Alcantarillado seleccionado-Sistema de Alcantarillado Zonal de 4 Districtos

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

12.3.3 PLAN DE DESARROLLO DEL NUEVO SISTEMA DE ALCANTARILLADO HASTA EL AÑO 2020

(1) Otras cuestiones de estudio

1) Generalidades

Para adoptar el nuevo plan de alcantarillado seleccionado para el distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo como el nuevo plan de desarrollo del alcantarillado hasta el año 2020, se identificaron las cuestiones siguientes para estudiarlas con más profundidad:

- Estudio de la posibilidad de aplicar la propuesta cubana relativa al desvío del agua residual proveniente de parte del distrito de alcantarillado Luyanó hacia el sistema central de alcantarillado para su disposición final en el mar a través de la estación de bombeo de Casablanca.
- Se necesita una buena coordinación para emplear la misma filosofía de diseño tanto para la nueva PTAR propuesta por el Equipo de Estudio de JICA como para la PTAR del Proyecto del GEF/PNUD.

2) Revisión de la Propuesta de Aguas de La Habana relativa a la integración de la zona de Luyanó en el nuevo plan de desarrollo del alcantarillado hasta el año 2020.

- Aguas de La Habana (Figura 12.18) propuso recoger el agua residual proveniente de zonas ubicadas en la margen izquierda de la cuenca del río Luyanó que no se preveía cubrir con el Proyecto del GEF/PNUD y bombearla hacia el Colector Sur (Figura 12.18) para su disposición final en la Playa del Chivo.
- En la Figura 12.19 se muestra el área propuesta por Aguas de La Habana (en lo adelante llamada Área Propuesta) en relación con los distritos de alcantarillado en el sistema de alcantarillado de cuatro zonas. En la Tabla 12.20 se resume la distribución del Área Propuesta en los distritos de alcantarillado.
- En la Tabla 12.16, el agua residual de la zona comprendida dentro del distrito de alcantarillado Luyanó Arriba será tratada en la PTAR La Cumbre, mientras que el agua residual de la zona comprendida dentro de Fosa será tratada mediante tanques sépticos. El agua residual de la zona comprendida dentro del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo se recogerá con el Colector de la margen izquierda para su tratamiento en la PTAR Luyanó.

Tabla 12.16 Relación entre el Área Propuesta y los distritos de alcantarillado del nuevo sistema de alcantarillado de cuatro zonas

	Distrito de alcantarillado	Área	Observaciones
Área propuesta 1 (447 ha)	Existente (S3)	241 ha (13 ha)*	Colección del agua residual con el Sur 3 para su disposición en la Playa del Chivo
	Luyanó-Martín Pérez Abajo	193 ha	Colección del agua residual con el Colector de la margen izquierda del distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo.
Área propuesta 2 (730 ha)	Luyanó-Martín Pérez Abajo	444 ha	Tratamiento en la PTAR Luyanó o en el sistema existente
	Luyanó Arriba	131 ha	Tratamiento en la PTAR La Cumbre
	Fosa	155 ha	Tratamiento con tanques sépticos

Nota: * - fuera de la cuenca de la bahía

Fuente : Equipo de Estudio de JICA

- Se ha examinado la capacidad de los Colectores en el Sistema Central a partir del diámetro y las cotas, contra la capacidad requerida para las condiciones de flujo de

diseño sin caudal de entrada proveniente del Colector Orengo y con la eliminación de las interconexiones. La selección de los Colectores para su rehabilitación se basó no sólo en su capacidad sino también en las condiciones físicas del colector. Los resultados aparecen en la sección 12.2.3.

- A causa del cruce del Colector Sur 2 – Sur con el Dren Agua Dulce y el Dren Arroyo Matadero, resulta imposible el flujo por gravedad de las conexiones entre el Sur 3 y el Sur 2 y el Colector Sur por lo que se requerirá bombeo. En tal sentido ha de considerarse el bombeo del agua residual junto con el bombeo del agua residual del Colector Sur 3 y el Colector Sur 2 hasta el Colector Sur.

3) Planta de tratamiento de aguas residuales del Proyecto del GEF/PNUD

A partir de la “Documentación para el Proyecto del PNUD del Gobierno de Cuba, CUB/99/G31”¹, la planta de tratamiento de aguas residuales emplea un proceso de lodos activados diseñado para eliminar sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes. El plan se basará en los siguientes criterios de diseño: Materia orgánica en términos de la concentración de DBO₅ <20mg/L, concentración de sólidos suspendidos (SS) <30mg/L, tasa de remoción de Nitrógeno Total (N-T) >70% y tasa de remoción de Fósforo Total (F-T) >56%. Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales propuestas en el documento se componen de los elementos siguientes:

- Instalaciones para el tratamiento preliminar que comprenden una reja de barras, una cámara del desarenador y un desnatador (de grasa), y, de considerarse necesario, una estación de bombeo para el afluente.
- Tanques de sedimentación primaria
- Unidad de tratamiento biológico que consta de zonas alternantes anaeróbicas/anóxicas/aeróbicas para optimizar la remoción de nutrientes, equipada con zonas selectoras biológicas.
- Tanques de sedimentación final
- Sistema de recirculación de lodos para mantener un nivel alto de sólidos en suspensión en el licor mezclado (MLSS).
- Filtros de flujo vertical para el afinamiento del efluente

El INRH solicitó a dos entidades cubanas, Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Villa Clara e Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, la preparación del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del GEF/PNUD según las siguientes condiciones revisadas de diseño:

- Capacidad de diseño de 200 L/s para el proyecto del GEF/UNDP con una capacidad total de 600 L/s.
- Calidad de diseño del afluente: DBO₅ (250mg/L), TSS(270mg/L), N-T(50mg/L), F-T(10mg/L), DQO (625mg/L), NH₄-N (20mg/L), aceite y grasa (20mg/L), temperatura (24 grados-C), pH(6.5-8.0)
- Calidad de diseño del agua tratada: DBO₅ (<30 mg/L), SS(<40mg/L), N-T(<15mg/L), F-T(<2mg/L), DQO (<80mg/L), aceite y grasa (<10mg/L), pH(6.5-8.0)

¹ Documentación para el Proyecto del PNUD del Gobierno de Cuba, CUB/99/G31, Demostración de propuestas innovadoras para la rehabilitación de bahías en extremo contaminadas en el Gran Caribe, Fondo global para el medio ambiente, La Habana, abril del 2002.

- Las instalaciones del proyecto del GEF/PNUD se localizarán dentro del área de 1.08 hectáreas en la parte nordeste del sitio seleccionado.

Se han propuesto dos procesos para el tratamiento de las aguas residuales: uno es el proceso convencional de lodos activados y el otro es una especie de proceso Ludzack-Ettinger modificado para la remoción de nutrientes con adición de coagulantes para la eliminación de fósforo.

El proceso convencional de lodos activados propuesto consta de un tanque de aeración circular ininterrumpida con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 6 horas que permitiría controlar el nivel de oxígeno disuelto para conformar las condiciones aeróbicas/anaeróbicas/anóxicas necesarias para la remoción de nitrógeno y fósforo. Con el fin de ahorrar la energía requerida para mantener el proceso, se ha propuesto también un proceso de recuperación de energía que emplea la digestión anaeróbica.

En Cuba al otro proceso propuesto se le conoce como aeración extendida, pero es en realidad una especie de proceso Ludzack-Ettinger modificado. Consta de instalaciones para el tratamiento preliminar, tanques anóxicos seguidos de tanques aeróbicos (TRH de 16 horas) para la remoción de nitrógeno y adición de coagulantes antes de los tanques de sedimentación final para la eliminación de fósforo.

(2) Soluciones propuestas

Las siguientes son las soluciones propuestas para las cuestiones antes abordadas a través de estudios ingenieros y análisis con la contraparte cubana..

1) Zona de la margen izquierda del río Luyanó

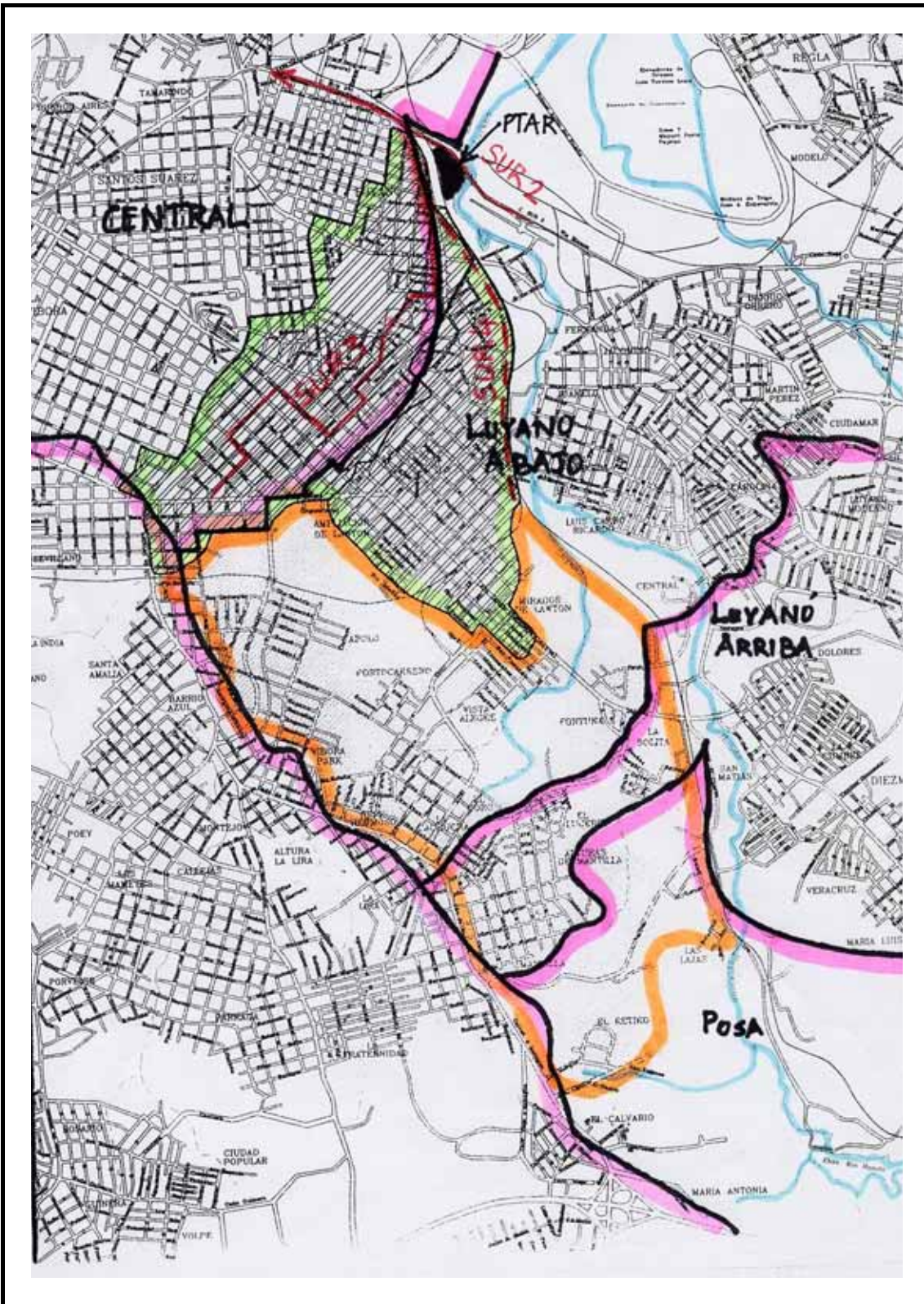
- El agua residual generada en la zona de la margen izquierda del río Luyanó, Zona “A”, se tratará en la PTAR Luyanó en principio para el nuevo plan de desarrollo del alcantarillado hasta el año 2020. En la Figura 12.20 se muestran las cifras del diseño y la planificación para los Colectores y para la PTAR Luyanó en el Distrito de Alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo.
- Sin embargo, se propone asimismo la descarga del agua residual generada en la zona de la margen izquierda del río Luyanó en el mar a través del sistema central de alcantarillado existente, con tratamiento primario de ser necesario, como medida alternativa al tratamiento del agua residual en la PTAR propuesta.
- Como se muestra en la Figura 12.20, se han preparado dos casos para el manejo alternativo del agua residual generada en la zona de la margen izquierda del río Luyanó: Caso 1 (Descarga en el mar a través del sistema central, instalación de una tubería de desviación del Colector Sur, construcción de una estación de bombeo con un colector por gravedad, y conexión del colector al by-pass del Colector Sur) y Caso 2 (Descarga en el mar a través del sistema central propuesta por Aguas de La Habana). El agua residual se tratará en la PTAR hasta que se implemente la alternativa, como se ilustra en el Caso 3, Figura 12.21.
- En la Tabla 12.17 se resume la comparación de ambos casos en términos de costos, pre-condiciones para la aplicación y plazo para la implementación. Se recomienda el Caso 1 debido a las ventajas siguientes: sólo se necesita una estación de bombeo, y el sistema funcionará como un sistema de paso del Colector Sur existente, lo que contribuirá a su mayor confiabilidad.
- Sin embargo, ha de observarse que la medida alternativa de disposición en el mar no podría aplicarse si no se solucionan los problemas de las interconexiones entre el alcantarillado sanitario y las tuberías/canales de drenaje pluvial. Por tanto, se

recomienda que la posibilidad de aplicar la alternativa de disposición en el mar se examine en la etapa de diseño para el proyecto de la segunda etapa con el propósito de confirmar que el problema de las interconexiones puede resolverse con éxito mediante la implementación de los proyectos de la primera etapa..

2) Planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación aparece el caso en el que toda el agua residual generada en el Distrito de Alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo recibirá tratamiento en la PTAR Luyanó.

- Se requiere que el proceso de tratamiento de las aguas residuales del Proyecto del GEF/PNUD alcance altos niveles de remoción de nutrientes. Por consiguiente, se seleccionará un proceso de tratamiento avanzado. Sin embargo, la prioridad de las instalaciones de tratamiento que se expandirán de conformidad con el Plan Maestro de Alcantarillado del Estudio de JICA es la remoción de materias orgánicas. En otras palabras, se aplicará un proceso de tratamiento secundario para las instalaciones que se construirán en virtud de tal Plan Maestro. Por tanto, proponemos que se construyan por separado todas las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales, salvo aquellas instalaciones de tratamiento preliminar tales como las rejillas y la cámara del desarenador, a causa de los niveles diferentes de tratamiento que se aplicarán.



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

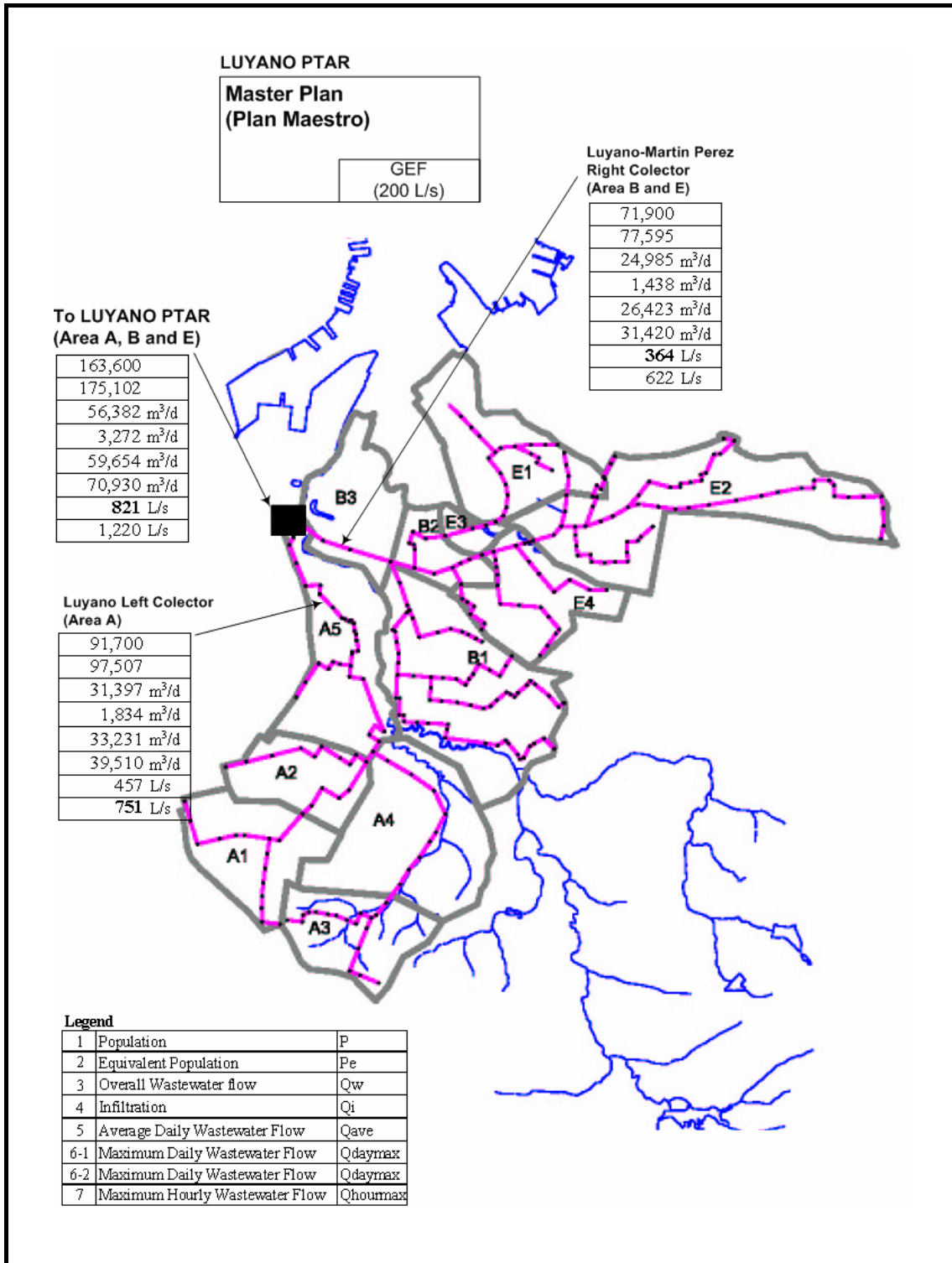
AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.19
Relación entre el Área Propuesta y los Distritos de Alcantarillado del sistema de alcantarillado de cuatro zonas

- Como proceso de tratamiento biológico secundario para las aguas residuales se propone el proceso convencional de lodos activados para las instalaciones de tratamiento que se agregarán tomando en consideración las condiciones del emplazamiento seleccionado. Para el tratamiento del lodo generado en el tratamiento de las aguas residuales, por su parte, se proponen una serie de procesos entre los que se incluyen el espesamiento por gravedad, la digestión anaeróbica de tipo cerrado pero sin sistema de calentamiento, y la deshidratación mecánica. El lodo se dispondrá en un vertedero de relleno sanitario.
- La capacidad de las instalaciones agregadas en la PTAR Luyanó es de 621 L/s (=821-200=621) o 53,700m³/d. Se excluye el flujo de diseño de 200 L/s para el proyecto del GEF/PNUD.
- Se propone un plan de expansión de la capacidad de tratamiento de la PTAR Luyanó, como se muestra en la Figura 12.21. La instalación de tratamiento se construirá en tres etapas. Su capacidad de tratamiento será de 207 L/s (=621/3) en cada una de las etapas de implementación. El proyecto de la primera etapa cubrirá solamente los componentes iniciales de la instalación de tratamiento con una capacidad de 207 L/s o 17,900 m³/d y la capacidad total llegará a 407 L/s o 35,200 m³/d.
- En la Figura 12.22 se muestran la población de servicio de alcantarillado según diseño y los flujos de cada sub zona de alcantarillado cuyas aguas residuales se colectarán y tratarán en la PTAR..
- Se propone que las siguientes instalaciones comunes a ambas PTAR se construyan como parte del Proyecto del GEF/PNUD: instalaciones de tratamiento preliminar de las estaciones de bombeo, las rejillas, la cámara del desarenador, así como el edificio administrativo y los locales de los operadores.

A continuación se presenta el caso del plan de desarrollo de la PTAR si se implementase la alternativa de la disposición en el mar del agua residual generada en la zona de la margen izquierda del Luyanó.

- Se cancelaría la expansión de las capacidades de tratamiento en la segunda etapa, como se ilustra en la Figura 12.22. En lugar de la construcción de instalaciones de tratamiento, se instalarían los colectores necesarios para la conducción de las aguas residuales (el Colector A, por ejemplo) con el fin de llevar el agua residual recogida en la zona de la margen izquierda del Luyanó hasta el Sistema Central mejorado y rehabilitado para su disposición en el mar.
- La capacidad de tratamiento de 407 L/s o 35,200 m³/d después del proyecto de la primera etapa es suficiente para recibir y tratar el agua residual generada en la zona extendida sin necesidad de incrementar la capacidad de tratamiento. La Figura 12.22 ilustra tal situación tal y como se muestra en la figura inferior izquierda en el caso del Estudio de Factibilidad para el proyecto de la segunda etapa.
- Cuando se aplique la variante de disposición del agua residual en el mar luego del proyecto de la segunda etapa, se recomienda la revisión del sistema de alcantarillado de cuatro zonas propuesto, y se incluya una evaluación de los efectos de los proyectos implementados en el mejoramiento de la calidad del agua de la bahía. La revisión del plan de alcantarillado incluiría asimismo un estudio acerca de la posibilidad de unificar el Distrito de Alcantarillado Luyanó Arriba y el Distrito Luyanó-Martín Pérez Abajo con el fin de tratar toda el agua residual en la PTAR Luyanó.



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.20 Cifras para el diseño y la planificación de los Colectores y de la PTAR Luyanó en el Distrito de Alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo

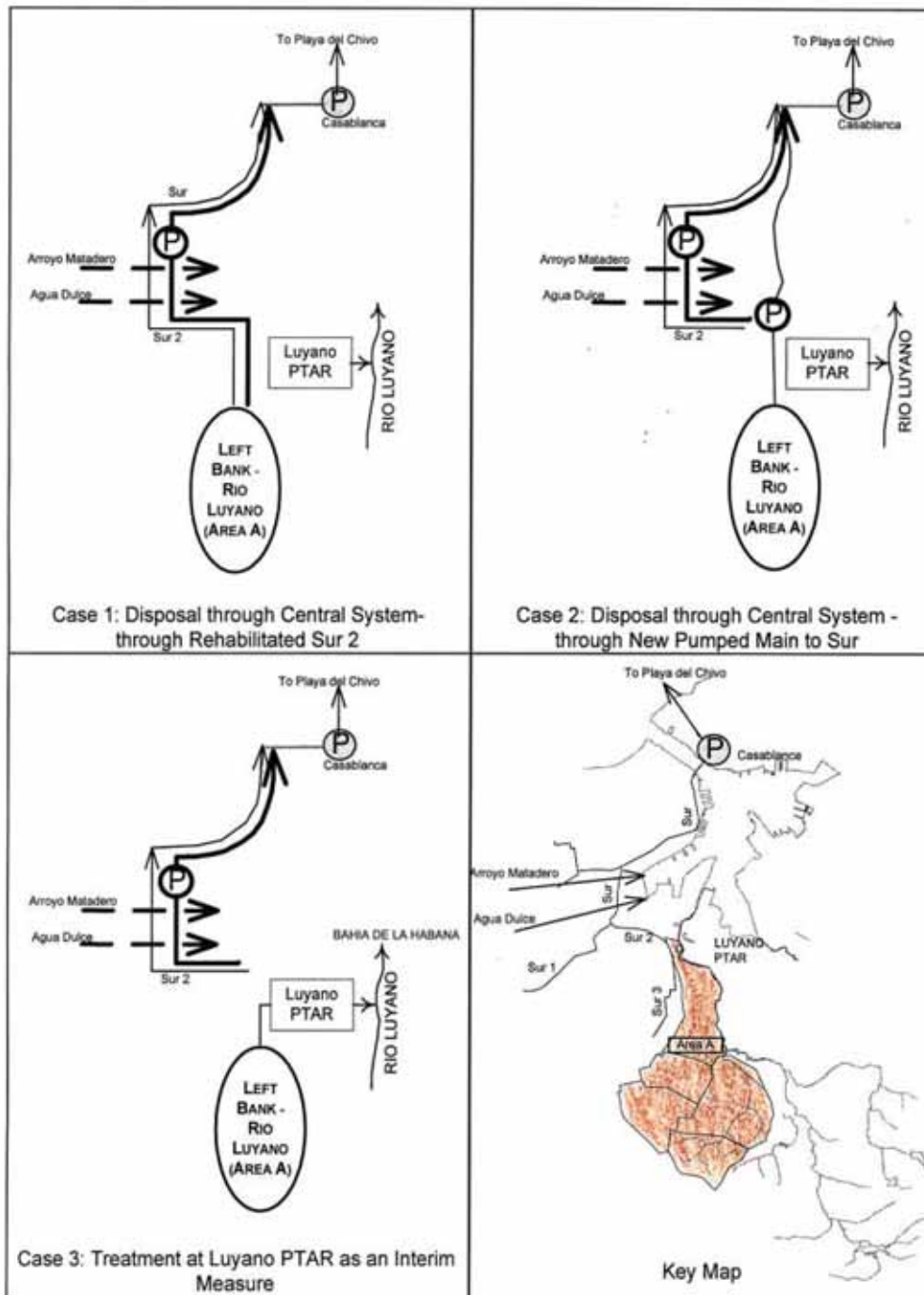


Figure Schematic Diagram of Alternatives for Wastewater Disposal from the Left Bank of Rio Luyano

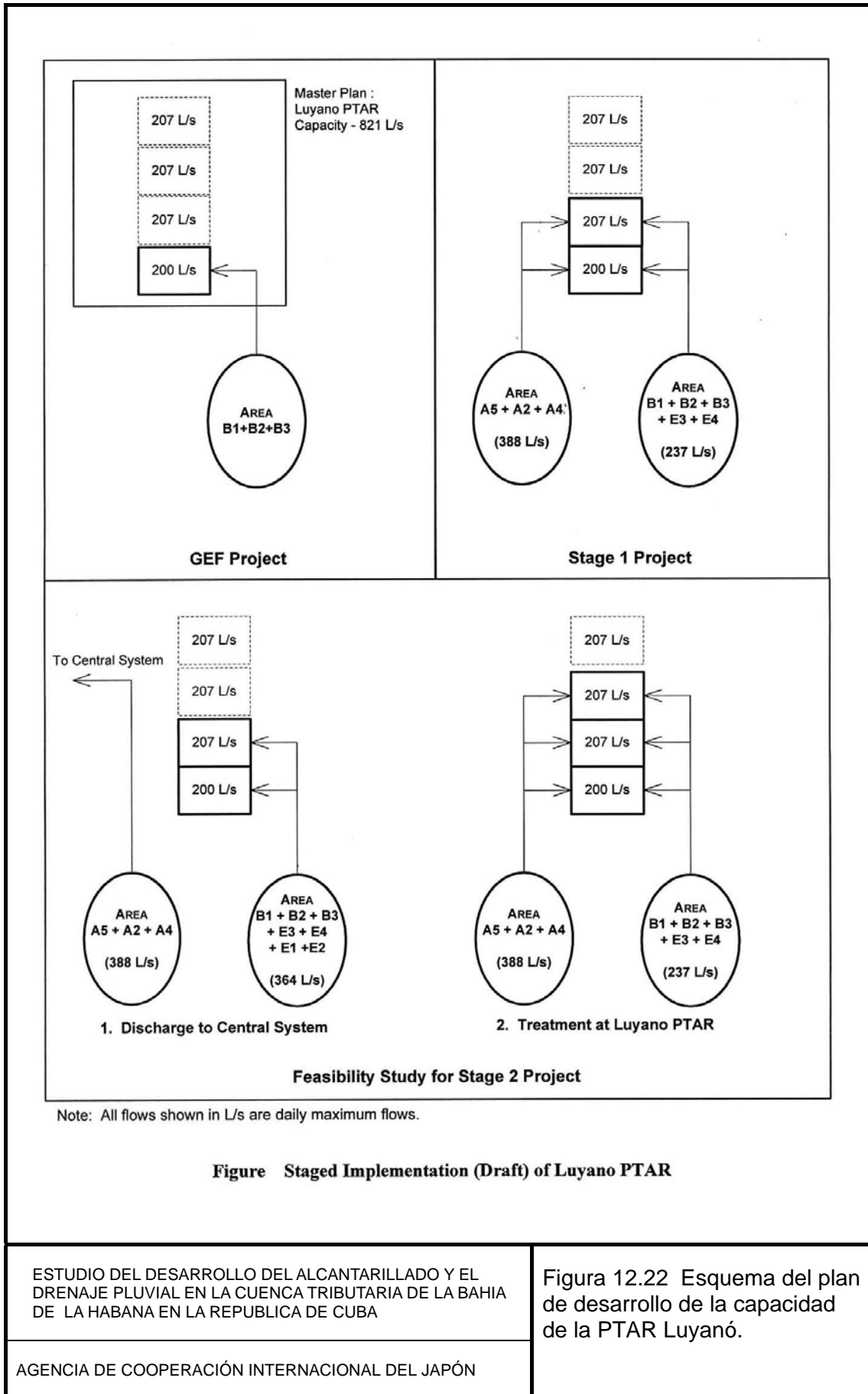
ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

Figura 12.21 Diagrama esquemático de la alternativa para la disposición de las aguas residuales provenientes de la zona de la margen izquierda del río Luyano.

Tabla 12.17 Comparación de las alternativas para la disposición de las aguas residuales generadas en la margen izquierda del río Luyanó

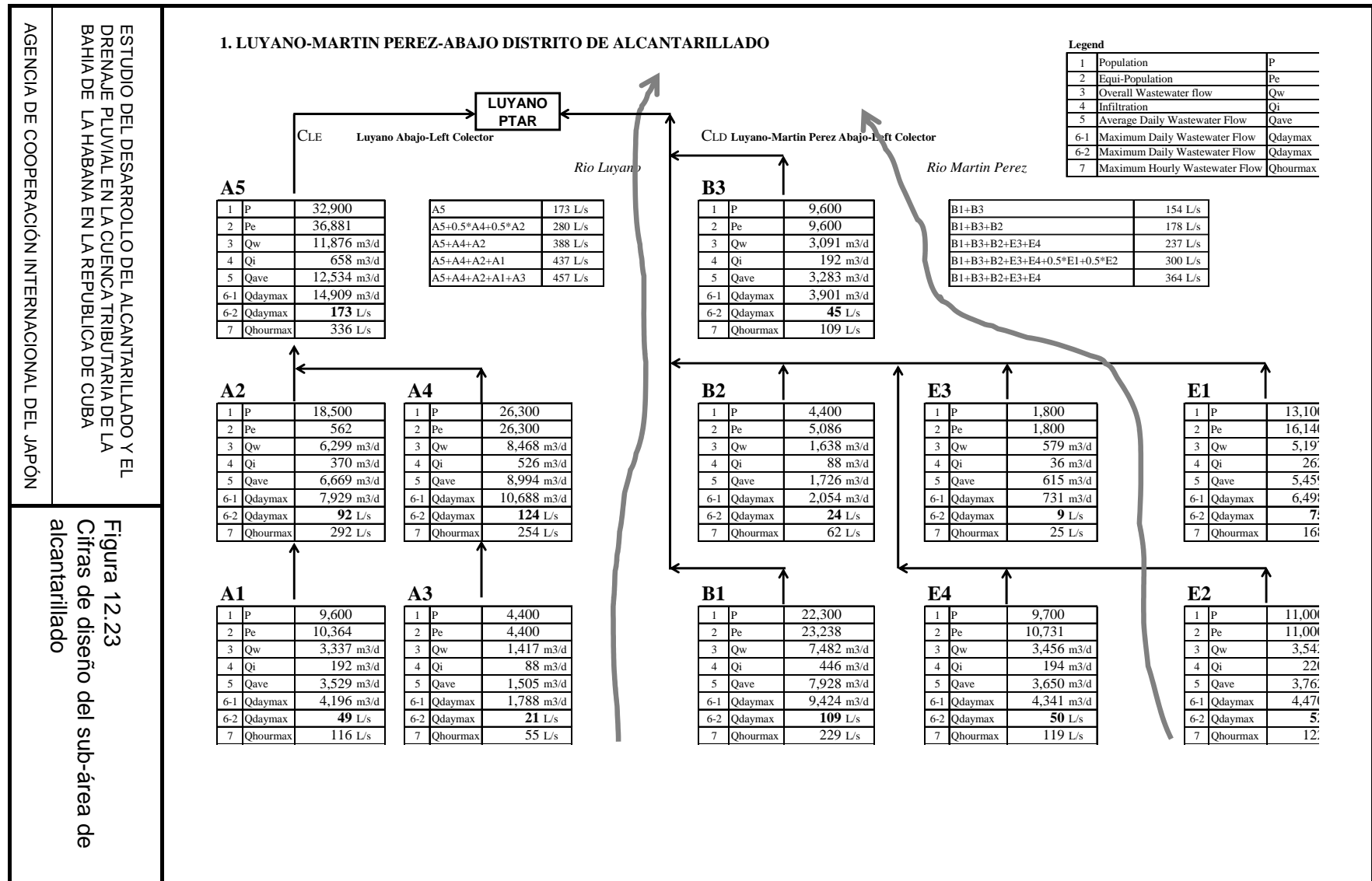
Aspecto	Caso 1 : Disposición a través del sistema central – a través del Colector Sur 2 y del Colector Sur rehabilitados	Caso 2 : Disposición a través del sistema central – a través del nuevo Colector a presión hasta el Colector Sur
1. Componentes principales	Instalación del Colector de la margen izquierda hasta el Sur 2 Rehabilitación del Sur 2 y del Sur con el fin de alcanzar la capacidad requerida para hacer frente al flujo proveniente del Sur 3 y de la Zona A. Construcción de la estación de bombeo después del cruce en Matadero. Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca	Instalación del Colector de la margen izquierda hasta la nueva estación de bombeo. Construcción de la nueva estación de bombeo. Instalación del colector a presión hasta el Colector Sur.
2. Comparación		
2.1 Costo de capital (excluyendo la instalación en común)	Costo adicional por la rehabilitación del Sur 2 a causa del flujo proveniente de la Zona A Costo adicional por la rehabilitación del Sur a causa del flujo proveniente de la Zona A Costo adicional por la capacidad instalada de la estación de bombeo de Matadero. Costo adicional por la capacidad instalada de la estación de bombeo de Casablanca.	Costo del colector por gravedad hasta la nueva estación de bombeo. (después de la PTAR Luyanó o Sur 2) - L= 850 m, d=1200 mm Hormigón Costo de la nueva estación de bombeo Capacidad máxima por hora=751 L/s, altura de bombeo=9 m Costo del colector a presión hasta Sur L= 3,300 m, d=1030 mm Polietileno de alta densidad
2.2 Costo de O/M	Costo adicional de O/M en la estación de bombeo de Matadero. Costo adicional de O/M en la estación de Casablanca.	Costo de O/M en la nueva estación de bombeo. Costo adicional de O/M en la estación de bombeo de Casablanca.
3. Pre-condiciones para la implementación	Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca. Rehabilitación del sifón (de ser necesario) Rehabilitación del Sur y del Sur 2 Eliminación de las interconexiones	Rehabilitación de la estación de bombeo de Casablanca. Rehabilitación del sifón (de ser necesario) Rehabilitación del Sur
4. Plazo para la implementación	Después del año 2015	Después del 2010



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

Figura 12.22 Esquema del plan de desarrollo de la capacidad de la PTAR Luyano.

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN



Legend

1	Population	P
2	Equi-Population	Pe
3	Overall Wastewater flow	Qw
4	Infiltration	Qi
5	Average Daily Wastewater Flow	Qave
6-1	Maximum Daily Wastewater Flow	Qdaymax
6-2	Maximum Daily Wastewater Flow	Qdaymax
7	Maximum Hourly Wastewater Flow	Qhourmax

(3) Plan de desarrollo del nuevo sistema de alcantarillado hasta el año 2020

En la Tabla 12.18 aparece el plan de desarrollo del nuevo sistema de alcantarillado hasta el año 2020. Se propone que toda el agua residual generada en el distrito de alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo sea tratada en principio en la PTAR Luyanó. En la sección 13.2.2 se describen en detalle los sistemas de alcantarillado que se desarrollarán hasta el año 2020.

Tabla 12.18 Bosquejo del plan de desarrollo del nuevo sistema de alcantarillado hasta el año 2020

Aspecto	Distrito de Alcantarillado Luyanó-Martín Pérez Abajo	Total propuesto con el proyecto del GEF/PNUD
1. Población de servicio de alcantarillado	138,300	163,600
2. Área de servicio de alcantarillado	1,054 ha	1,300 ha
3. Generación de agua residual a partir del año 2020	47,940 m ³ /d	56,400 m ³ /d
De origen doméstico	23,240 m ³ /d	27,485 m ³ /d
No-doméstico (pequeños consumidores)	21,300 m ³ /d	25,194 m ³ /d
No-doméstico (grandes consumidores)	3,400 m ³ /d	3,704 m ³ /d
4. Sistema de colección de aguas residuales		
4.1 Redes de alcantarillados	Diámetro. 216/250 mm, HDPE, 212 km de largo (Colector de la margen derecha de Luyanó-Martín Pérez : 105 km de largo, Colector de la margen izquierda de Luyanó: 107 km de largo)	
4.2 Colectores	Colector de la margen derecha de Luyanó-Martín Pérez : Método de excavación : *Diámetro: 216/250 mm, HDPE, longitud: 212 km. Colector de la margen derecha de Luyanó-Martín Pérez: método de excavación. Diámetro: de 216/250 mm a 1030/1200, HDPE, longitud: 13.0 km, método de perforación. Diámetro del túnel: 1500 mm, longitud: 5,4 km.	
	Colector de la margen izquierda del Luyanó: Método de excavación : Diámetro interior de la tubería insertada: de 216/250 mm a 1030/1200 mm, HDPE. Colector de la margen izquierda del Luyanó: método de excavación: Diámetro: de 216/250 mm a 1030/1200, HDPE, longitud: 13.0 km. Método de perforación: diámetro del túnel: 1500 mm, CP, longitud: 1.3 km, diámetro interior de la tubería insertada: de 535/630 mm a 1030/1200 mm, HDPE.	
5. Planta de tratamiento de aguas residuales	PTAR Luyanó	
5.1 Capacidad de diseño	53,700 m ³ /d (621 L/s)	71,000 m ³ /d (821 L/s)
5.2 Nivel y proceso de tratamiento de las aguas residuales	Nivel de tratamiento secundario, Proceso convencional de lodos activados; Tratamiento preliminar+ Sedimentación primaria + Aeración + Sedimentación final + Recirculación de lodos	
5.2 Tratamiento y disposición del lodo	Espesador de lodos + Digestión anaeróbica + Deshidratación mecánica +Disposición (relleno sanitario)	

Nota: * Se muestra tanto el diámetro interior como el exterior de la tubería de polietileno de alta densidad (HDPE).

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

(4) Alternativa de disposición del agua residual en el mar para la zona del Colector de la margen izquierda del río Luyanó

1) Generalidades

Cuando se resuelva el problema de las interconexiones en la zona de drenaje del Dren Arroyo Matadero con las medidas del proyecto de la primera etapa, sería posible la aplicación de la alternativa de disposición en el mar en el proyecto de la segunda etapa, es decir, el agua residual generada en la margen izquierda del río Luyanó sería conducida mediante el nuevo sistema de Colectores(Colector Sur) a través de la estación de bombeo de Casablanca hasta su disposición final en el mar.

Cuando se aplique esta alternativa, la expansión de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales dejaría de ser necesaria después de la segunda etapa, como se ilustra en la Figura 12.22.

El sistema colector propuesto que se requiere para la rehabilitación y el mejoramiento del Colector Sur posee capacidad suficiente, como se presenta y se explica a continuación.

2) Diseño del sistema colector propuesto para el Colector Sur

En la Tabla 12.19 aparece el bosquejo del sistema colector necesario para la rehabilitación y el mejoramiento del Colector Sur.

Tabla 12.19 Sistema colector necesario para la alternativa

Aspecto	Después de la rehabilitación	Durante le rehabilitación
1) Tubería de entrada	Colector Sur A	Tubería de desviación
Caudal de entrada de diseño – Máximo por hora	1,271 L/s 76.26 m ³ /min	2.283 L/s 137.00 m ³ /min
Tubería de entrada y material de la tubería	1500 mm Hormigón	1500 mm Hormigón
Cota de invertida	-5.55 m	-5.55 m
2) Bombas		
- Tipo de bomba	Bombas sumergibles para aguas residuales	Bombas sumergibles para aguas residuales
- Capacidad y cantidad de bombas	ø 400 mm x 20 m ³ /min x 2 bombas (ninguna de reserva) ø 600 mm x 40 m ³ /min x 2 bombas (2 en operaciones y una de reserva)	ø 400 mm x 20 m ³ /min x 3 bombas ø 600 mm x 40 m ³ /min x 2 bombas (ninguna de reserva)
- Altura de bombeo	12 m	12 m
- Capacidad total	80 m ³ /min	140 m ³ /min
- Observaciones		De las 5 bombas 2 son grandes bombas de ánima con un ø 600 mm
3) Colector a presión		
- Diámetro y material	ø 1350 mm Hierro dúctil	ø 1350 mm Hierro dúctil
- velocidad promedio durante el flujo máximo	0.89 m/s	1.59 m/s
- Longitud	1,020 m	1,020 m
4) Sur Nuevo		
- Diámetro y material	ø 1500 mm Hormigón	ø 1500 mm Hormigón
- Longitud	1,830 m	1,830 m

Fuente: Equipo de Estudio de JICA

La tabla muestra asimismo que el sistema posee capacidad suficiente para conducir las aguas residuales en las condiciones vigentes después de la rehabilitación a través del Colector Sur 3, el Colector S2-1 y el S2-2, así como las aguas del Colector de la margen izquierda de Luyanó a través del nuevo Colector, el Colector Sur A.

Colector A: Este Colector es necesario para conducir las aguas residuales generadas en la Zona “A” de la margen izquierda del río Luyanó, así como las de la zona cubiertas por el Colector Sur 3, el Sub-colector S2-1 y el S2-2. En las Figuras 12.24 y 12.25 se muestran tanto la ruta como el corte longitudinal del Colector A.

Estación de bombeo de Matadero: La estación de bombeo de Matadero ha de planificarse para cumplir dos funciones en extremo importantes, a saber:

Durante la rehabilitación : Desviar el agua residual proveniente del Colector Cerro y del Colector Sur (Parte 1¹) hacia el Colector Sur Nuevo para facilitar el estudio y los trabajos de rehabilitación en el Colector Sur (Parte 2²)

Después de la rehabilitación : Bombear el agua residual recogida del Colector Sur 3 y de los subcolectores S2-1 y S2-2, así como del Colector izquierdo del Luyanó.

Se emplearán grandes bombas sumergibles de aguas residuales para hacer frente al flujo mayor durante la rehabilitación, aunque sin disponer de bombas de reserva considerando la naturaleza temporal de su utilización durante la rehabilitación, como se muestra en la tabla que aparece a continuación.

El flujo de agua residual a través de la estación de bombeo será así:

Caudal de entrada → Tamiz grueso → Tanque de remoción por gravedad → Tamiz fino → Esclusa de caudal → Bomba sumergible → Colector a presión → Sur Nuevo

El área total requerida para la estación de bombeo es de aproximadamente 46 m x 36 m (0.17 ha).

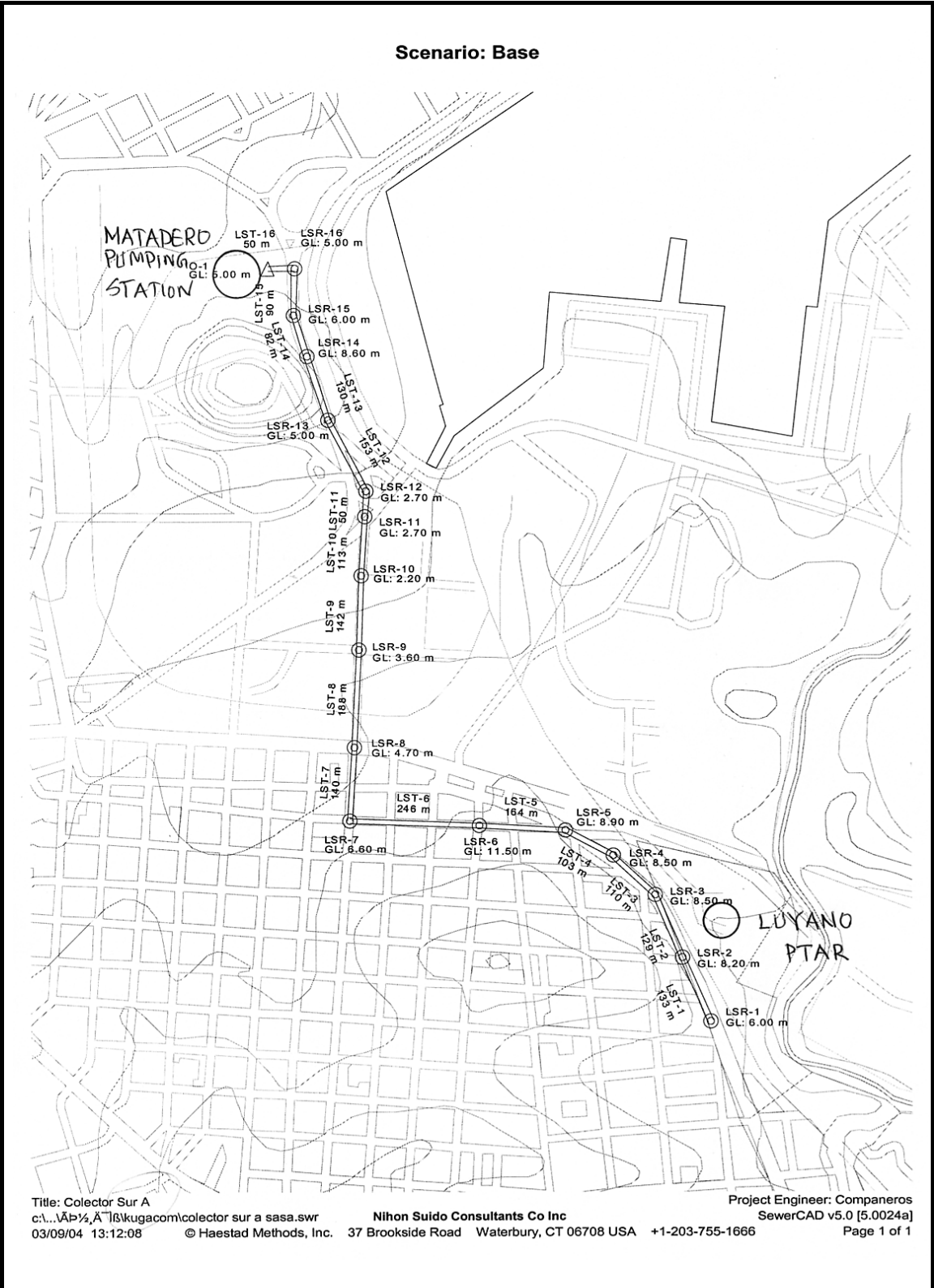
Se hicieron consultas con la DPPF (Dirección Provincial de Planificación Física) con respecto al emplazamiento de la Estación de Bombeo de Matadero. El lugar seleccionado es un terreno yermo perteneciente a las FAR (*Fuerzas Armadas Revolucionarias*) como se muestra en la Figura 12.26.

Tubería de interconexión para el Colector Cerro y el Colector Sur: Durante la rehabilitación del Colector Sur, se necesitan instalar tuberías de interconexión para el Colector Cerro y el Colector Sur con el fin de conducir las aguas residuales hasta la estación de bombeo de Matadero. Las tuberías de interconexión tendrán una longitud total de 500 m. La de 1030 mm de diámetro será de 100 m, mientras que la de 1500mm será de 400 m de longitud.

Colector a presión y Colector Sur Nuevo: El colector a presión de tubería de hierro dúctil con un diámetro de 1,250mm y una longitud de 1,020m está diseñado para conducir el flujo de agua residual de 2,283 L/s durante la rehabilitación del Colector Sur. En las mismas condiciones, el Colector Nuevo está diseñado para tuberías de hormigón de 1500mm de diámetro, 1,830 m de longitud y 0.1% (1/1000) de gradiente. La capacidad del Colector de 2,235 L/s no posee la resistencia suficiente a los flujos de diseño prevalecientes durante la rehabilitación del Colector Sur, pero sí la poseerá una vez que concluyan los trabajos de rehabilitación.

² El Colector Sur (Parte 1) es aquella parte hasta la confluencia con el Colector Cerro (diámetro de 1500 mm).

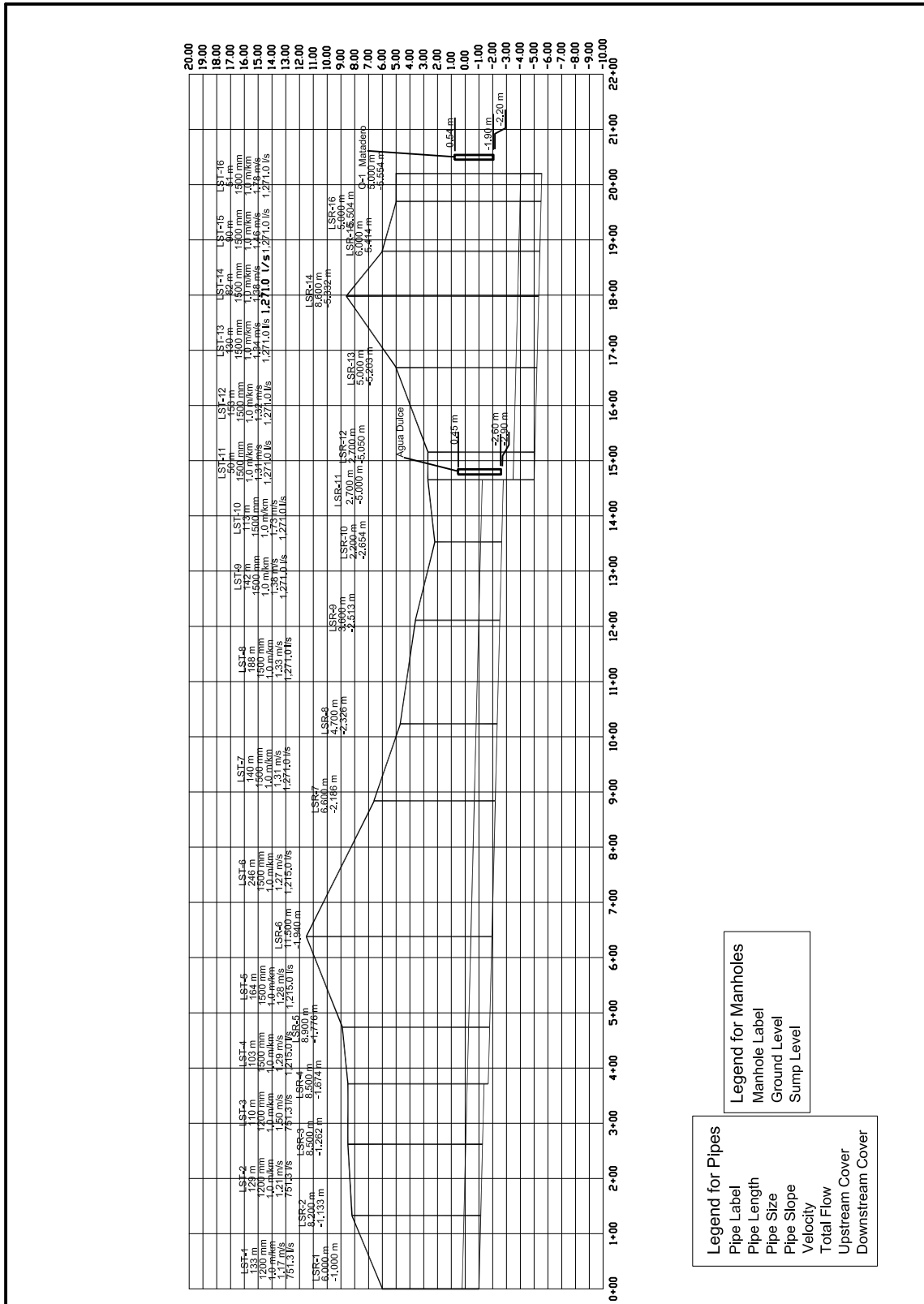
³ El Colector Sur (Parte 2) se extiende desde la confluencia con el Colector Cerro hasta Cabellería (diámetro de 1950 mm & 2100 mm).



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN

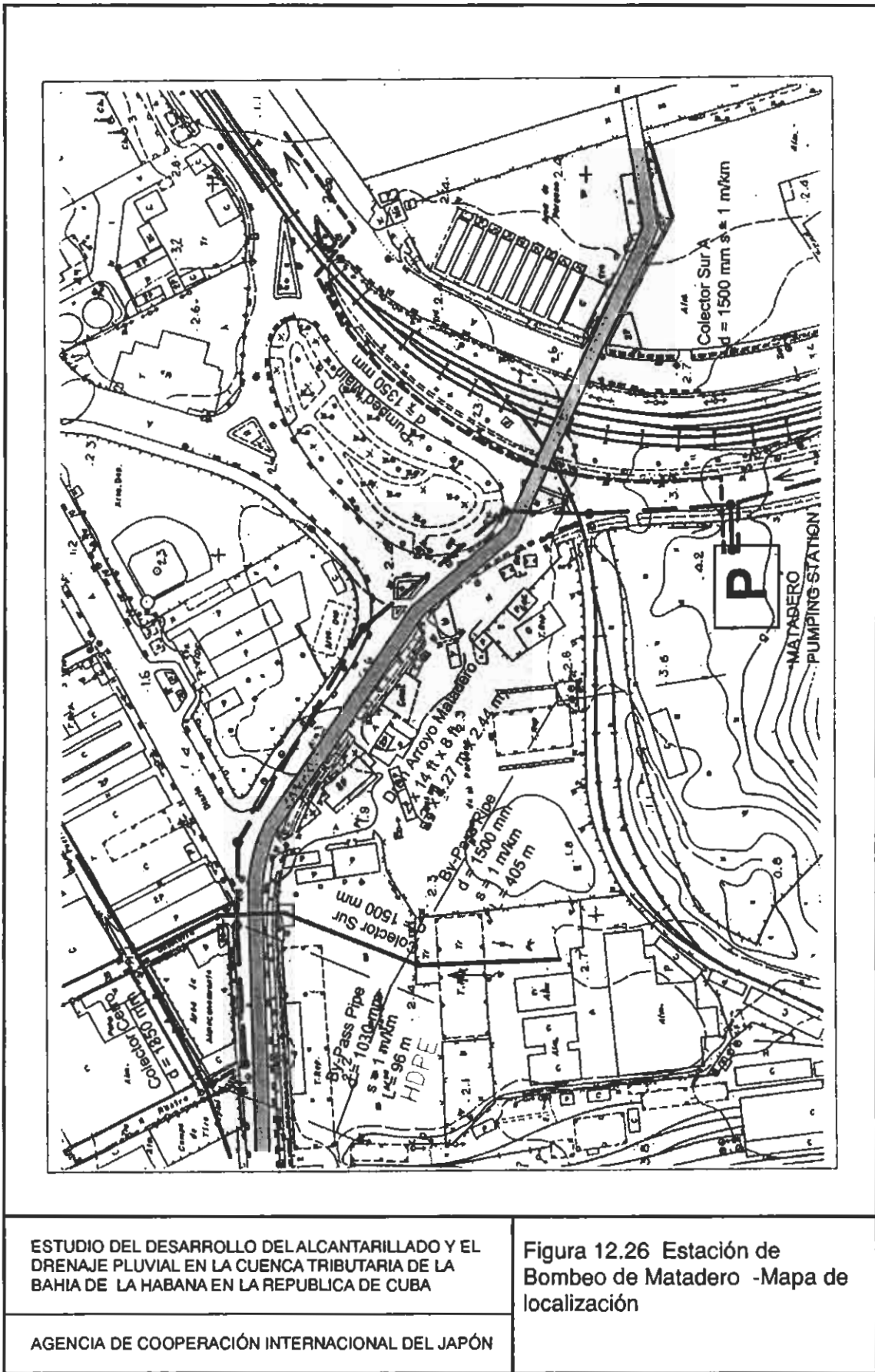
Figura 12.24
 Ruta del Colector Sur A



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAGE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

Figura 12.25
Corte Longitudinal del
Colector Sur A



ESTUDIO DEL DESARROLLO DEL ALCANTARILLADO Y EL DRENAJE PLUVIAL EN LA CUENCA TRIBUTARIA DE LA BAHIA DE LA HABANA EN LA REPUBLICA DE CUBA

Figura 12.26 Estación de Bombeo de Matadero -Mapa de localización

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN