

27



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA POTABLE ANTE DESASTRES: EL CASO DEL SISTEMA CUTZAMALA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTAN: BARRIENTOS CRUZ, EDGAR MARTÍN ESQUIVEL CASTELLANOS HERIBERTO

270224



DIRECTOR DE TESIS: DR. OVSEI GELMAN MURAVCHIK

MÉXICO, D.F.

ENERO DE 1999

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-188/95

Señores  
**HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS**  
**EDGAR MARTIN BARRIENTOS CRUZ**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. OVSEI GELMAN MURAVCHIK**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"DIAGNOSTICO DE SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA POTABLE ANTE DESASTRES:  
EL CASO DEL SISTEMA CUTZAMALA"**

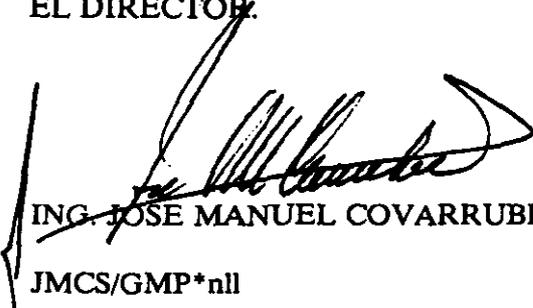
**INTRODUCCION**

- I. MARCO CONCEPTUAL Y BASES METODOLOGICAS**
- II. DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE PLANEACION**
- III. APLICACION: EL SISTEMA CUTZAMALA**
- IV. CONCLUSIONES**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 22 de noviembre de 1995.  
EL DIRECTOR.



ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*nl

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro más profundo agradecimiento a la UNAM y especialmente a la Facultad de Ingeniería, por brindarnos la oportunidad de obtener una formación académica sólida para el desarrollo profesional y para poder integrarnos a la vida productiva del país.

En este contexto, se aprovecha la oportunidad de agradecer a nuestros profesores, quienes con vocación y desinterés nos transmitieron sus conocimientos y valiosas experiencias, a ellos nuestra admiración y respeto.

Al Instituto de Ingeniería, de manera muy especial:

- Al Dr. Ovsei Gelman Muravchik, por creer en nosotros al darnos la oportunidad -desde los inicios de la carrera- de participar en los proyectos de investigación a su cargo y por ayudar a complementar nuestra formación, tanto académica como profesional. Así como por su paciencia, entusiasmo, exhortaciones y tiempo al dirigir esta tesis. Aprendiendo de él, en todo momento, con su ejemplo y dedicación. Nuestro más sincero agradecimiento.
- Al M. en L. Gerardo Sierra Martínez y el Ing. Alberto Rodríguez Martínez, nuestros primeros jefes inmediatos y amigos.
- A nuestros buenos amigos que hemos cultivado desde entonces: Ing. Alma García Meza, Ing. Israel Ortega Cuevas, Ing. Hugo Piedras Valencia e Ing. Alvaro Saldaña Nava -miembros de la H.S.B.H. y de la O.L.B., tan conocidas entre nosotros-; Verónica Castro Azcatl, Alfredo Garza Ledesma, Ing. Elmer Murrieta Muerrieta y M. en I. Alejandra López Calzada.

A nuestros amigos y compañeros de carrera con quienes convivimos, de manera especial, a Rafael Hernández Alarcón, con quien compartimos trabajos, desvelos y diversiones.

Sin olvidar a nuestra gran amiga Leticia Martínez Hernández, con quien hemos compartido tantos momentos agradables, por su apoyo y aliento.

A la Lic. María Ochoa Macedo, por su apoyo para la edición de este trabajo.

Así como a todas las personas con quienes tuvimos contacto directo durante la realización del proyecto del cual emana esta tesis. Del Instituto de Ingeniería: Dr. Blanca Jiménez, Ing. Víctor Franco, Dr. Servio Tulio Guillén, entre otros; así como de la G.A.V.M. y del Sistema Cutzamala, especialmente al Ing. Absalón Domínguez.

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y poder cumplir lo hasta ahora logrado.

A mamá y papá, por todo su amor, cuidado y dedicación para guiar mis pasos e inculcarme buenos valores éticos y morales.

A mis hermanos, por su ejemplo y cariño.

A la memoria de Mami Maruca y Mami Toña, por su ternura y cariño recibidos.

A mi tía María Elena Nieto, por su apoyo para poder formar parte de esta vida universitaria.

A todos mis familiares, compañeros de trabajo y amigos que nunca dejaron de perseverar para que esta tesis se volviera realidad.

Y para que esta tesis sea vista por mis futuros hijos como una meta a alcanzar y superar.

¡Ahora debo continuar  
con mi preparación!

**Edgar Martín Barrientos Cruz**

A Dios, que nos da el don más grande, el ser.

A mi mamá, Felicidad Margarita Castellanos Paulín, como homenaje a su ejemplo, paciencia, apoyo tanto en los buenos como en los momentos más difíciles, sabios consejos, confianza, innumerables sacrificios, amor infinito y estar siempre conmigo, por darme lo más valioso, la vida.

"La promesa está cumplida"

A la memoria de mis abuelitos, Adulfa Paulín Ramos y Guillermo Castellanos Pike, cuyo amor, ejemplo y sabiduría perdurarán en mí por siempre.

A mis familiares, que con mucho cariño me han dado sabios consejos y su apoyo en todo momento para seguir adelante, especialmente a mi tía Alma y a mis primos José Luis y Francisco Bernardo.

A mis compañeros y amigos de la DICTyG, en especial al Ing. Luis Candelas Ramírez, con mi más profundo agradecimiento por su apoyo, consejos, tiempo y estímulo.

Así como a todas las personas que me han apoyado y alentado, de manera muy especial al Lic. Arnulfo Santader Ávila.

**Heriberto Esquivel Castellanos**

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iii
INTRODUCCIÓN	1
I MARCO CONCEPTUAL Y BASES METODOLÓGICAS	7
I.1 Bases metodológicas	9
I.1.a Paradigma sistémico	10
I.1.b Paradigma cibernético	18
I.2 Paradigma del desastre	21
I.2.a Producción de desastres	21
I.2.b Gestión de desastres	24
I.2.c Estados de un sistema	28
I.3 Esquema de planeación	32
II DIAGNÓSTICO COMO FASE SUSTANCIAL DEL PROCESO DE PLANEACIÓN	43
II.1 Definición del objeto de estudio en el caso de Sistemas de Abasto de Agua Potable (SAAP)	47
II.1.a Paradigma de los sistemas de flujo continuo	50
II.1.b Determinación de la estructura funcional de Sistemas de Abasto de Agua Potable	51
II.2 Procedimiento para la descripción de la problemática	59
II.2.a Recopilación de información	60
II.2.b Análisis de información	63
III APLICACIÓN: EL SISTEMA CUTZAMALA	67
III.1 Descripción del Sistema Cutzamala	68
III.2 Estructura funcional del Sistema Cutzamala	75
III.2.a Conceptualización del sistema productivo	75
III.2.b Descripción espacial del sistema productivo del Cutzamala	78
III.3 Tipología de problemas detectados	84
III.3.a Deficiencias observadas	84
III.3.b Análisis de la problemática	118
III.4 Elaboración de sugerencias	132
IV CONCLUSIONES	135
ANEXO: ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA CUTZAMALA	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

# ÍNDICE DE FIGURAS

I.1	Proceso de composición del sistema	11
I.2	Estructura de dos sistemas isomórficos	12
I.3	Proceso de descomposición del sistema	14
I.4	Ejemplo de descomposición funcional de un sistema	15
I.5	Fusión de las representaciones complementarias de un sistema	16
I.6	Conceptualización completa de un sistema	17
I.7	Visualización de un sistema bajo el paradigma cibernético	19
I.8	Modalidades de la gestión	20
I.9	Interrelación de los sistemas perturbador y afectable	23
I.10	El paradigma fundamental de desastres	25
I.11	Objetivos de control de desastres	26
I.12	Transiciones entre las áreas de estados del sistema afectable	30
I.13	Estructura del proceso de planeación	34
I.14	Estructura del diagnóstico	35
I.15	Estructura de la prescripción	36
I.16	Estructura de la instrumentación de la solución	38
I.17	Estructura de control	40
I.18	Estructura detallada del proceso de planeación	42
II.1	Procedimiento de construcción del sistema de problemas según Ackoff	45
II.2	Esquema de distinción de problemas reales y planteados	46
II.3	Heurística del planteamiento de problemas	48
III.1	Perfil del Sistema Cutzamala	72
III.2	Ubicación De sitios considerados en el Sistema Cutzamala	83
III.3	Bloque de sitios del Sistema Cutzamala considerados para la ordenación de las fichas de observaciones	87
III.4	Distribución geográfica de las fichas de observaciones seleccionadas, según los sitios visitados	89

# ÍNDICE DE TABLAS

I.1	Relación entre los estados de conducción	32
I.2	Relación entre las actividades específicas y transiciones	32
II.1	Estructura de los SAAP, <i>interpretada a través de los sistemas de flujo continuo</i>	51
III.1	Presas del Sistema Cutzamala	70
III.2	Desarrollo del acueducto del Sistema Cutzamala	70
III.3	Desarrollo de la conducción de agua cruda	71
III.4	Desarrollo de la conducción de agua potable	71
III.5	Características del equipo de bombeo	71
III.6	Desglose de los subsistemas y partes del Sistema Cutzamala	76
III.7	Partes y componentes del Sistema Cutzamala	77
III.8	Componentes y elementos del Sistema Cutzamala	79
III.9	Sitios del Sistema Cutzamala	82
III.10	Fichas de observaciones realizadas	86
III.11	Concentrado del análisis de las 28 fichas de observaciones seleccionadas	119
III.12	Distribución por tipo de los problemas detectados	125
III.13	Concentrado del análisis del total de fichas de observaciones	126
III.14	Distribución de los casos de problemas detectados por tipo y por subsistema	129
III.15	Sugerencias para la atención de los problemas detectados	133
A.1	Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala	145

*"Los libros son las llaves de la sabiduría;  
son puertas hacia el reino de la honda alegría;  
los libros son caminos que llevan a la altura;  
son buenos amigos: ¡Procede a su lectura!"*

*Poema de Emilie Poulsson  
Traducción de Carlos Barrera*

## **INTRODUCCIÓN**

Debido a que el servicio de abastecimiento de agua potable es de suma importancia para los asentamientos humanos, se debe asegurar la continuidad del servicio tanto en situación normal como de desastre. Por ello, surge la necesidad de conocer a fondo los Sistemas de Abasto de Agua Potable (SAAP) a fin de determinar la confiabilidad del funcionamiento de éste tipo de sistemas, a través de la realización de estudios particulares.

Uno de los principales SAAP que existen en la República Mexicana es el Sistema Cutzamala, debido a la magnitud e importancia que reviste para dotar de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. El aspecto de seguridad y salvaguarda de este Sistema cobra un especial interés debido, por un lado, a su propensión ante los diversos fenómenos destructivos y, por otro, al papel que desempeñan como sistemas vitales de subsistencia. En este sentido la entonces Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), de la Comisión Nacional del Agua (CNA), en el año de 1987 mostró su

---

preocupación por no contar con un plan de respuesta ante desastres para evitar una reducción en la entrega de agua potable en bloque\* y la alteración de su calidad.

Sin embargo, por restricciones presupuestales fue hasta abril de 1990 cuando la ahora Gerencia de Aguas del Valle de México (GAVM), de la CNA, buscó atender esta necesidad apoyándose en la experiencia y prestigio del Instituto de Ingeniería (I. de I.) de la UNAM -respaldado por las investigaciones que ha realizado a través de 40 años de existencia-, para conocer el estado del Sistema y mejorar su confiabilidad.

Así, el Grupo de Investigación Interdisciplinaria de Desastres (GIID) del I. de I., se dió a la tarea de desarrollar un Proyecto General de investigación bajo el patrocinio de la propia CNA, denominado "*Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala*", cuyo objetivo fue establecer las bases científicas, técnicas y administrativas para apoyar al Sistema en su misión de asegurar la continuidad de la entrega de agua en bloque en la cantidad programada y la calidad prevista.

El Proyecto General quedó conformado por una secuencia de proyectos particulares de investigación, basándose en las experiencias previas de estudios interdisciplinarios de desastres, obtenidos por el GIID.

De acuerdo con las necesidades de la CNA y desde un punto de vista estratégico, como una primera etapa, se propuso realizar un proyecto que permitiese reforzar la capacidad del Sistema Cutzamala para enfrentar y resolver probables situaciones de emergencia, incluyendo la identificación inicial de las características y el funcionamiento del Sistema, posponiendo la determinación de medidas preventivas para las siguientes etapas, no obstante su importancia.

Los objetivos fundamentales de la primera etapa del proyecto fueron:

---

\* Se entiende como entrega en bloque cuando se distribuye el total del flujo solo a unos cuantos consumidores, a diferencia de los sistemas municipales que realizan la entrega a "n" consumidores.

- Desarrollar el programa de atención de emergencias como parte sustancial de un Programa General de Reducción de Riesgos y de Rehabilitación del Sistema Cutzamala y,
- Diseñar una estructura organizativa responsable por la actualización y ejecución del Programa General.

El planteamiento y planeación del proyecto se basó en el marco conceptual creado por el propio grupo -a finales de los años setenta- para el estudio del fenómeno de desastres, el cual parte de ciertas bases metodológicas tales como los paradigmas sistémico y cibernético, surgiendo la necesidad de apoyarse particularmente para este estudio en el paradigma de los sistemas de flujo continuo (por ser éste, dentro de los diferentes tipos de sistemas, el que más se apega a la estructura de los SAAP), y en el esquema de planeación, en todas sus etapas: diagnóstico, prescripción, instrumentación y control.

Para lograr los objetivos mencionados, se plantearon las siguientes acciones básicas:

- Conceptualización de los elementos cruciales del Sistema y análisis de su vulnerabilidad ante fenómenos destructivos, así como determinación de los diversos riesgos de la interrupción del abasto de agua potable y desarrollo de los escenarios de las probables emergencias mayores (Diagnóstico).
- Definición de las medidas de rehabilitación del Sistema en caso de una situación de emergencia y de los preparativos, así como el diseño de la organización responsable por la protección y rehabilitación, como parte sustancial de su estructura organizativa (Prescripción).
- Determinación de la estructura del Programa General y elaboración del Programa de Atención de Emergencias, a través de la integración de medidas correspondientes para asegurar su oportuna y eficiente ejecución (Instrumentación).

- Planeación y asesoría de la implantación del Programa de Atención de Emergencias (Control).

A lo largo del desarrollo de este estudio se realizó una metodología específica para elaborar el diagnóstico del funcionamiento del Sistema Cutzamala, a fin de mejorar su confiabilidad, la cual puede ser empleada para el estudio de cualquier SAAP -tanto pequeños como grandes y complejos- ante situaciones de desastre y que cubre tanto el estudio del sistema de gestión como del sistema productivo\*.

Debido al carácter interdisciplinario del GIID, el proyecto fue realizado por integrantes de diversas disciplinas tanto académicos como prestadores de servicio social de nivel licenciatura -requiriendo estos últimos capacitación interna y externa\*\* al GIID-. Por ello, las tareas desarrolladas fueron asignadas de acuerdo a la formación académica e intereses de cada uno de los integrantes del grupo.

En este sentido, los estudiantes de ingeniería civil que presentan esta tesis, participaron en dicho proyecto, desarrollando, como parte sustancial del servicio social, la etapa del diagnóstico del sistema productivo del Cutzamala ante desastres, en particular, en el desarrollo de la metodología para conceptualizar el sistema productivo e identificar la problemática, así como la aplicación de dicha metodología.

Por ello, se decidió presentar, como tema de tesis, la metodología desarrollada para la elaboración de dicho diagnóstico. Por lo que, en el capítulo I, se presenta el marco conceptual y las bases metodológicas empleadas para desarrollar la metodología mencionada.

En el capítulo II, se presenta la propia metodología del diagnóstico -ampliada a los SAAP de manera general- como fase sustancial del proceso de planeación, para lo cual, por un

---

\* De acuerdo con las tendencias modernas en el campo de la metodología de la investigación científica, el enfoque cibernético permite distinguir dos clases de funciones principales: las productivas y las de gestión [6]. Las primeras se consideran como las necesarias e indispensables para lograr los objetivos principales del sistema, mientras que las segundas se definen como las que se requieren para organizar y controlar las actividades productivas.

\*\* Cursos de computación como MS-DOS y Ventura Publisher.

lado, se define el objeto de estudio, empleando el paradigma de flujo continuo y, por otro lado, el procedimiento utilizado para la descripción de la problemática que enfrentan este tipo de sistemas ante desastres.

En el capítulo III, se presenta la aplicación de la teoría expuesta en los capítulos anteriores, para realizar el diagnóstico del Sistema Cutzamala ante desastres, dando una descripción general del sistema, su estructura funcional, la tipología de problemas detectados, así como las sugerencias pertinentes.

Finalmente, en el capítulo IV se presentan las conclusiones emanadas tanto del proyecto de investigación como de la presente tesis. Asimismo, a manera de anexo, se presenta la estructura funcional del Sistema Cutzamala.

## **CAPÍTULO I**

# **MARCO CONCEPTUAL Y BASES METODOLÓGICAS**

Tradicionalmente, diversas ramas de la ingeniería y áreas científicas han estudiado y elaborado los medios para afrontar desastres de acuerdo con sus enfoques monodisciplinarios. Sin embargo, a pesar de los logros obtenidos, se han revelado algunas limitaciones, debido a que no toman en cuenta las interrelaciones entre los diversos fenómenos destructivos, entre los componentes del sistema expuesto -donde se materializan los desastres- y entre las consecuencias de dichos fenómenos. Asimismo, se ha dado preferencia a los aspectos técnicos, omitiendo frecuentemente los criterios socioeconómicos y políticos, que son decisivos y determinantes para la definición del concepto de desastre. Como consecuencia, esta situación ha repercutido en la producción de resultados parciales y en el ensombrecimiento de la necesidad de buscar soluciones concretas [1].

Con la aparición y desarrollo que, en décadas recientes, han tenido algunos campos como la Investigación de Operaciones, la Ciencia de Gestión y la Ingeniería de Sistemas, se propició el surgimiento de una nueva postura sustancialmente interdisciplinaria [2,3]

que, sin apegarse a una disciplina en particular, trata de establecer su propio objeto de estudios y sus medios específicos de investigación con el propósito de analizar el fenómeno de desastre, explicarlo y pronosticarlo, a fin de llegar a controlarlo. Esta nueva área, denominada Investigación Interdisciplinaria de Desastres (IID), surgió a fines de los años setentas y ha venido desarrollándose en la Coordinación de Ingeniería de Sistemas del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Para asegurar el carácter interdisciplinario de la investigación, fue indispensable disponer de un marco conceptual general -definido como un sistema de conceptos básicos que permite identificar y plantear los problemas, así como elaborar los métodos propios para resolverlos- para cubrir, por lo menos, la carencia existente de una adecuada comunicación entre los investigadores en la materia y entre el personal de prevención y atención de emergencias, así como para mejorar la aplicación de los resultados de estudios científico-técnicos generados. Asimismo, para facilitar el intercambio, integración y aprovechamiento de las experiencias profesionales en la materia, a través del desarrollo y establecimiento de una terminología y enfoque común, mejorando la comprensión de resultados y la transferencia de los métodos obtenidos en diferentes áreas y especialidades [4,5].

Por lo anterior, así como con el fin de entender y resolver de manera integral la problemática de desastres mencionada, la IID ha desarrollado su propio marco conceptual, el cual se forma y fundamenta en un *paradigma principal* conformado en ciertos paradigmas o enfoques creados de manera especial y, en otros casos, adaptados de diferentes campos del conocimiento, que han permitido conceptualizar tanto al fenómeno de desastre como al proceso de su control.

Con el propósito de presentar dicho marco conceptual, a continuación se exponen las bases metodológicas empleadas (subcapítulo I.1) y el paradigma del desastre del cual surge dicho marco (subcapítulo I.2). Asimismo, en el subcapítulo I.3 se describe el *esquema general de planeación* [6] que sirve como herramienta principal para facilitar la organización y gestión del control del fenómeno de desastre.

## I.1 BASES METODOLÓGICAS

Para iniciar, es conveniente mencionar que la enseñanza de los fundamentos y métodos del conocimiento científico es llevada a cabo por la epistemología. Ésta se vale de ciertos instrumentos que, durante el proceso de investigación, brindan la capacidad de conocer las cosas, generando nuevo conocimiento, formando así un *proceso cognoscitivo* [7]. Uno de los instrumentos más importantes de éste proceso, es el denominado *paradigma* [8], que puede concebirse como un enfoque o una forma de percibir las cosas, para permitir diferenciar la realidad e identificar y escoger ciertos fragmentos de ella, a fin de representar e interpretar las cosas como objetos de estudio.

De esta forma, el paradigma determina el desarrollo del proceso cognoscitivo al descubrir las irregularidades que caracterizan a las cosas y las leyes que se manifiestan a través de ellas y que rigen las relaciones del sistema real, con el fin de describir, explicar y controlar la realidad de las cosas [6,9].

Para ello, es necesario contar con una metodología -en el sentido más amplio de este concepto- basada en enfoques con una terminología general y que incluya los procedimientos adecuados para plantear y resolver problemas, lo cual se logra, a través del establecimiento de un marco teórico.

En este sentido, la IID, apegada a la metodología moderna [10], considera al paradigma como uno de los conceptos básicos que, entre otras funciones y aplicaciones, es empleado como el instrumento principal para plantear problemas, específicamente, en la interpretación de la problemática -considerada ésta como la manifestación de los problemas reales [11,12]-. Para determinar la problemática, se busca elaborar sus constructos, es decir, sus idealizaciones, basándose en el desarrollo de estudios empíricos -que ayudan a describir la problemática- y, en forma complementaria, de estudios teóricos -que la interpretan, a través de la conceptualización previa de los sistemas involucrados dentro de un sistema mayor-, definiendo no sólo las discrepancias entre sus diversos objetivos, papeles y funciones, sino también los obstáculos para el logro de los mismos, contemplándolos como fuentes de los problemas reales.

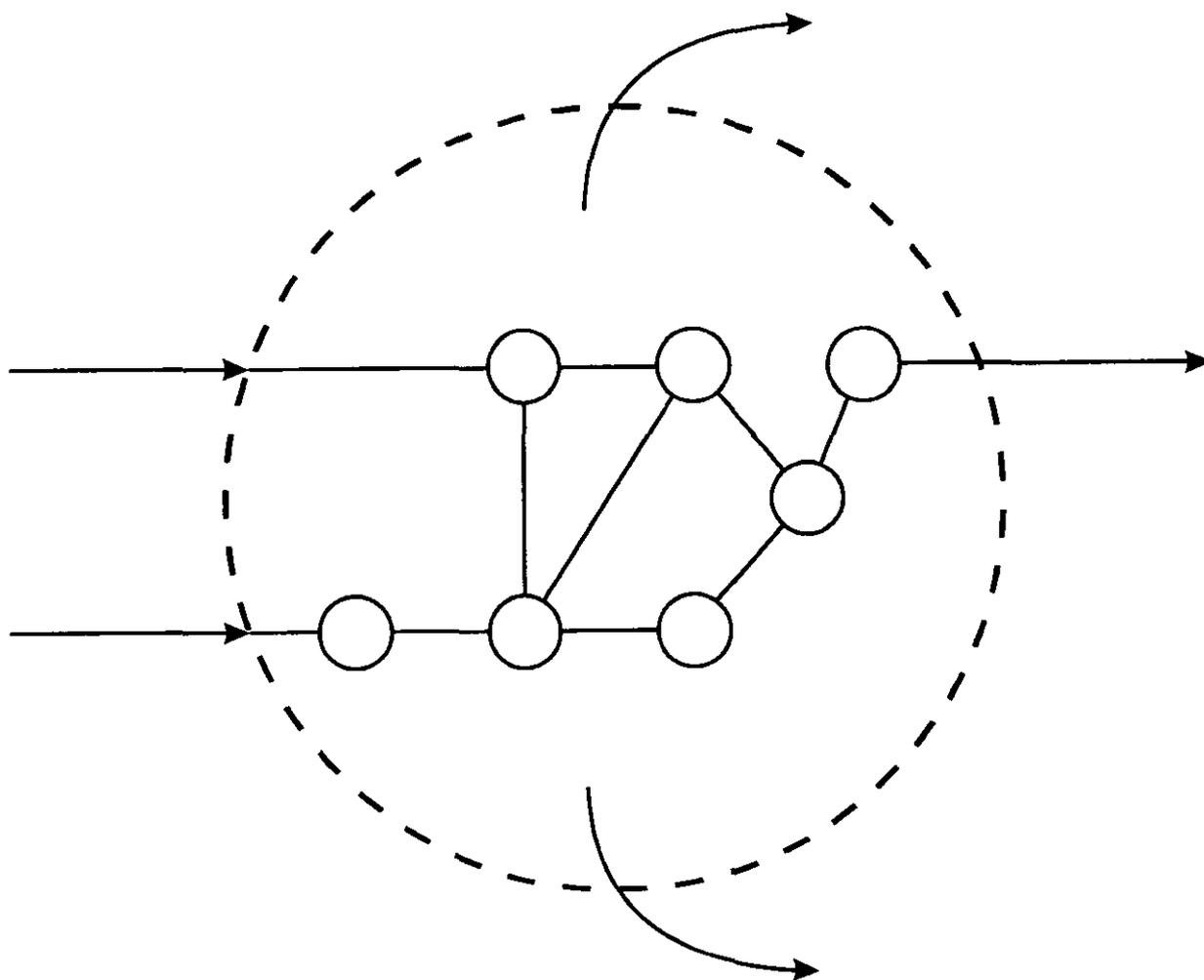
Para ello, es necesaria la construcción del objeto de estudio y la visualización de los sistemas involucrados, lo que requiere del uso de paradigmas tales como el sistémico y el cibernético, así como del empleo de algunos paradigmas especiales, elaborados de acuerdo a los requerimientos necesarios de cada caso.

### **1.1.a Paradigma Sistémico**

Este primer paradigma sirve para conceptualizar el objeto de estudio como un sistema, lo cual se hace a través del empleo, en forma complementaria, de los procedimientos del método de construcción sistémica: por composición o por descomposición funcional [13,5].

El primero permite ver el objeto de estudio como un conjunto de elementos que, de una u otra forma, se encuentran relacionados entre sí, organizados e interconectados de tal manera que, consecuentemente, se llega a concebirlos como un todo integral con cierto papel o función dentro de un entorno más amplio (Fig. I.1). Además, permite detectar las propiedades sistémicas que tiene esta totalidad, las cuales pueden deducirse a través de las propiedades particulares de cada uno de los elementos que la componen, así como de las funciones y relaciones que los vinculan. De esta manera, se llega a visualizar determinada clase de sistemas con estructura isomórfica como un sistema gobernado por leyes comunes [14,15,16,17] (Fig. I.2).

Con este procedimiento, que parte del elemento y busca llegar al sistema, se corre el riesgo de no comprender la naturaleza integral del mismo, ni descubrir el papel que juega en un sistema mayor, denominado suprasistema. Por otro lado, su aplicación encuentra dificultades, debido a la necesidad de asegurar que se contemplen todos los elementos relevantes y sus relaciones, ya que la omisión de algunos puede disminuir la eficiencia del empleo del sistema conceptualizado en el consecuente proceso de planteamiento de problemas reales y de su solución.



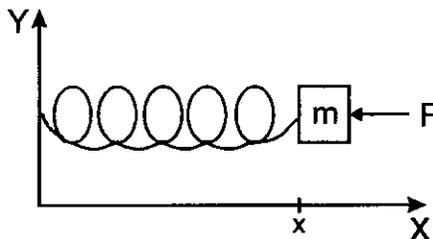
**FIG. I.1** Proceso de composición del sistema.

- a) Sistema mecánico cuyo comportamiento se describe por la siguiente ecuación:

$$m\ddot{x} + y\dot{x} + kx = F$$

donde:

- x = desplazamiento de la masa m
- y = coeficiente de fricción
- k = módulo de elasticidad asociado a la fuerza del resorte
- F = fuerza imprimida al resorte

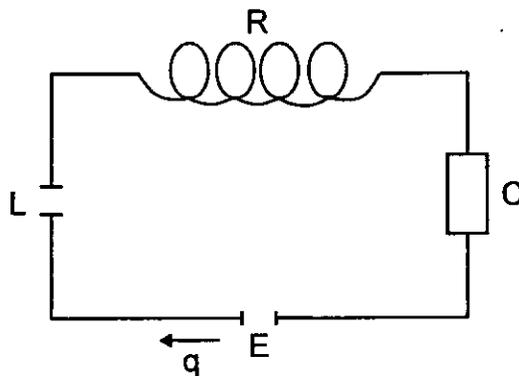


- b) Sistema eléctrico cuyo comportamiento se describe por la siguiente ecuación:

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + Cq = E$$

donde:

- q = carga
- L = inductancia
- R = resistencia
- C = capacitancia
- E = fuerza electromotriz



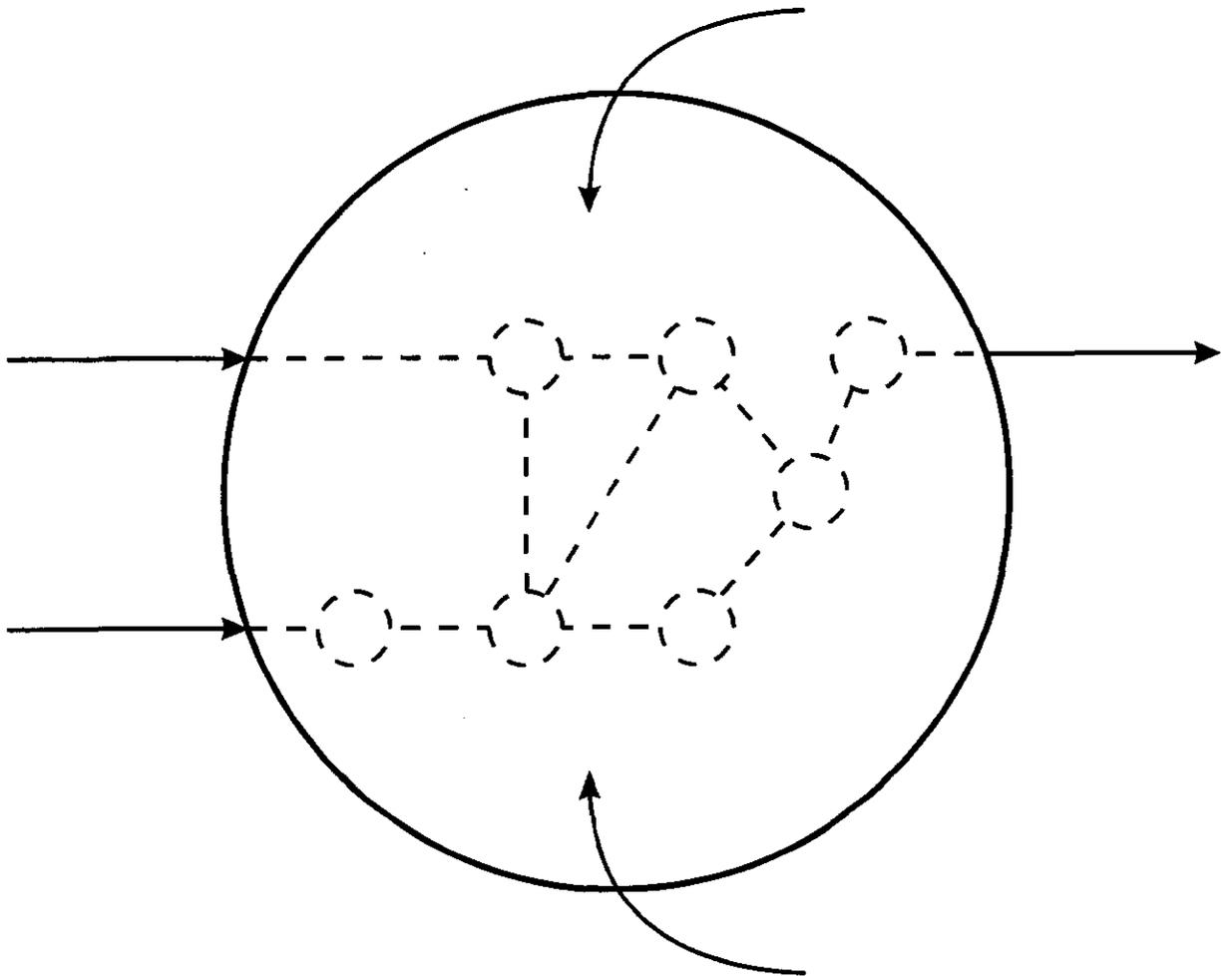
**FIG. I.2 Estructuras de dos sistemas isomórficos.**

El segundo método parte del sistema hacia sus componentes y se basa en la descomposición funcional del sistema en subsistemas, esto es, en la identificación de un conjunto de integrantes, en tal forma que la operación de cada uno de ellos y en su totalidad asegura el funcionamiento del sistema (Fig. 1.3). Su empleo sucesivo sobre cada uno de los subsistemas -considerándolos, a su vez, como sistemas-, permite llegar a niveles más profundos de desagregación, dependiendo del problema en consideración. De esta manera, los subsistemas se desagregan en partes, éstas en componentes, etc., terminando en los elementos (Fig. 1.4), considerados como las unidades indivisibles en el contexto del problema [18].

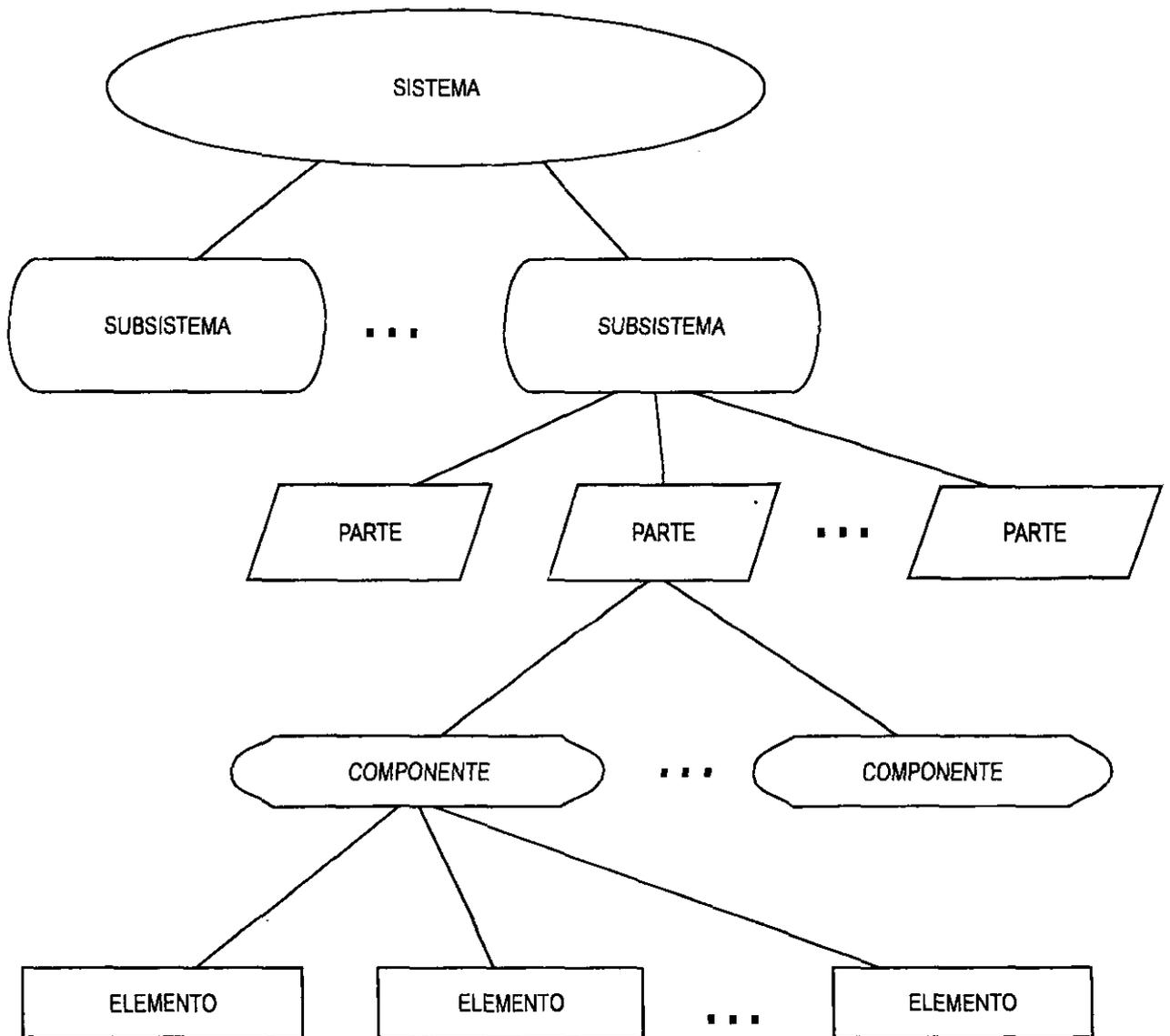
Este procedimiento define las estructuras externa e interna del sistema en consideración; la primera se determina mediante la identificación del papel que desempeña en el suprasistema y sus relaciones con otros sistemas; la interna presenta al sistema como un agregado hipotético de subsistemas funcionales, interconectados en tal forma que se asegure el cumplimiento del objetivo del sistema en el suprasistema.

Debido a que ambos métodos son parciales, para obtener un conocimiento más completo del sistema se tienen que emplear en forma complementaria. Por ejemplo, con el empleo del método por descomposición, se conceptualiza al hombre como un sistema integrado por los diversos subsistemas u órganos, como es tradicional en medicina, lo que ha permitido conocer sólo ciertos aspectos de este objeto de estudio. Por otro lado, con el empleo del método por composición, se visualiza al hombre como elemento del sistema social, a través de su papel en éste y de sus relaciones con otros componentes del mismo. Cada una de las conceptualizaciones, a pesar de ser muy fructífera, debe complementarse con la otra, por medio de la integración o fusión de las mismas [6,15] (Fig. 1.5 y 1.6).

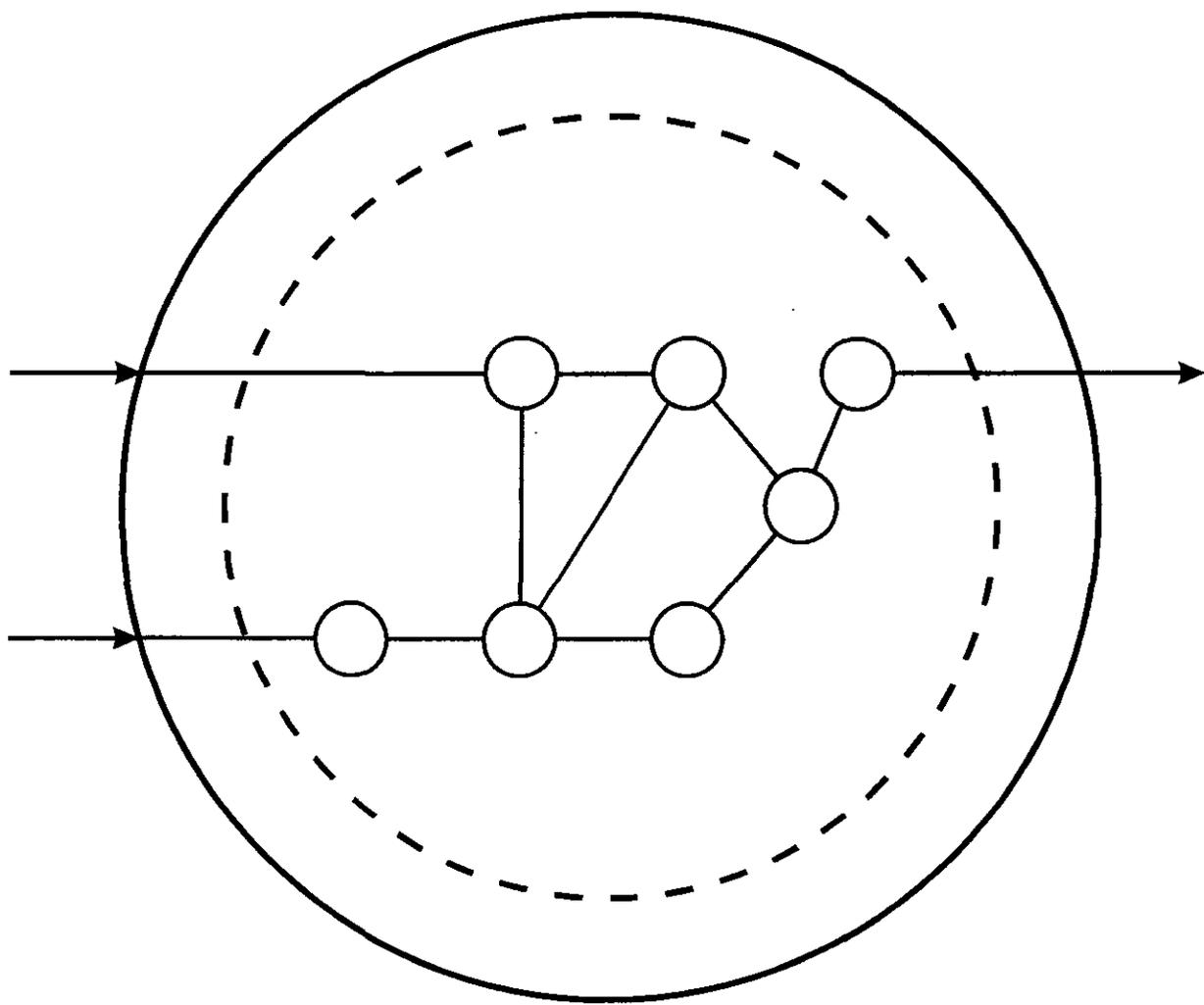
En términos generales, es posible concluir que el paradigma sistémico busca definir el papel del sistema en el suprasistema y el conjunto de subsistemas que lo conforman. La interpretación de los papeles como objetivos a cumplirse, permite distinguir tres tipos de éstos: los que el suprasistema impone al sistema, los propios del sistema y los que los



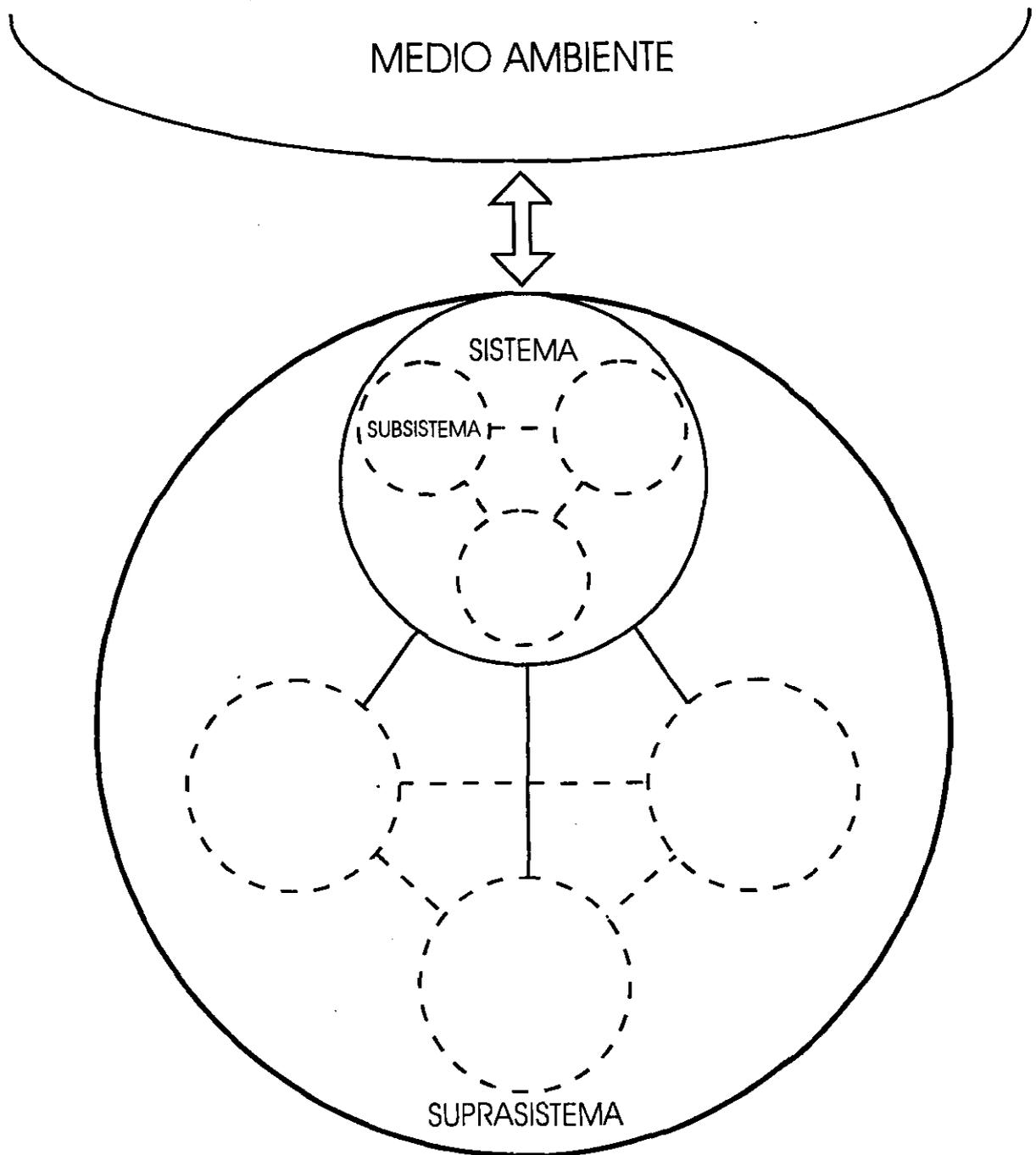
**FIG. I.3** Proceso de descomposición del sistema.



**FIG. 1.4** Ejemplo de descomposición funcional de un sistema.



**FIG. I.5 Fusión de las representaciones complementarias de un sistema.**



**FIG. I.6** Conceptualización completa de un sistema.

subsistemas requieren del sistema; el conflicto entre éstos y los impedimentos para su logro originan las correspondientes clases de problemas: de ambientalización, autocontrol y humanización, respectivamente [19].

### 1.1.b Paradigma cibernético

El segundo paradigma que se emplea en el proceso de la conceptualización de un sistema es el cibernético, que se basa en un fenómeno de control y que brinda una pauta heurística para definir cualquier sistema, permitiendo distinguir dos subsistemas principales dentro de cualquier sistema: el subsistema de gestión\* y el subsistema productivo\*\*, así como sus relaciones fundamentales, que son de información y de ejecución [20] (Fig. 1.7).

El subsistema conducido es el principal responsable por cumplir con el papel que tiene el sistema en el suprasistema, que consiste en proporcionar bienes, productos o servicios. Por su parte, el gestor, en términos generales, traza, realiza y controla la trayectoria de cambio del subsistema conducido -que incluye el caso de no cambio-, por medio de la previsión y ejecución de un conjunto de actividades que lo garanticen, a través del proceso de gestión.

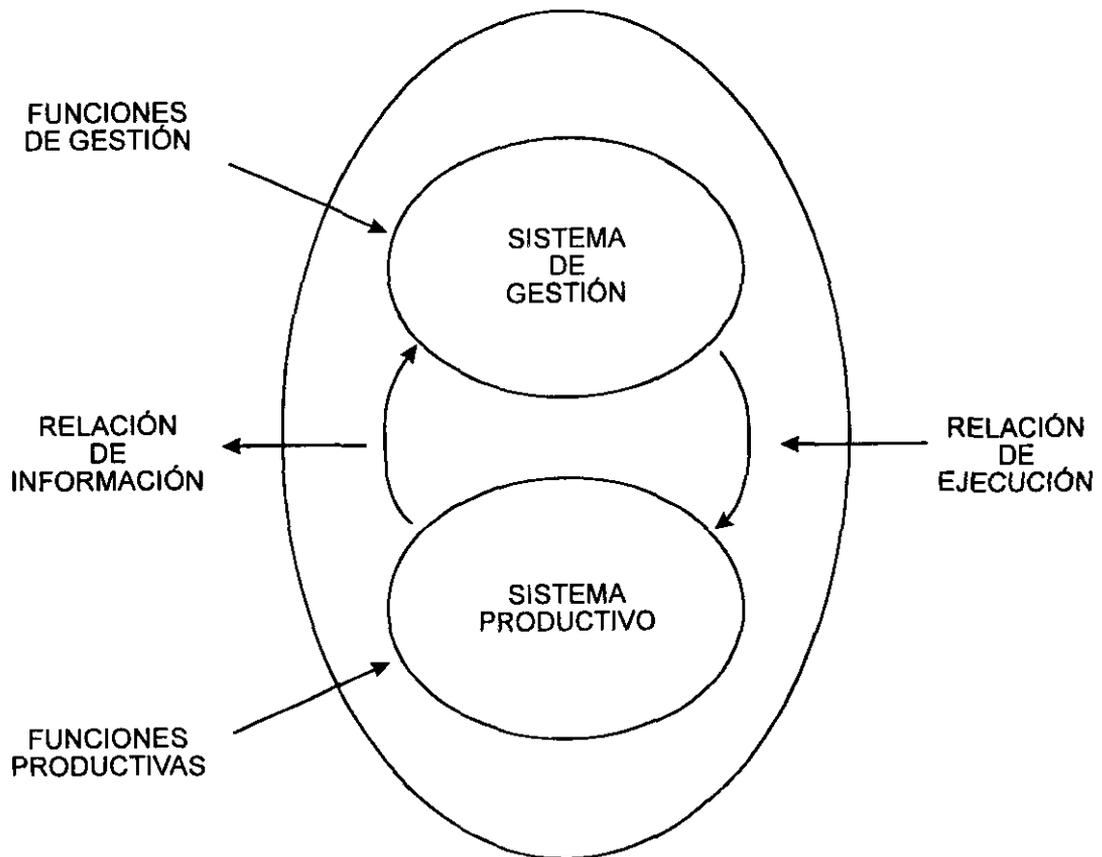
Por su parte, en el proceso de gestión se distinguen dos modalidades polares y complementarias: la gestión correctiva y la planificada (Fig. 1.8).

La primera modalidad trata de mantener al objeto conducido en un estado dado o de optimizar su operación, a través de acciones inmediatas, según la situación que se presente, partiendo de la información disponible y de la experiencia del decisor; por esta razón, también puede llamarse *gestión situacional*. La segunda, se caracteriza por

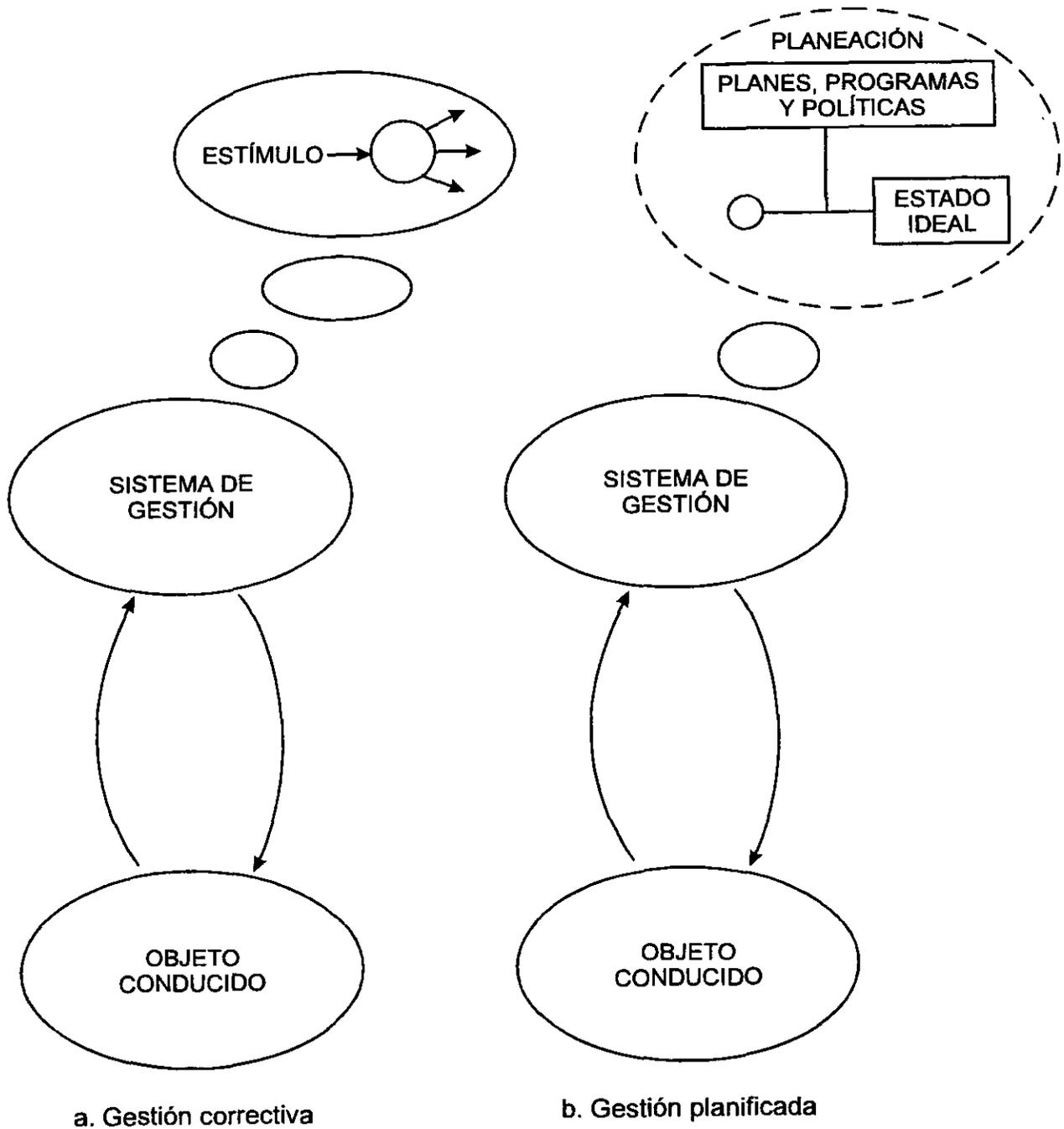
---

\* Al subsistema de gestión también se le conoce como subsistema gestor o de control.

\*\* Al subsistema productivo también se le conoce como subsistema conducido.



**FIG. I.7 Visualización de un sistema bajo el paradigma cibernético.**



**FIG. I.8 Modalidades de la gestión.**

preestablecer un estado futuro deseado del objeto conducido, como objetivo de la gestión a largo plazo, de modo que se identifiquen, seleccionen, organicen -a través de la planeación- y realicen las actividades que contribuyan a su logro.

## **I.2 PARADIGMA DEL DESASTRE**

El marco conceptual de la IID se forma y fundamenta en un paradigma principal basado en dos diferenciaciones explícitas, de acuerdo con los paradigmas sistémico y cibernético descritos anteriormente.

El empleo del primer paradigma permite conceptualizar al sistema conducido, estableciendo la diferencia entre los fenómenos destructivos y los estados propios del daño que éstos provocan [21,22].

A su vez, con la aplicación del segundo, se distinguen dos clases de funciones principales, las productivas y las de gestión, las cuales se identifican con dos sistemas básicos, responsables por cada una de ellas, respectivamente: el conducido, que produce los desastres, y el de control o de gestión, que los regula.

### **I.2.a Producción de desastres**

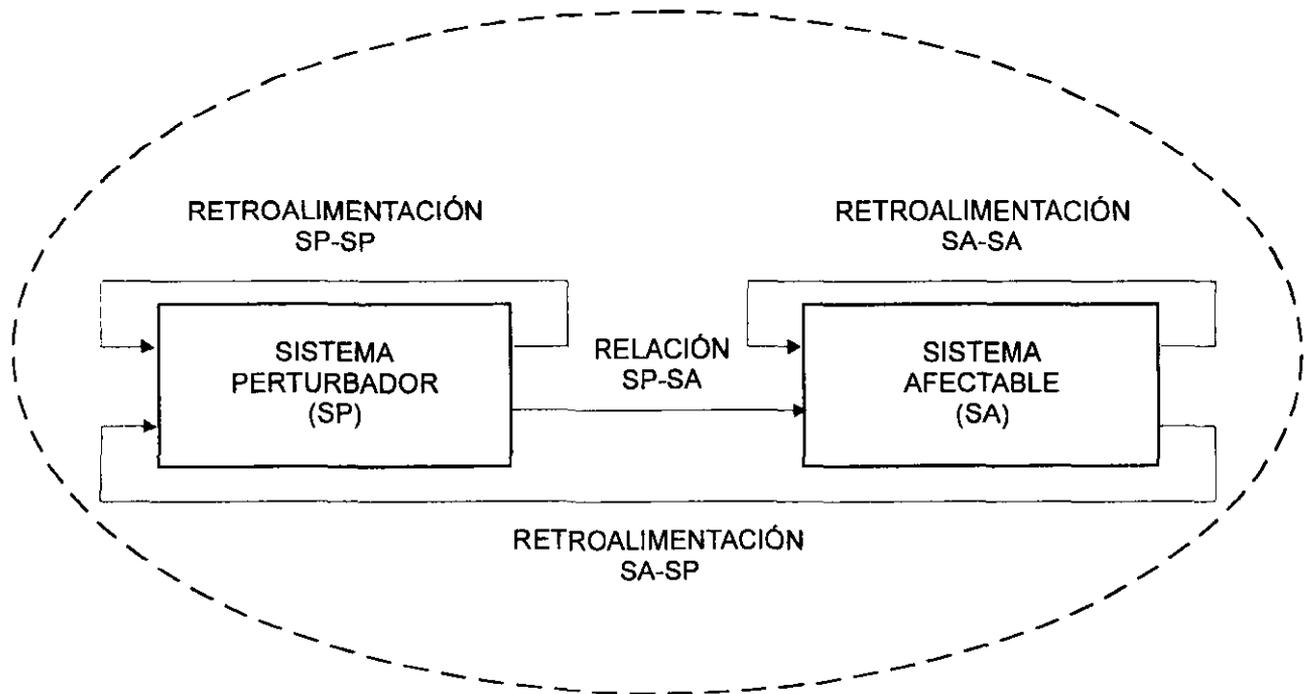
El paradigma sistémico permite determinar los conceptos fundamentales de calamidad y desastre: el primero, como cualquier acontecimiento que desequilibra y puede causar daños a los asentamientos humanos, áreas productivas, medio ambiente, obras civiles y a la población expuesta; el segundo se reserva no sólo para referirse a los estados mismos del daño, sino a todas las consecuencias adversas que se caracterizan por múltiples alteraciones -y hasta rupturas- del orden normal de las relaciones productivas, comerciales, sociales y políticas en la sociedad.

El desastre, en términos generales, se considera como un evento, frecuentemente concentrado en tiempo y espacio, resultado del impacto de la(s) calamidad(es) en el cual la sociedad o una parte de ella sufre severos daños, de gran magnitud y extensión, e incurre en pérdidas para sus miembros, de tal manera que su estructura social y administrativa se desajusta, impidiendo la realización de sus actividades esenciales, afectando el funcionamiento y la operación normal de sus relaciones productivas, comerciales, sociales y políticas, perjudicando crucialmente su capacidad de afrontar y combatir la situación de emergencia [23,24].

A partir de la diferenciación establecida, se pueden identificar dos sistemas interactuantes responsables por la problemática de desastres. Por un lado, el *sistema perturbador* (SP), que corresponde a aquel capaz de generar o producir calamidades y, por el otro, el *sistema afectable* (SA), integrado por el hombre, los bienes, el medio ambiente y los servicios necesarios para su subsistencia, que abarca a cualquier instalación, obra ingenieril, área productiva, ciudad, municipio, estado, país, etc., expuesto a las calamidades, las cuales pueden provocar daños en éste y, consecuentemente, el desastre (Fig. 1.9).

El análisis de las relaciones entre el SP y el SA, muestra que las calamidades como productos del SP están interrelacionadas entre sí, en tal forma que la ocurrencia y características de una pueden verse modificadas -favorecida o inhibida- por otras; por ejemplo, la presencia de un huracán puede provocar inundaciones o interrupción de servicios en las poblaciones cercanas a las costas, agravando los efectos desastrosos; mientras que las lluvias que acompañan a un huracán, pueden disminuir una sequía y propiciar el llenado de presas. Esta interrelación se denomina como la retroalimentación SP-SP.

Asimismo, el estado del *sistema afectable* puede activar o reprimir la producción de calamidades por el SP; por ejemplo, las plagas ocasionadas debido a las malas condiciones sanitarias o, en caso contrario, la prevención de inundaciones a través de la



**Fig. I.9 Interrelación de los sistemas perturbador y afectable.**

anticipada y oportuna construcción de las obras de detención, tales como diques o presas, ilustran el efecto de la otra importante interrelación, llamada la retroalimentación SA-SP.

Finalmente, se observan situaciones cuando el *sistema afectable* influye sobre su propio comportamiento y estado, de tal manera que se agrava o disminuye el desastre, o se abandona o fortalece el estado normal; así, por ejemplo, la interrupción del servicio eléctrico frecuentemente implica la suspensión del abasto de agua potable, con lo que se determina el tercer tipo de interrelación, esto es, la retroalimentación SA-SA.

Estas tres retroalimentaciones, junto con la intervención directa del *sistema perturbador*, forman parte de la estructura básica de las interrelaciones entre el SP y el SA.

### **I.2.b Gestión de desastres**

La producción de los desastres puede disminuirse o frenarse cuando los *sistemas afectable* y *perturbador* descritos en el inciso anterior, así como sus interrelaciones -que producen desastres-, son regulados o controlados (Fig. I.10).

Para lograr el control de desastres surgen dos posibilidades: una, de intervenir en el proceso de producción de las calamidades, con el fin de impedir o disminuir su ocurrencia, y la otra, de cambiar el estado y funcionamiento del *sistema afectable* para disminuir las consecuencias del impacto desastroso (Fig. I.11). La primera corresponde al objetivo de prevención; la segunda, al de mitigación; ambas constituyen el objetivo general de reducción de riesgos o de protección.

Sin embargo, dado que en ocasiones no se puede impedir completamente la ocurrencia de calamidades ni reducir sustancialmente sus consecuencias, es necesario afrontar y combatir las situaciones de emergencia durante los desastres. En este caso, se busca salvar vidas y bienes, proporcionar seguridad, rehabilitar los servicios estratégicos e



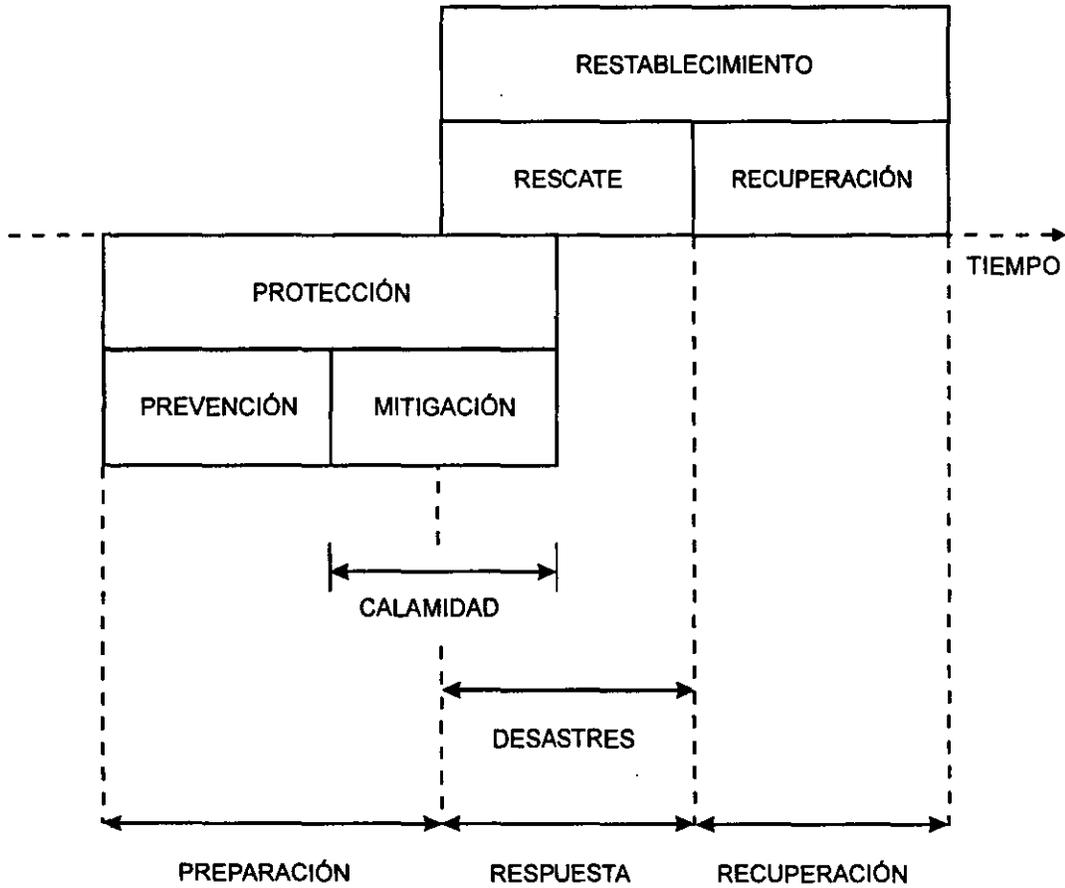
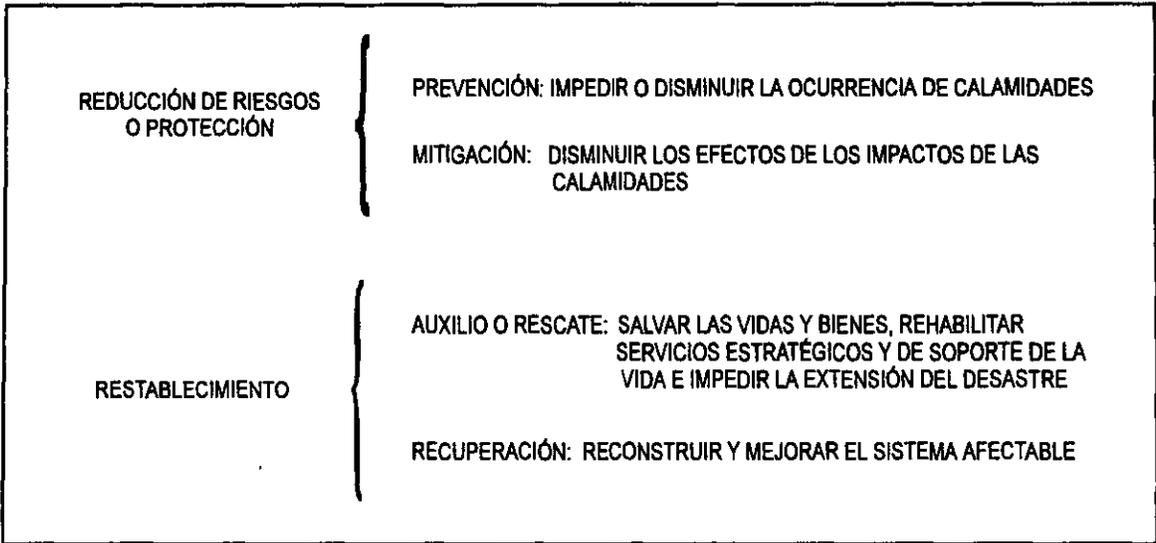


Fig. I.11 Objetivos de control de desastres.

impedir la extensión del desastre, por mencionar algunas facetas que constituyen el objetivo de rescate o auxilio. En la siguiente fase, llamada de retorno, con el eventual mejoramiento de la situación, se trata de reconstruir y mejorar el sistema afectado, planteando el objetivo de recuperación. Ambos se engloban en el objetivo general de restablecimiento.

Para lograr y concretar todos estos objetivos se debe considerar la integración de un tercer sistema al paradigma inicial de desastres que, de acuerdo con las bases metodológicas de la IID y con un enfoque integral, es concebido como un *sistema de gestión (SG)*, cuyo funcionamiento debe contemplar dos aspectos complementarios: la gestión y la organización.

La gestión -conocida también con el término de conducción o, más frecuentemente, como administración- está orientada a realizar el cambio controlado hacia el logro de los objetivos mencionados, apoyándose en la información sobre el estado actual y pasado de los SP y SA, y elaborando pronósticos sobre su futuro comportamiento, a través del monitoreo, previsión, planeación, toma de decisiones y ejecución de una multitud de diversas acciones, organizadas en el tiempo y espacio, tanto antes como durante y después del desastre.

Por su parte, la organización -que se presenta a través de su estructura organizativa- permite el logro de los objetivos planteados en la gestión, a través de la integración, interrelación y coordinación de un conjunto de organismos y órganos existentes\*.

Así, el funcionamiento del *sistema de gestión* requiere contar y realizar un sinúmero de actividades de diversa índole, tanto técnicas como administrativas, económicas, sociales y políticas. Para ello, es importante instrumentar la gestión a través de la planeación, la cual se considera como una herramienta básica dentro del proceso de conducción orientado al

---

\* Encargados de la elaboración y realización de los programas de gestión, que se definen por sus responsabilidades, determinando las funciones y atribuciones relevantes y claramente precisadas, lo que establece una estructura organizativa secuencial y jerárquica. La sola existencia de una estructura organizativa, a pesar de contemplar todas las responsabilidades y atribuciones bien precisadas, por sí misma no asegura el buen desempeño de sus funciones; entonces faltaría el proceso de gestión para sostener su adecuada operación. De manera análoga, se puede enunciar que la gestión pierde su sentido si no existe la organización para realizarla.

cambio dirigido. La descripción de su papel y su estructura se expone en el subcapítulo I.3.

### **I.2.c Estados de un sistema**

Para precisar el concepto de desastre y hacerlo operativo, es importante definirlo como un estado del *sistema afectable* acudiendo a un concepto más general, el de *estado de un sistema*, que se emplea por el Enfoque de Sistemas. El estado constituye una característica global del sistema, que se determina por el conjunto de valores en que se encuentran, en un momento dado, los parámetros relevantes para el funcionamiento, en este caso, del sistema afectable, y que se presenta como un vector en el espacio multidimensional de estados. En este espacio, se distinguen cuatro áreas, correspondientes a estados *normales*, *insuficientes*, *de desastre* y *de retorno*, definidas a continuación:

- El área de estados normales corresponde al conjunto de estados en los cuales el sistema tiene un funcionamiento normal y estable, esto es, cuando el sistema puede lograr sus finalidades.
- El área de estados insuficientes engloba todos aquellos en los cuales el sistema tiene, todavía, un funcionamiento normal, pero presenta una alteración no significativa, producida por agentes internos (vejez, deterioro, etc.) o por externos (falta de suministro, impacto adverso, etc.).
- El área de estados de desastre reúne a los estados en los cuales el funcionamiento del sistema falla, esto es, cuando se presenta una alteración significativa y con tendencia a crecer que no permite al sistema cumplir con sus responsabilidades.
- Finalmente, el área de estados de retorno incluye todos los estados del sistema intermedios entre el área de estados de desastre y el área de estados normales. Se

caracteriza por la disminución de la alteración y la recuperación progresiva del funcionamiento normal del sistema.

Para determinar el área en que se encuentra un sistema, es necesario el conocimiento de los rangos permisibles para cada uno de los parámetros relevantes del mismo, así como el monitoreo de cada uno de éstos.

La transición que se da entre un estado y otro, se presenta gráficamente en la Fig. 1.12, en donde las áreas de estados se presenta con elipses, mientras que las flechas señalan las posibles transiciones de estado. Es importante notar que cada transición implica ciertos cambios de responsabilidades en el proceso de conducción del *sistema de gestión*.

Se distinguen dos tipos de transiciones: imprevistas y controladas. Las primeras ocurren por el propio desarrollo del sistema o como resultado del impacto de las calamidades, esto es, por causas internas o por la intervención del *sistema perturbador*; las segundas se refieren a aquellas que se realizan a través de ciertas actividades específicas del organismo conducente. Las diferentes transiciones son las siguientes:

- Imprevistas:

- N → I, del estado normal al insuficiente,

- N → D, del estado normal al de desastre,

- I → D, del estado insuficiente al de desastre,

- R → D, del estado de retorno al de desastre.

- Controladas:

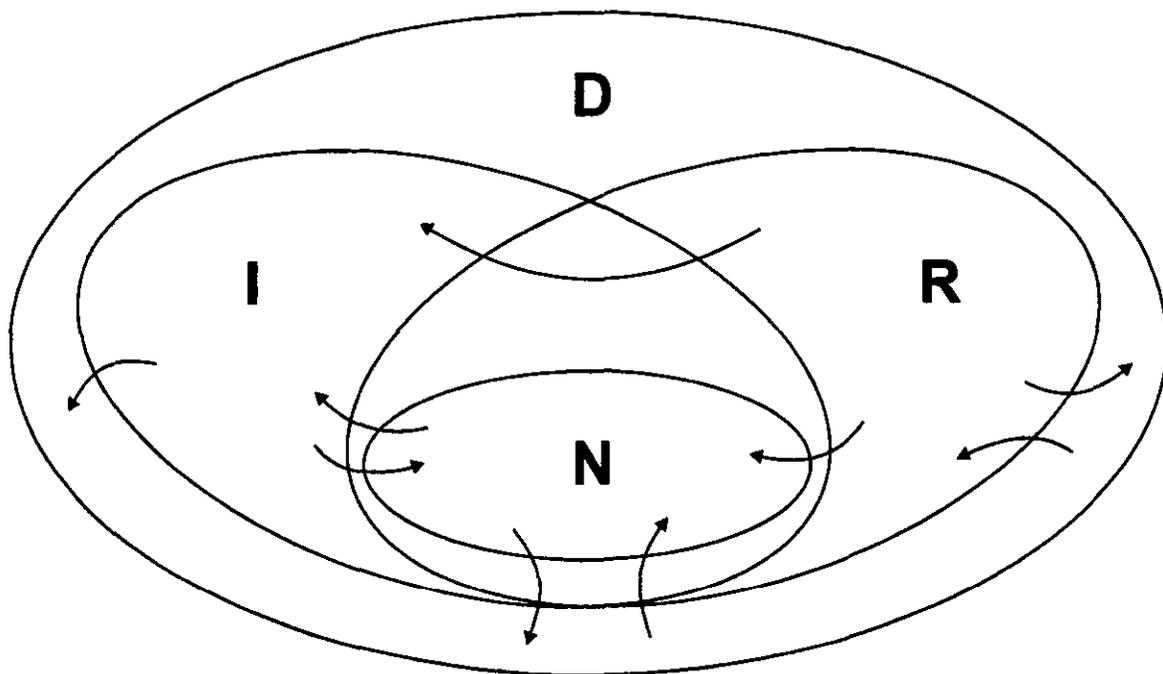
- I → N, del estado insuficiente al normal,

- D → N, del estado de desastre al normal,

- D → R, del estado de desastre al de retorno,

- R → N, del estado de retorno al normal,

- R → I, del estado de retorno al insuficiente.



N = ÁREA DE ESTADOS NORMALES  
I = ÁREA DE ESTADOS INSUFICIENTES  
D = ÁREA DE ESTADOS DE DESASTRE  
R = ÁREA DE ESTADOS DE RETORNO

**Fig. I.12 Transiciones entre las áreas de estados del sistema afectable.**

Como ya se ha mencionado, una de las principales funciones del *sistema de gestión* lo constituye el control de transiciones de un estado a otro del *sistema afectable*, analizadas anteriormente.

Para realizar este control de transiciones, se definen los siguientes estados del propio *sistema de gestión*:

- Cuando el estado del *sistema afectable* es normal, esto es, cuando se realiza su funcionamiento normal y se logran las finalidades del sistema, el sistema de gestión se encuentra en un estado de *gestión normal*.
- La transición del estado del *sistema afectable* al espacio de estados insuficientes y/o cuando llega un aviso sobre la posibilidad de ocurrencia de una calamidad, que por separado o en su conjunto pueden provocar un estado de desastre, el *sistema de gestión* pasa de la gestión normal a otra específica, llamada *alerta*.
- La necesidad de regresar el *sistema afectable* del estado insuficiente al normal, implica la realización de la transición controlada  $I \rightarrow N$ , a través de actividades de *mantenimiento correctivo*.
- La transición del *sistema afectable* al estado de desastre, que implica la alteración del funcionamiento normal, provocado por daños y por fallas en la operación y en los suministros, así como por el cambio de la demanda actual, exige un estado de gestión especial, llamado *emergencia*.
- Cuando el *sistema afectable* se encuentra en el estado de desastre y se declaró la situación de emergencia, se desarrollan las primeras actividades cruciales de auxilio, tales como el salvamento de vidas y bienes, y la recuperación inicial a corto plazo de los servicios de soporte de vida. A través del rescate, se busca la transición controlada  $D \rightarrow R$  para llegar al estado de retorno.

- La transición controlada del estado de retorno del *sistema afectable* al normal,  $R \rightarrow N$ , se realiza por medio de las actividades de *recuperación*, lo que disminuye el estado de emergencia. Existe la posibilidad de la transición directa del estado de desastre al normal  $D \rightarrow N$ , a través de las actividades compuestas de rescate y recuperación, que constituyen las de *restablecimiento*.

Todas estas variantes de los posibles estados del sistema y sus transiciones controladas, que implican estados de gestión relevantes, así como actividades específicas, se integran a continuación:

**Tabla I.1 Relación entre los estados de conducción**

Normal	Normal
Normal con aviso	Alerta
Insuficiente	Alerta
Desastre	Emergencia
Retorno	Emergencia (restringida)

**Tabla I.2 Relación entre las actividades específicas y transiciones**

$I \rightarrow N$	Mantenimiento
$D \rightarrow R$	Rescate
$R \rightarrow N$	Recuperación
$D \rightarrow N$	Restablecimiento

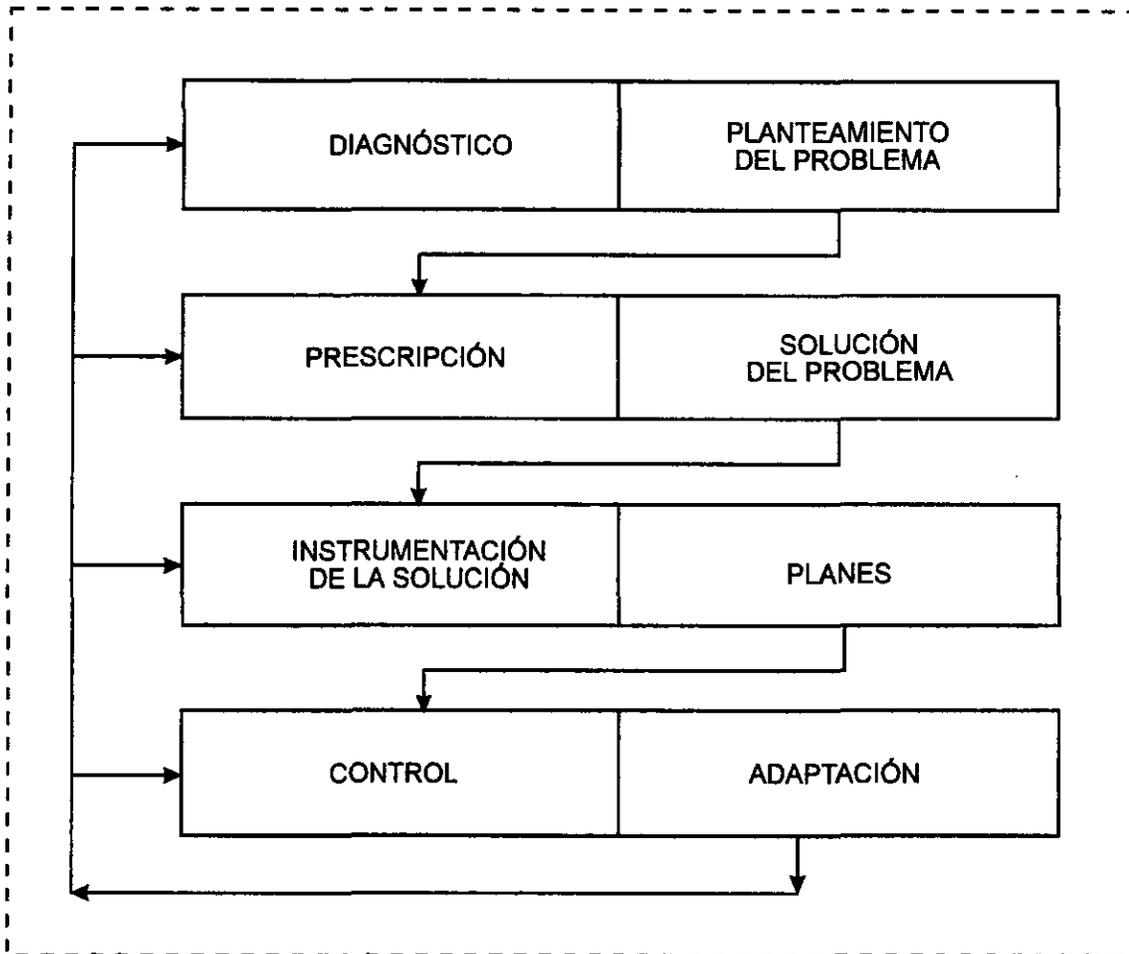
### I.3 ESQUEMA DE PLANEACIÓN

De acuerdo con lo expuesto, la planeación se considera como una actividad de soporte a la toma de decisiones, debido a que visualiza y estudia el objeto conducido; asimismo, define los objetivos del proceso de gestión, así como las actividades para determinar y realizar la trayectoria adecuada para lograrlos. Con esto, la planeación proporciona un

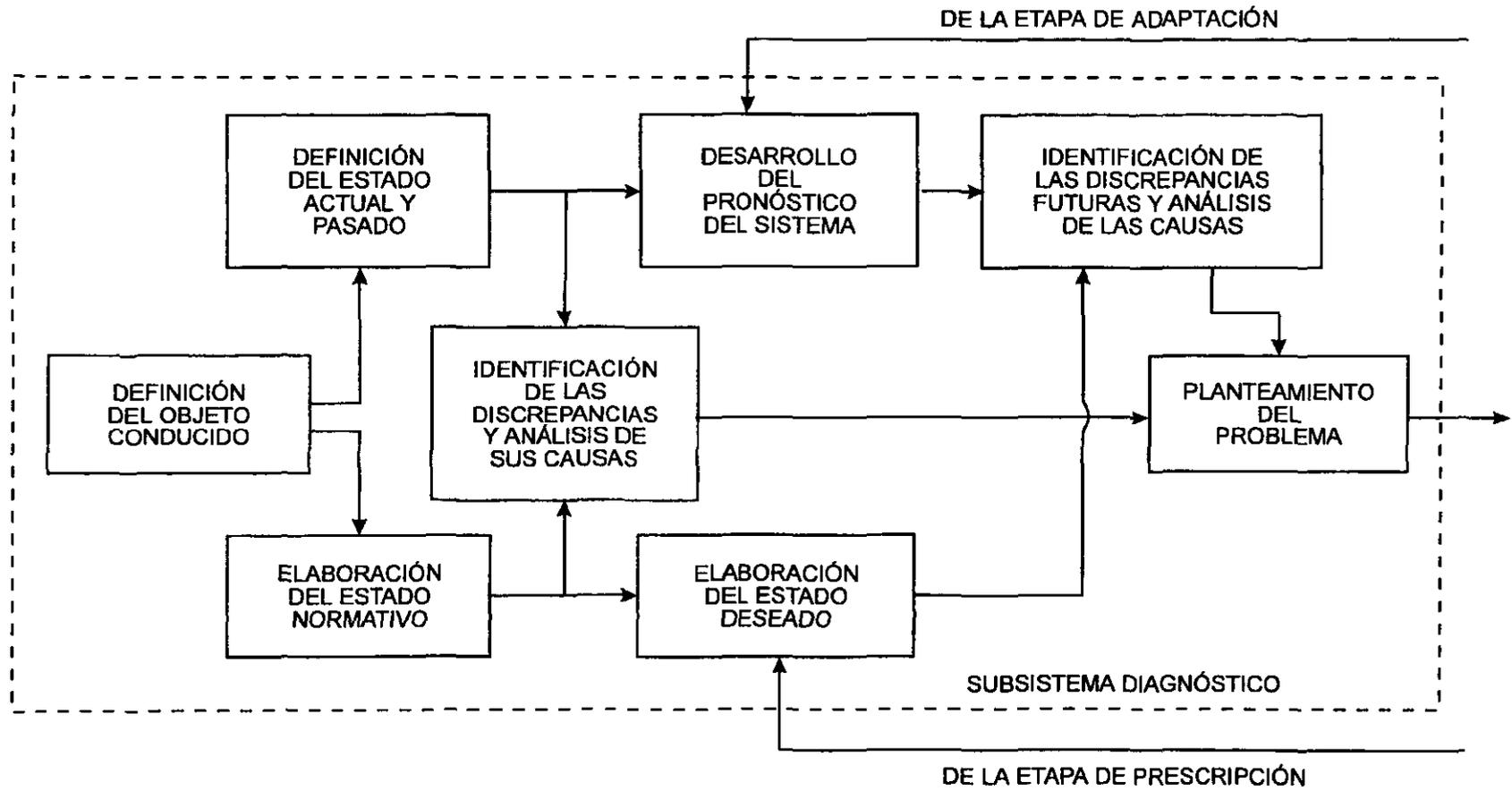
marco metodológico que permite prever los posibles problemas futuros, así como prevenirlos y mitigarlos en caso de su inminente ocurrencia, sin restringirse a situaciones coyunturales y, por ende, parciales, que son características, más bien, de una gestión eminentemente correctiva, más que de una gestión controladora de los problemas.

Visto de esta forma, la planeación, como una metodología general para la identificación y solución de problemas [25], consta de cuatro fases básicas [5] (Fig. I.13):

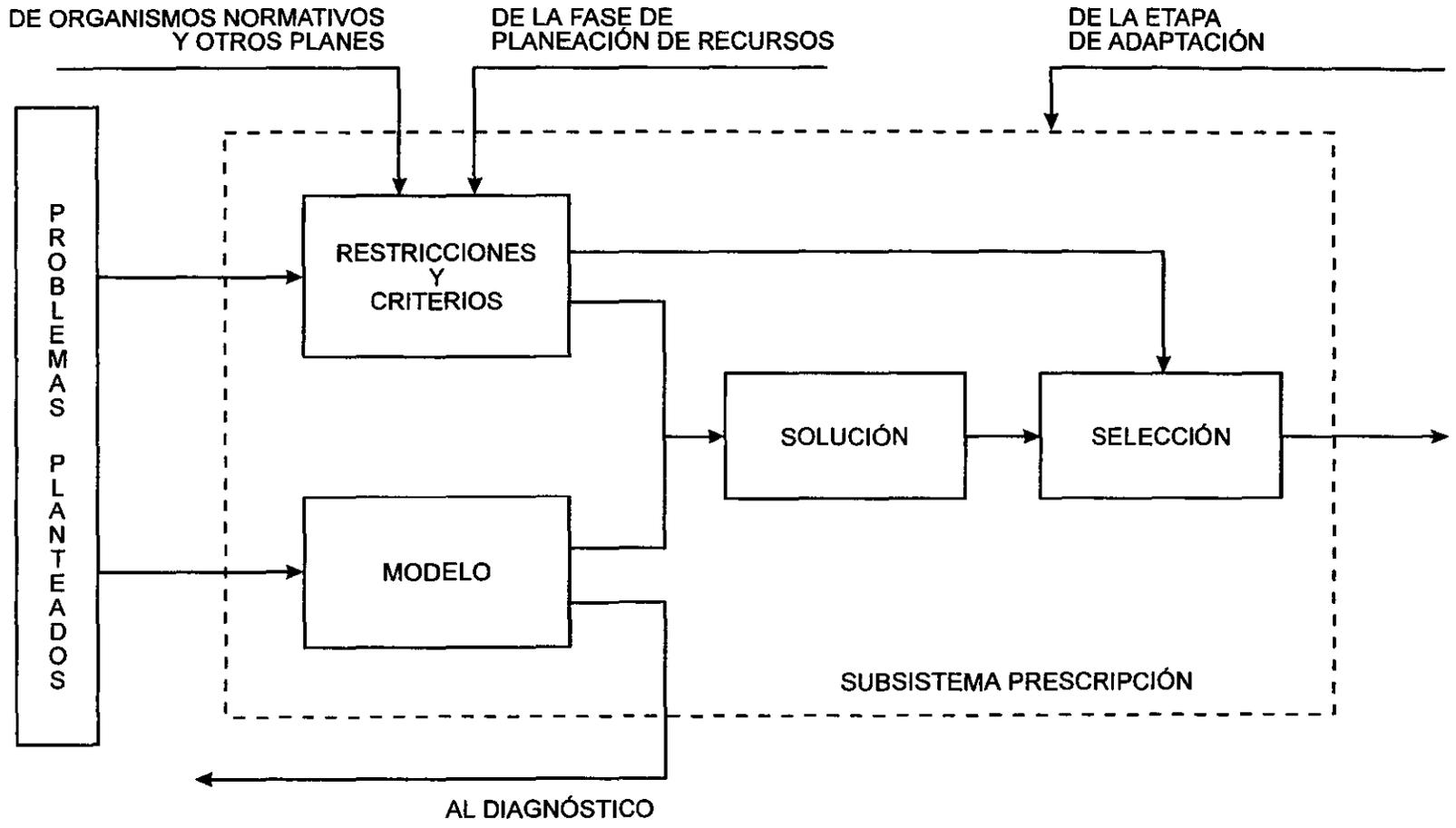
- *Diagnóstico*, que trata de detectar, definir y plantear los problemas que se requieren resolver durante el proceso de gestión (Fig. I.14), considerando que un problema tiene su origen en el impedimento o conflicto entre los diferentes objetivos o funciones del objeto conducido. Se distinguen los siguientes componentes funcionales:
  - ◆ Conceptualización del objeto de estudio como un sistema, a través de la definición de su papel e interrelaciones con otros sistemas en el suprasistema que los contiene, así como de los subsistemas que lo integran.
  - ◆ Conocimiento de la problemática manifestada, por medio del estudio de las discrepancias entre los estados anteriores, el actual y sus proyecciones en futuro con los estados normativos y deseados, considerándolas como fuentes de problemas.
  - ◆ Identificación de los problemas actuales y pronóstico de los futuros con base en el análisis de la problemática detectada.
- *Prescripción*, que busca dar solución al problema planteado, como resultado de la fase del diagnóstico, mediante la elaboración y consecuente análisis de las alternativas factibles, de acuerdo con las correspondientes restricciones o limitaciones, para lograr un estado deseado (Fig. I.15). Se destacan cuatro componentes funcionales, que realizan:



**Fig. I.13 Estructura del proceso de planeación.**

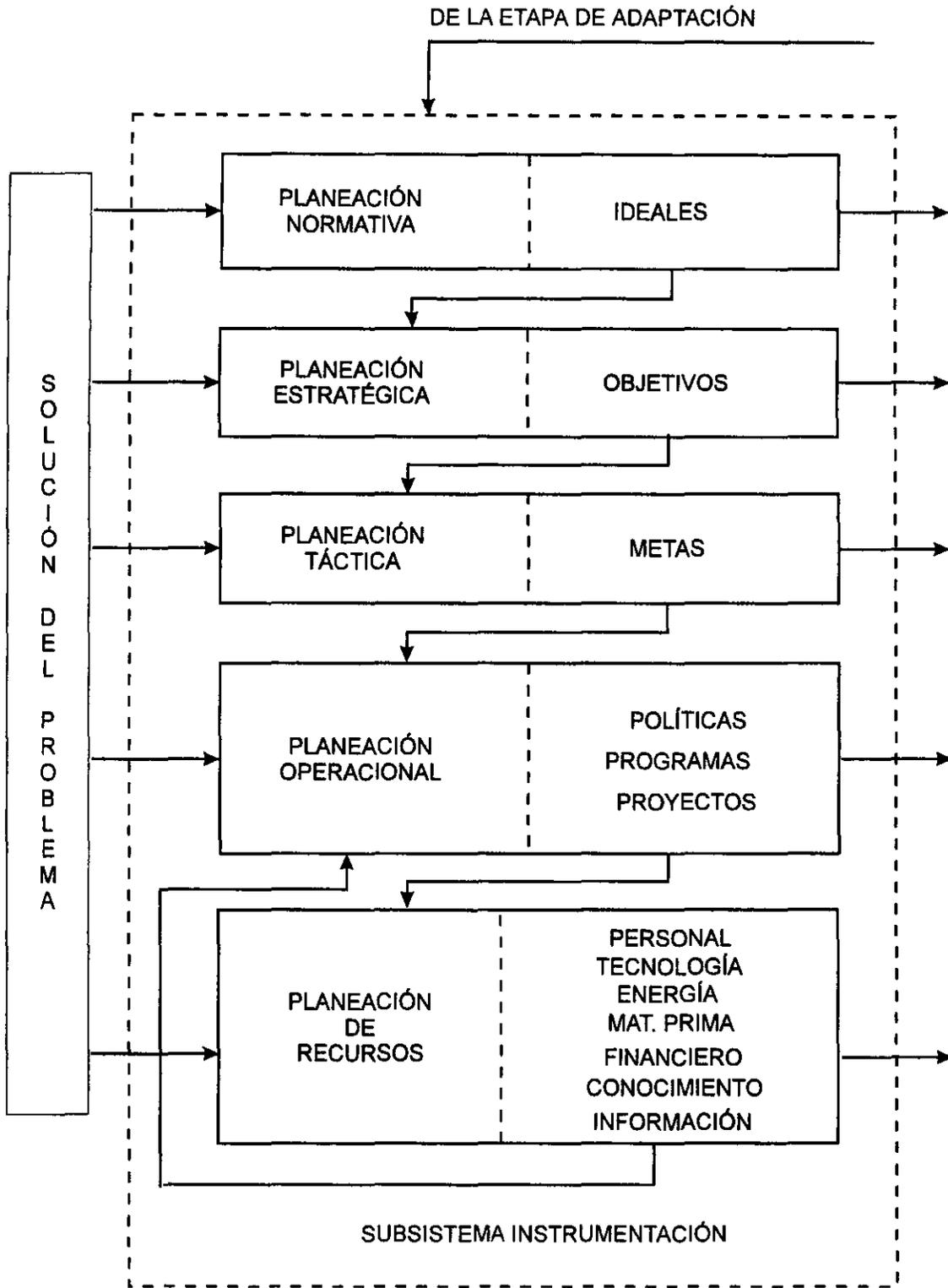


**Fig. I.14 Estructura del diagnóstico.**



**Fig. I.15 Estructura de la prescripción.**

- ◆ Construcción de modelos descriptivos, predictivos y prescriptivos o normativos para obtener y simular soluciones del problema, así como para estimar su eficiencia a través del pronóstico del funcionamiento del sistema.
- ◆ Definición de las distintas restricciones y formulación de los criterios relevantes de su eficiencia.
- ◆ Búsqueda de soluciones factibles.
- ◆ Evaluación de las alternativas de solución, a través de técnicas de optimización y modelado, y selección de las mejores, según los criterios planteados.
- *Instrumentación*, que transforma la solución del problema en un conjunto de elementos específicos que constituyen un programa (Fig. 1.16), tales como objetivos, políticas, estrategias, alcances, subprogramas, tareas, acciones y responsabilidades:
  - ◆ Los objetivos precisan la finalidad que se persigue durante la ejecución del plan.
  - ◆ Las políticas aportan principios y lineamientos para orientar, seleccionar y/o restringir las actividades, con el fin de asegurar su concordancia para el logro de los objetivos.
  - ◆ Las estrategias establecen los cursos de acción, a través del planteamiento de los objetivos específicos.
  - ◆ Los alcances prevén y concretan los resultados esperados a lo largo del proceso de gestión.



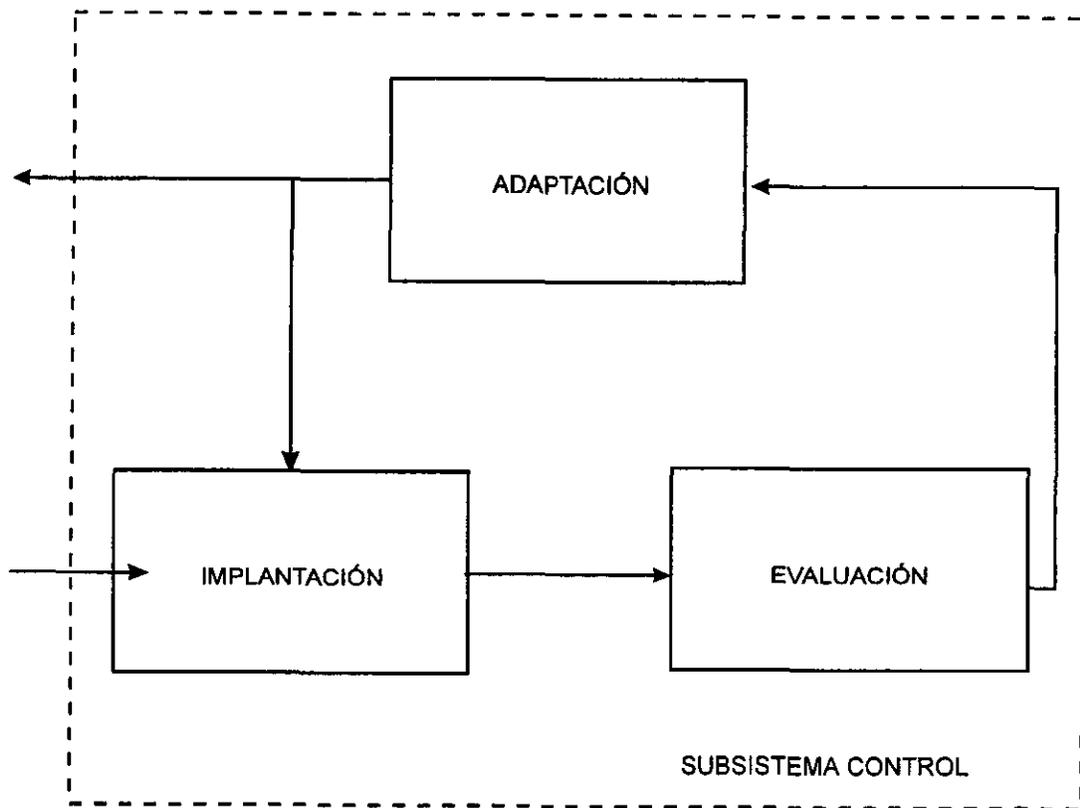
**Fig. I.16 Estructura de la instrumentación de la solución.**

Los subprogramas constituyen las partes de un programa, de acuerdo con los objetivos específicos de una estrategia.

- ◆ Las tareas se identifican como las partes de un subprograma, conforme con las metas tácticas.
- ◆ Las acciones se consideran como los constituyentes de una tarea, de acuerdo con los fines operativos.
- ◆ Las actividades se definen como los elementos principales de una acción.
- ◆ Las responsabilidades determinan los componentes de la estructura organizativa, de acuerdo con las modalidades de su participación en la ejecución de las actividades, acciones, tareas, subprogramas y del programa en su totalidad.

Estos elementos se definen a través de los procedimientos particulares de planeación, organizados en forma jerárquica y sucesiva, en tal modo que se determinan los ideales, por medio de la planeación normativa; los objetivos específicos, por la estratégica; las metas, por la táctica; los medios, por la operacional y la de recursos.

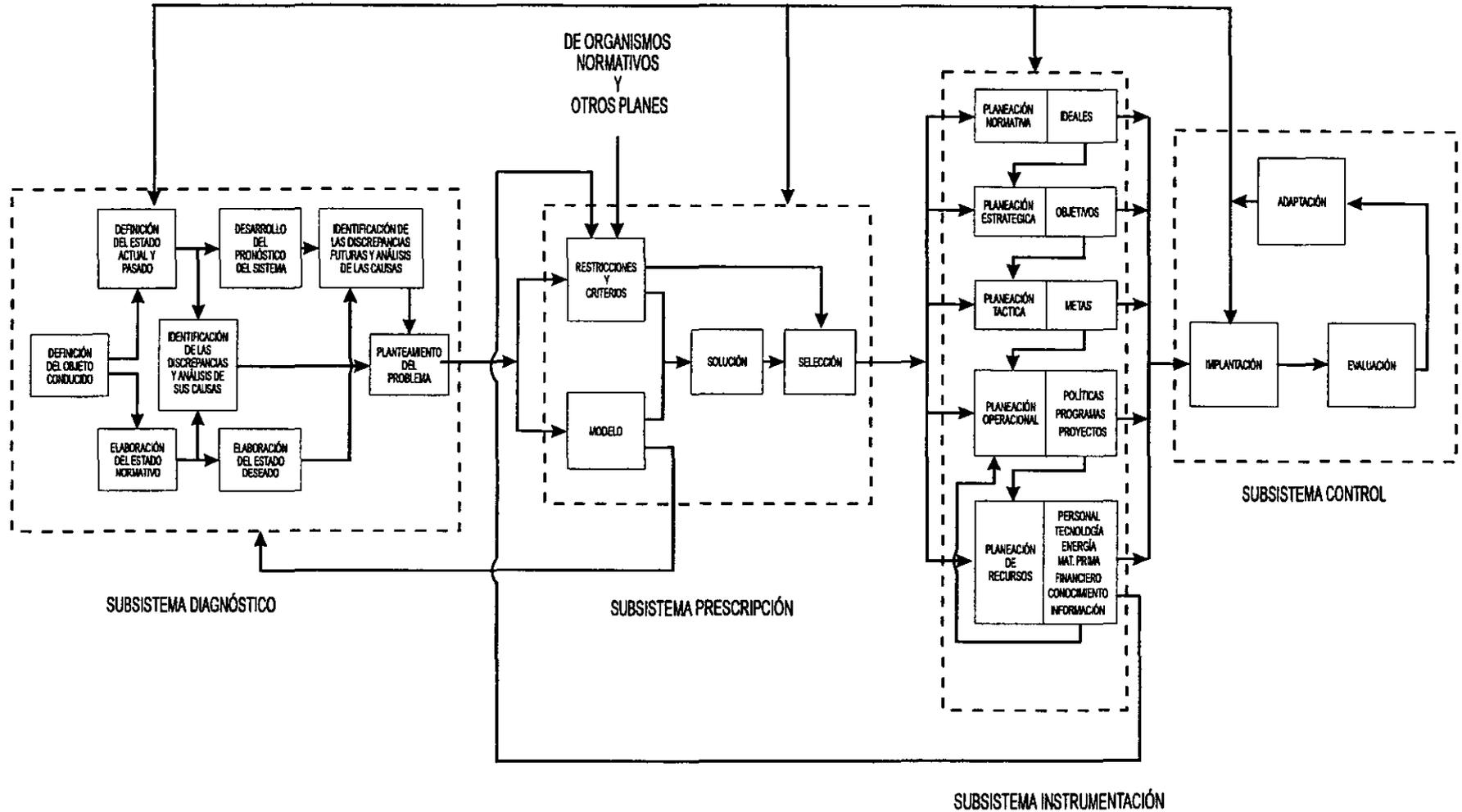
- *Control*, que busca conocer los resultados de la ejecución de los planes para estimar su eficiencia y adaptarlos, según estas estimaciones (Fig. 1.17). Permite, también, detectar los cambios en el entorno de gestión, ocurridos en el transcurso de tiempo, así como los errores o fallas de un plan, con el fin de corregirlo sistemáticamente. Se descompone en:
  - ◆ *Implantación*, como la actividad básica y conjunta de los procesos de planeación y gestión, que consiste en dos partes principales: la planeación de la realización del programa y su ejecución propiamente dicha; la primera corresponde al proceso de planeación y, la otra, al de ejecución.



**Fig. I.17 Estructura del control.**

- ◆ Evaluación de resultados, que permite estimar la eficiencia de los planes en la consecución de sus objetivos y metas, así como la eficacia de los últimos.
  
- ◆ Adaptación, que se encarga de realizar los ajustes y cambios de los resultados en los procesos de planeación y gestión, mediante la retroalimentación de las evaluaciones a las fases anteriores de planeación y revisión de sus contenidos.

Las cuatro etapas descritas forman el proceso general de planeación. Como se observa en la figura I.18, debido a las diversas retroalimentaciones, este proceso no es lineal, lo que permite obtener, a través de los ciclos correspondientes de iteración, los consecuentes niveles de aproximación para identificar los problemas y obtener sus soluciones.



**Fig. I.18 Estructura detallada del proceso de planeación.**

*"Hay mil formas de tirarla y una sola razón para cuidarla, el agua es vida"*

*Lema del Sistema Municipal de Agua potable y Alcantarillado de Guanajuato*

## **CAPÍTULO II**

# **DIAGNÓSTICO COMO FASE SUSTANCIAL DEL PROCESO DE PLANEACIÓN**

Como se destacó en el capítulo anterior, el diagnóstico constituye una de las fases cruciales dentro del proceso de planeación, debido al papel fundamental que representa su adecuado desempeño para la solución de problemas, ya que durante su realización se detectan, definen y plantean los problemas reales, tanto actuales como futuros.

A fin de conocer los problemas que puedan presentar los Sistemas de Abasto de Agua Potable (SAAP) ante fenómenos destructivos -con base en la teoría descrita en el capítulo anterior- el presente capítulo está dedicado a describir una metodología para la elaboración del diagnóstico de los SAAP, proporcionando las herramientas y criterios necesarios para su realización.

Para poder identificar y plantear los problemas, se ha considerado necesario presentar un análisis de la conceptualización de los problemas; al respecto, existe en la literatura un estudio realizado por los investigadores Gelman y Negroe, en el que se analiza la

conceptualización particular de diversos autores sobre el tema, en el cual se expone lo siguiente:

*“Ackoff menciona que los problemas no existen, sino que tan sólo son producto de nuestra imaginación, y que si ellos existieran no tendrían solución; James y Dewey a su vez consideran que los problemas se buscan, que no están dados al tomador de decisiones, que se extraen de estados no estructurados de confusión, -problemática-; Graham señala que los problemas no existen objetivamente sino que constituyen un constructo conceptual que cambia según el conducente. El análisis de las ideas de Ackoff muestra un esquema epistemológico que diferencia dos niveles, uno de los cuales es el real, el de la problemática, y el otro abstracto, el del planteamiento de problemas (Fig. II.1).*

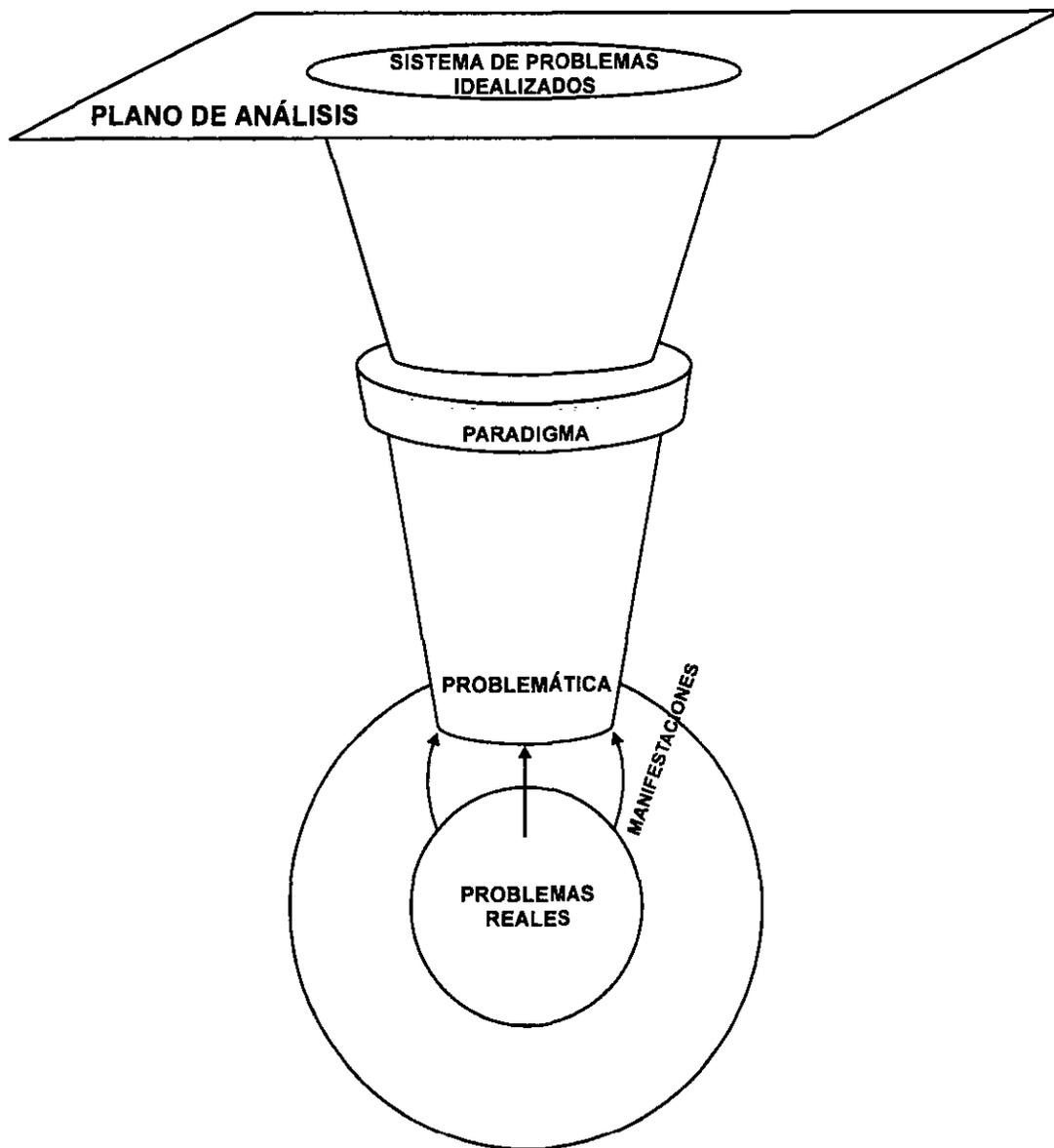
*La consideración de problemas como constructos subjetivos y abstractos no implica la necesidad de negar su estatus ontológico, esto es, su existencia real” [11].*

Así, se llega a considerar que la problemática entendida como “estados no estructurados” de confusión se interpreta como la descripción de fenómenos y manifestaciones de ciertas causas y relaciones profundas, lo que permite distinguir dos tipos de problemas: por un lado, los problemas reales, que existen y se presentan como la problemática, la cual se puede percibir de una manera evidente; y, por otro lado, los problemas idealizados, que surgen como producto de un análisis a dicha problemática y que son representantes de los problemas reales (Fig. II.2).

Para poder identificar estas dos clases de problemas, primero es necesario conocer qué es lo que se desea estudiar, para tener una idea clara del objeto de estudio a través de la definición de sus objetivos y funciones. Una vez realizado lo anterior, se debe elaborar un estudio práctico para reconocer el estado en el que se encuentra dicho objeto de estudio, a fin de conocer los conflictos, discrepancias e impedimentos existentes para el logro de los objetivos y funciones mencionados, tomando en cuenta que estas deficiencias frecuentemente son el origen de los problemas.



**Fig. II.1 Procedimiento de construcción del sistema de problemas según Ackoff.**



**Fig. II.2 Esquema de distinción de problemas reales y planteados.**

De esta manera, el proceso de planteamiento de problemas de los SAAP ante desastres, que consiste en la identificación de las deficiencias ocurridas en dichos sistemas, se logra a través de la realización de dos etapas básicas de estudio (Fig. II.3):

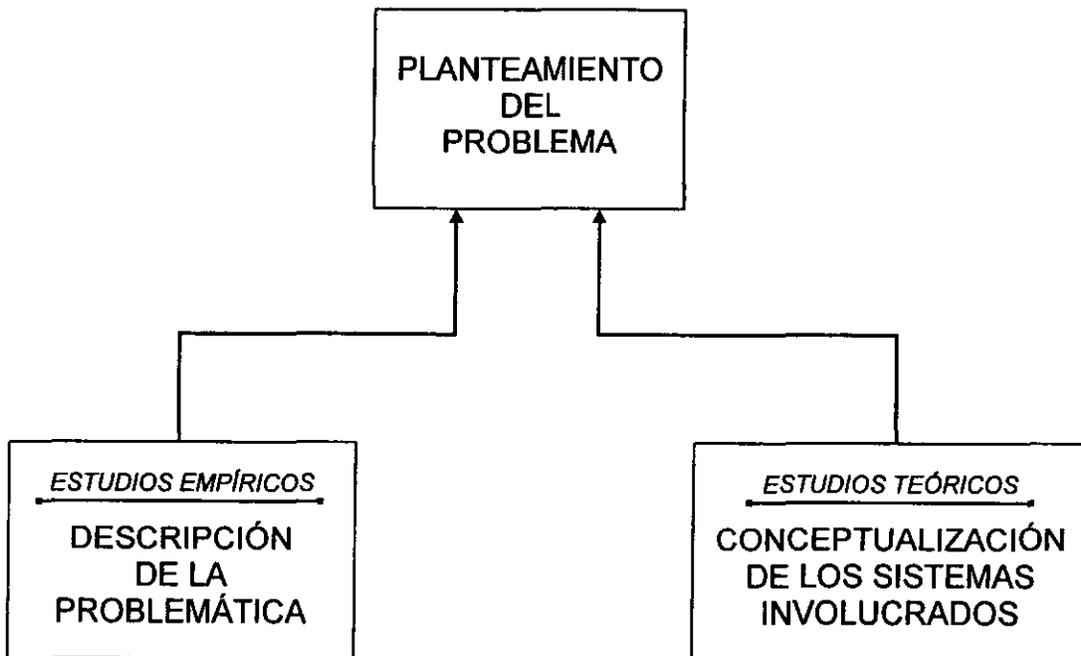
- *Estudio teórico*, en el que debe conceptualizarse el objeto de estudio como un sistema, definiendo objetivos y funciones, así como los conflictos que impidan el logro de éstos.
- *Estudio empírico*, en el que debe conocerse el estado actual del sistema para identificar su problemática a través de la observación y descripción del estado, mantenimiento y operación del sistema.

Es importante tomar en cuenta que estos dos estudios están interrelacionados, ya que por un lado, mediante el desarrollo del estudio teórico se identifican todos y cada uno de los integrantes del SAAP en cuestión, lo que permite enfocar el estudio empírico; y por el otro, los estudios empíricos proporcionan información para mejorar el estudio teórico, esto es, conceptualizar el SAAP más detalladamente. Asimismo, durante su desarrollo se debe generar la terminología adecuada partiendo de la empleada en el mismo SAAP o de la existente en la literatura, adecuándola y/o uniformizándola de acuerdo a los requerimientos del estudio.

A continuación, con el fin de determinar los problemas que enfrenta un SAAP, se presenta un conjunto de criterios y procedimientos encaminados a definir el objeto de estudio en el estudio teórico (subcapítulo II.1), así como para definir la problemática en el estudio empírico (subcapítulo II.2).

## **II.1 DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO EN EL CASO DE SISTEMAS DE ABASTO DE AGUA POTABLE (SAAP)**

Para conceptualizar a los SAAP es necesario acudir a la metodología expuesta en el capítulo anterior, teniendo en primer término que, a través de la aplicación del paradigma



**Fig. II.3** Heurística del planteamiento de problemas.

sistémico se conceptualiza el objeto de estudio como un sistema -un sistema es un conjunto de cosas [6] con ciertos objetivos y funciones encaminadas a cumplir con un fin común-.

En segundo término, con base en el paradigma cibernético, se distinguen las funciones productivas y las funciones de gestión. Estas funciones están íntimamente ligadas, sin embargo, debido a su magnitud y complejidad, se decidió analizar en esta tesis únicamente la parte productiva debido a su interés ingenieril, sin embargo, es importante tomar en cuenta que los resultados obtenidos se utilizaron -en el proyecto de investigación del cual emana dicha tesis- en la parte dedicada a la gestión.

Así, la función principal del *sistema productivo* de un SAAP es la transmisión de agua a partir de uno o varios puntos de entrada al sistema, hasta uno o varios de salida, suministrándola en bloque en cantidad suficiente y calidad adecuada en forma continua a un consumidor -el cual puede ser un particular, una dependencia u otro sistema-. Esto se logra a través de la integración de diversas obras civiles, eléctricas y mecánicas, principalmente.

Lo anterior puede compararse con la estructura de los sistemas de flujo continuo [26], la cual toma en cuenta la continuidad del flujo y la interrelación entre sus componentes. Es por ello, que en la sección II.1.a se presenta el paradigma de los sistemas de flujo continuo.

Posteriormente, en la sección II.1.b, se determina en su totalidad la estructura funcional de los SAAP, utilizando los procedimientos del método de construcción sistémica por composición y por descomposición -descrito en el subcapítulo 1.1-, de manera complementaria.

### **II.1.a Paradigma de los sistemas de flujo continuo.**

Haciendo un análisis entre los diferentes tipos de sistemas, los sistemas de flujo se caracterizan principalmente por la interconexión existente entre sus componentes para la transmisión de un flujo, así como una dispersión espacial del sistema.

De acuerdo al carácter de la continuidad del flujo a lo largo del recorrido del sistema, pueden clasificarse en:

- a) Flujo continuo, cuando éste se mantiene en constante movimiento (salvo en casos donde se requiera almacenamiento), como ocurre en los sistemas de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, etc.
- b) Flujo intermitente, cuando el flujo no presenta una continuidad en alguna o varias fase del sistema, como es el caso del transporte de pasajeros, bienes materiales, etc.

Los sistemas de flujo continuo tienen una estructura funcional común de acuerdo a las actividades que realizan, integrados por las siguientes funciones: captación, traslado, transformación, regulación y entrega.

Por otro lado, de acuerdo con la naturaleza del flujo que manejan se clasifican principalmente en:

- a) Fluidos; como es el caso del manejo de agua, gases, etc.
- b) Transporte; como puede ser el traslado de pasajeros o de carga (de bienes materiales y animales).
- c) Información y energía; como el sistema eléctrico, las comunicaciones, etc.

Otra clasificación importante la constituye la relación espacial entre el lugar de entrega del insumo y el lugar de su uso:

- a) Entrega directa; cuando la entrega y el uso están situados en el mismo lugar, como ocurre en los sistemas de agua potable o de telefonía, en los cuales, el punto final del mismo sistema está situado con el usuario.
- b) Entrega indirecta; cuando la entrega y el usuario tienen distinta ubicación espacial, como ocurre en el caso de un usuario que debe trasladarse hasta una gasolinera para obtener el combustible.

Por lo anterior, es posible establecer que un SAAP puede ser considerado como un sistema de flujo continuo ya que transporta un fluido (agua) de manera continua, a través de un grupo de instalaciones dispersas e interconectadas y, finalmente, entrega el agua directamente al usuario.

**II.1.b Determinación de la estructura funcional de Sistemas de Abasto de Agua Potable**

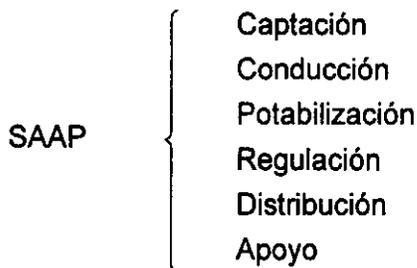
De acuerdo con la estructura de los sistemas de flujo continuo, en cualquier SAAP se distinguen los siguientes cinco subsistemas que corresponden a sendas funciones descritas en la sección anterior, a saber: la función de captación corresponde al subsistema de captación; la de traslado corresponde al subsistema de conducción; la transformación al de potabilización; la regulación al subsistema de regulación; y, por último, la de entrega al de distribución (Tabla II.1).

**Tabla II.1 Estructura de los SAAP, interpretada a través de los sistemas de flujo continuo**

	<b>Captación</b>	
	Traslado	Conducción
<b>SUBSISTEMA</b>	Transformación	Potabilización
	Regulación	Regulación
	Entrega	Distribución

Como se mencionó anteriormente, los estudios empíricos contribuyen al enriquecimiento de los estudios teóricos; en este caso, durante un análisis realizado al Sistema de Abasto de Agua Potable Cutzamala, se observó que en los SAAP, además de los cinco subsistemas descritos anteriormente, existe un subsistema adicional que proporciona apoyo a los demás subsistemas, que si bien no forma parte explícita del proceso de abasto de agua potable es indispensable para que el sistema lleve a cabo sus funciones.

De esta manera, el primer nivel de desagregación funcional de un SAAP se integra por seis subsistemas, los cuales se presentan a continuación:



El siguiente paso, de acuerdo con los cuatro niveles de desagregación funcional, obtenidos a través del empleo del procedimiento de construcción por descomposición del enfoque sistémico (descrito en la sección 1.1.a), consiste en describir los subsistemas identificados a través de sus partes -consideradas como las distintas variantes que tienen estos subsistemas para cumplir su función-, cuya operación, por separado y en conjunto, permiten el funcionamiento del subsistema al que pertenecen.

A continuación se analiza bajo éste enfoque las partes que constituyen cada subsistema.

- La captación, encargada de reunir el agua aprovechable, se realiza a través de dos partes: por un lado, las presas o captación superficial constituida por obras civiles y, por otro, los pozos de extracción o captación subterránea, formados por diversas obras civiles y electromecánicas.

Captación { Presa  
Pozo de extracción

- La conducción, constituida por el conjunto de conductos y accesorios, destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de la captación hasta un lugar determinado, se realiza a través de dos partes básicas: los acueductos, como medio para conducir el agua, y las plantas de bombeo que permiten, en su caso, vencer una altura requerida.

Conducción { Acueducto  
Planta de bombeo

- La potabilización, constituida por las instalaciones indispensables para llevar a cabo todos los procesos necesarios para la transformación de agua cruda en agua potable, es decir, brindarle al agua las características de estética y de calidad sanitaria necesarias para hacerla apta para su consumo, se realiza a través de la parte denominada planta potabilizadora.

Potabilización { Planta potabilizadora

- La regulación, dependiendo de su función, puede cambiar las condiciones hidráulicas durante la conducción o almacenar una cantidad considerable de agua anticipadamente para asegurar el volumen de agua requerido, llevándose a cabo por el cárcamo regulador y el depósito, respectivamente.

Regulación { Cárcamo regulador  
Depósito

- La distribución, que debe brindarse a los consumidores cuándo y dónde lo requieran dentro de la zona de servicio, varía según su destino final (un consumidor puede ser un particular, una dependencia u otro sistema),

definiéndose las siguientes partes: estación distribuidora y conexión -con otro sistema-.

Distribución { Estación distribuidora  
Conexión

- Finalmente, el apoyo, que es indispensable para que otros subsistemas realicen su proceso, proporcionándoles los medios correspondientes, está integrado por cuatro partes fundamentales: subestación eléctrica, que permite satisfacer las necesidades de electricidad; infraestructura, que brinda el soporte físico para un adecuado funcionamiento de los diversos subsistemas; abasto, que asegura el suministro de las sustancias, refacciones y materiales necesarios para realizar los procesos productivos y las reparaciones y; personal del sistema productivo, que es el requerido para operar, vigilar y mantener en buen estado el sistema.

Apoyo { Subestación eléctrica  
Infraestructura  
Abasto  
Personal del sistema productivo

Utilizando nuevamente el procedimiento de construcción por descomposición del enfoque sistémico, para el siguiente nivel de desagregación funcional, se desglosa cada parte en diversos componentes que, a través de su operación e interrelaciones, aseguran la realización de la función de la parte a la que pertenecen. Bajo éste enfoque, a continuación se analiza cada componente por separado.

- Para las presas se conceptualizan dos componentes básicos: embalse, que cumple la función de captar y contener el agua y, desfogue, cuya función es dar salida al agua contenida en el embalse.

Presa {  
Embalse  
Desfogue

- Para el pozo de extracción se conceptualizan dos componentes que, al funcionar de manera integrada, permiten la extracción de agua del subsuelo hacia la superficie: obra civil y equipo electromecánico.

Pozo de extracción {  
Obra civil  
Equipo electromecánico

- Para el acueducto, cuyos componentes son los medios que los SAAP disponen para conducir el agua, consta de: canal, tubería, túnel, túnel falso y transición. Este último permite la conexión entre dos componentes del acueducto.

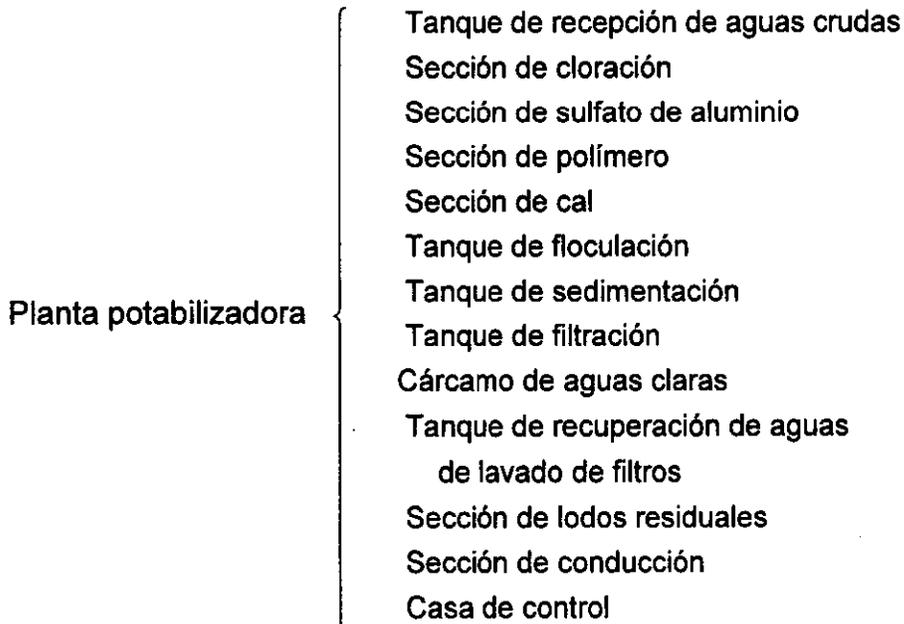
Acueducto {  
Canal  
Tubería  
Túnel  
Túnel falso  
Transición

- Para la planta de bombeo, se consideraron cuatro componentes básicos que permiten succionar y ejercer la presión al agua, conducirla, cuidar las condiciones hidráulicas y controlar el proceso: equipo de bombeo, tubería, torre de protección y casa de control, respectivamente.

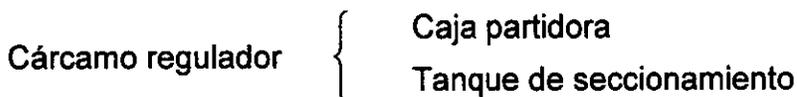
Planta de bombeo {  
Torre de protección  
Equipo de bombeo  
Tubería  
Casa de control

- Para la planta potabilizadora se distinguen trece componentes, cuyo funcionamiento integrado, permiten realizar el proceso de potabilización: el tanque

de recepción de aguas crudas; las secciones de cloración, de sulfato de aluminio, de polímero y de cal; los tanques de floculación, de sedimentación y de filtración; el cárcamo de aguas claras; el tanque de recuperación de aguas de lavado de filtros; las secciones de lodos residuales y de conducción; y, la casa de control.



- Para el cárcamo regulador se distinguen dos componentes que permiten regular el flujo y cambiar las condiciones hidráulicas durante la conducción del agua: caja partidora y tanque de seccionamiento.



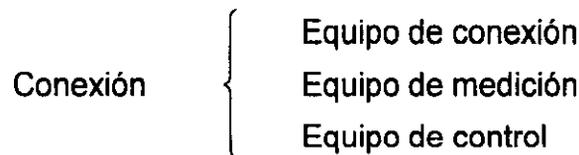
- Para el depósito, los componentes que satisfacen la función de mantener el suministro de agua por un cierto período de tiempo cuando ha sucedido una suspensión temporal de las actividades del sistema, son dos: vaso y tanque de almacenamiento.



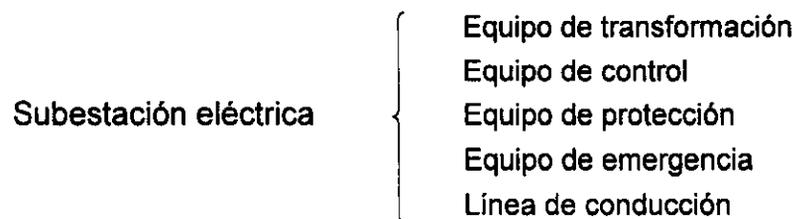
- Para la estación distribuidora se conceptualizan dos componentes básicos para llevar a cabo su función de distribuir el flujo de agua a los ramales del sistema: la estación misma y el equipo de control necesario para regular la salida del flujo.



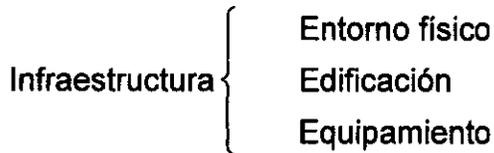
- Para la conexión se conceptualizan tres componentes: el equipo de conexión, el de medición y el de control. El primero permite conectar al propio sistema con otros y, los dos últimos, permiten medir y controlar el flujo necesario en la distribución solicitada al sistema.



- Para la subestación eléctrica se conceptualizan cinco componentes que permiten captar el flujo eléctrico proveniente de un sistema eléctrico -externo- y suministrarlo al Sistema de Abasto de Agua Potable: los equipos de transformación, de control, de protección y de emergencia, así como la línea de conducción.



- Para la infraestructura, que permite albergar al propio sistema, salvaguardarlo de agentes externos y brindar el equipo de apoyo necesario, se conceptualizan tres componentes: entorno físico, edificación y equipamiento.



- Para el abasto se conceptualizan dos componentes: abasto para operación y el abasto para conservación, los cuales se encargan de suministrar al sistema lo necesario para su funcionamiento y mantenimiento, respectivamente.



- Para el personal del sistema productivo se distinguen tres componentes: personal operativo, de conservación y de protección que, como su nombre lo indica, se encargan de operar, conservar y proteger el sistema, respectivamente.



El cuarto nivel de desagregación funcional del enfoque sistémico corresponde a los elementos, considerados como el conjunto de cosas cuya existencia es necesaria para que el componente al que pertenecen, realice su función. Debido a que los SAAP están integrados por 48 componentes, en éste nivel se consideró dar como ejemplo únicamente los elementos del componente equipo de bombeo, sin embargo, la lista completa se muestra en la tabla A.1 del Anexo.

- Para el componente equipo de bombeo, cuya función es permitir elevar el agua de un nivel bajo a otro más alto, se conceptualizan los siguientes elementos: motor, bomba, válvula y equipo de enfriamiento.

Equipo de bombeo

{  
 Motor  
 Bomba  
 Válvula  
 Equipo de enfriamiento

Este procedimiento se utiliza hasta llegar a un nivel de desagregación funcional deseado, según convenga al tipo de problema. Es por ello, que a los integrantes del último nivel se les considera como la unidad mínima indivisible de descomposición, ya que los integrantes de un nivel inferior no resultarían relevantes. El funcionamiento de los integrantes de este último nivel, es indispensable para el logro de las funciones del nivel superior al que pertenecen.

La consideración anterior tiene un carácter relativo, ya que depende de los alcances del estudio. Cabe mencionar que durante la realización de la segunda etapa del proyecto "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala: Diseño del Sistema de Soporte Informático" se vio la necesidad de desarrollar la desagregación funcional hasta el nivel pieza\*. Así, para el caso del elemento "obra de toma" se integra de: torre de toma, puente de acceso, caseta de operación, rejilla, compuerta, conducto y desagüe.

La determinación de la estructura funcional de los SAAP está apoyada en los estudios empíricos, que se describen en el inciso II.2.a.

## II.2 PROCEDIMIENTO PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Con el fin de determinar la problemática actual que enfrenta un SAAP, en lo relacionado con su confiabilidad ante desastres, es necesario conocer el estado del funcionamiento de los sistemas involucrados, a través de la elaboración de estudios empíricos (de campo), basados en el marco conceptual del capítulo I, así como en la conceptualización de la

---

\* En la elaboración de esta tesis no se contempla la segunda etapa de dicho proyecto.

estructura funcional del sistema, realizada en el subcapítulo anterior, con el objeto de poder definir los parámetros e identificar las variables que garanticen tanto la seguridad de las obras civiles que conforman este tipo de sistemas, como de la calidad y cantidad del agua que suministran.

Sin embargo, conjuntamente durante la elaboración de los estudios de campo, se debe verificar y adecuar la descomposición conceptual del SAAP realizada en el estudio teórico, complementándose iterativamente a lo largo de su realización.

A continuación, se expone el proceso para la recopilación de la información y de su análisis posterior.

### **II.2.a Recopilación de información**

El proceso de adquisición de información es una de las etapas cruciales para la identificación y planteamiento de problemas, ya que de su adecuada realización depende el éxito en la obtención de datos suficientes y representativos de la problemática existente que permitan emitir un acertado diagnóstico del estado actual del SAAP.

Debido a la complejidad y magnitud de los SAAP, en cuanto a la gran cantidad de elementos que lo integran (descritos en el subcapítulo II.1.b) y a su distribución dentro de un amplio territorio, se plantea la necesidad de reconocer cada uno de los elementos del sistema y saber el estado en el que se encuentran tanto en sus aspectos físicos como en su funcionamiento, en forma sistemática, a través de las siguientes etapas interrelacionadas:

- 1) Búsqueda documental.
- 2) Observaciones y mediciones en campo.
- 3) Entrevistas y encuestas.

La *búsqueda documental* consiste en la identificación de diversos documentos, tanto internos como externos al SAAP, que proporcionen información adecuada tales como normas, requerimientos y especificaciones, por mencionar algunos, que debe cumplir tanto el sistema en su totalidad como cada una de sus instalaciones, a fin de establecer los criterios para el desarrollo del estudio.

Como documentos internos, se consideran todos aquellos que han sido generados y/o editados por el propio sistema o bien, por la dependencia a la que pertenece, se destacan documentos como: reportes, informes, publicaciones, bitácoras, archivos tanto de proyecto como constructivos y de operación, inventarios, etc. Como documentos externos, se consideran todos aquellos cuyo contenido informativo sea de utilidad para la realización de los estudios, tales como: libros, publicaciones, revistas especializadas, memorias de congresos y simposios, etc., que se refieran ya sea al SAAP en cuestión, a otro sistema en particular, o bien, a los Sistemas de Abasto de Agua Potable, de manera genérica\*.

Las *observaciones y mediciones en campo* se realizan a través de estudios o visitas de campo con el fin de observar y conocer los diversos componentes del SAAP, sus características topográficas, ambientales y, en forma especial, las condiciones relevantes de las instalaciones, procesos productivos y dispositivos de seguridad, así como realizar un levantamiento fotográfico, tomar muestras para análisis y/o ensaye, entre otros. Asimismo, las observaciones y mediciones se realizan no solo para el sistema en cuestión sino también para sistemas de los que depende o dependen de él.

Sin embargo, la complejidad de este tipo de sistemas impone la necesidad de planear adecuadamente cada una de las visitas, debido a que su preparación y realización implican una inversión considerable en recursos financieros, así como en tiempo y esfuerzo del personal relacionado con las mismas. Por ello, la planeación de las visitas debe prever la preparación de agendas para establecer los sitios de inspección con sus

---

\* En la época en que el GID realizó el proyecto "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala (etapa 1)", la búsqueda documental se realizó de manera tradicional. Sin embargo, en la actualidad se cuenta con herramientas valiosas como la red internacional de cómputo denominada INTERNET.

rutas de acceso, a través del empleo de mapas y croquis; determinar las personas que deben ser entrevistadas; elaborar listas o relaciones de documentación e información técnica por solicitar.

La realización de *entrevistas* y *encuestas* implica la relación personal y directa con personas diversas, tanto internas como externas al Sistema. Para ello, antes de su realización deben contemplarse y precisarse aspectos como: el tipo de información que se espera obtener, la identificación de posibles personas que puedan proporcionar información, la preparación de guiones y la definición de los objetivos o finalidades de cada entrevista.

Debe considerarse que el tipo de información requerida por lo general establece el perfil o la especialidad de las posibles personas que pueden proporcionarla, ayudando a identificarlas adecuadamente. Sin embargo, es posible realizar un proceso inverso, cuando se conoce a personas que por sus puestos deben poseer información valiosas para el estudio.

Para la realización de las entrevistas se deben elaborar guiones, que integren una secuencia de temas y preguntas tanto generales como específicas orientadas con cada una de las personas a entrevistar, indicando el objetivo y alcances de la misma

Asimismo, deben planearse adecuadamente, considerando y respetando jerarquías y protocolos tanto para solicitar las entrevistas como durante su desarrollo, siendo aconsejable que las entrevistas se lleven a cabo con todo rigor y formalidad. Sin embargo, estas deben ser lo suficientemente flexibles para obtener tanto la información prevista como de los temas importantes no previstos en los guiones y que puedan surgir durante su realización, por lo que es aconsejable ahondar en ellos, ya que pueden obtenerse datos relevantes para el estudio.

El desarrollo de las tres etapas descritas -*búsqueda documental; las observaciones y mediciones en campo; y las entrevistas y encuestas*-, requiere del previo establecimiento

y empleo de los procedimientos a utilizarse para asegurar la captación de la información recopilada, así como facilitar su conservación, manejo y su posterior análisis, principalmente, de la obtenida durante las observaciones y mediciones en campo, así como en las entrevistas y encuestas.

Estos procedimientos pueden auxiliarse de diversos medios y herramientas tales como: el diseño de formatos que faciliten la recopilación de datos; el uso de grabaciones de audio y el empleo de medios gráficos como fotografías y/o videograbaciones que permitan sustentar las observaciones; así como la utilización de computadoras portátiles que cuenten con bases de datos pertinentes para almacenar y analizar la información recopilada durante los estudios de campo; por mencionar algunos. Todo lo anterior, debe estar orientado a contar con información fidedigna y oportuna.

Dada la importancia de contar con una adecuada organización de la información, es conveniente destacar el beneficio que brindan las bases de datos para este tipo de estudios, ya que facilita el almacenamiento y posterior proceso de análisis de la información. Para ello, es conveniente buscar alternativas de software especializados en bases de datos, estudiar sus alcances, beneficios y limitaciones que lleven a seleccionar el más adecuado a las necesidades del estudio. Las bases deben ser diseñadas o, en su caso, adaptadas de tal forma, que permitan llevar a cabo la organización y clasificación de la información de acuerdo con los tipos de deficiencias detectadas, el sitio de ocurrencia, el tipo de problema, su posible consecuencia, etc., de acuerdo a los requerimientos y etapas del estudio.

## **II.2.b Análisis de la información**

El proceso de análisis de la información, generada y recopilada a través de los estudios empíricos e integrado en bases de datos, permite conocer la problemática que enfrenta el SAAP, interpretarla y detectar los conflictos que impidan lograr los objetivos y funciones del sistema, a fin de proponer soluciones acertadas y efectivas.

Para ello, es necesaria la formación de los parámetros y criterios empleados para analizar la información, a través de la metodología presentada en el capítulo I, así como la conceptualización del sistema productivo, junto con su descripción general -presentados en el subcapítulo anterior-, los cuales sirven de base para la realización de éste análisis.

Con base en lo expuesto en el subcapítulo II.1, es importante tomar en cuenta que el proceso de la entrega de agua en bloque, así como su calidad dependen de la adecuada y oportuna realización de un sinnúmero de procesos y actividades que buscan asegurar tanto su eficiente operación y mantenimiento, como su desarrollo y control.

Como ya se ha mencionado anteriormente, deben conocerse ciertos parámetros que se establecen a través de normas y teoría, para contrastarlos con las variables identificadas durante los estudios de campo y que alteran el estado normal del funcionamiento del sistema.

Estos parámetros pueden ser de diseño, constructivos, operativos, de conservación, de vigilancia, geológicos, ambientales y hasta socio-políticos; las cuales contribuyen al incremento o disminución de la susceptibilidad al daño en los SAAP ante fenómenos destructivos, esto es, alteran la vulnerabilidad del sistema, facilitando su cambio de un estado normal a uno de desastre o impidiendo su retorno desde un estado insuficiente a un estado normal. Cabe mencionar, que la vulnerabilidad de un sistema está relacionada de manera inversa con la confiabilidad de su funcionamiento, por lo que, el sistema más vulnerable tiene un funcionamiento con menos grado de confiabilidad y, de manera análoga, el sistema menos vulnerable tiene un funcionamiento con mayor grado de confiabilidad.

En consecuencia, debe considerarse la normatividad a la cual tiene que apegarse un SAAP -misma que ha sido prevista durante la recopilación-, esto es, las normas, requerimientos y especificaciones técnicas que debe cumplir tanto el sistema en su

totalidad como cada una de las instalaciones y elementos que lo conforman, para poder detectar las manifestaciones directas o indirectas de las alteraciones o deficiencias.

Es conveniente, elaborar fichas de las observaciones realizadas que integren la descripción de las deficiencias encontradas, apoyándolas con imágenes fotográficas o esquemas de las mismas que permitan apoyar los problemas detectados y, a la vez, *sirvan de base para la elaboración de estudios futuros.*

Cabe mencionar, que durante el proceso de análisis, pueden identificarse ciertos problemas que, por su relevancia, deben ser atendidos de manera inmediata, debido a que pueden inducir un estado de desastre en el SAAP. Por lo que es necesario informar sobre las situaciones irregulares de manera inmediata antes de concluir por completo la elaboración del diagnóstico.

La solución a este tipo de problemas puede llevarse a cabo a través de la generación de sugerencias y programas específicos de acción a corto, mediano y largo plazo, según se requiera.

*“Utiliza toda el agua que necesites...  
¡Pero ni una gota más!”*

*Lema de la Comisión Nacional del Agua*

## **CAPÍTULO III**

### **APLICACIÓN: EL SISTEMA CUTZAMALA**

Con la finalidad de situar el estudio en el contexto del Sistema Cutzamala, en este capítulo se expone, inicialmente, su descripción (subcapítulo III.1), y se aplica posteriormente la metodología descrita en los capítulos anteriores para presentar la estructura funcional del Sistema (subcapítulo III.2), así como para desarrollar y analizar la problemática detectada (subcapítulo III.3).

Es importante tomar en cuenta que durante el desarrollo del Proyecto General de investigación “Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala”, realizado para la GAVM, se detectaron algunos problemas que requerían de atención inmediata.

Por ello, a pesar de no contemplarse, en la etapa de diagnóstico, la búsqueda de soluciones pertinentes, se tuvo que desarrollar [18,27] tanto el procedimiento para la elaboración de sugerencias, como las propias propuestas para evitar las situaciones de emergencia, optándose por presentar estos resultados en el subcapítulo III.4.

### III.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

Para abastecer de agua potable a la población de la Ciudad de México, hacia fines del siglo pasado se contaba con más de 1,100 pozos someros localizados en la ciudad, este número se fue incrementando por la perforación de pozos profundos municipales y de pozos particulares [28].

En los años cincuenta, ante el acelerado hundimiento del subsuelo de la Ciudad de México, se suspendieron los permisos para perforar pozos particulares y se cancelaron muchos pozos municipales ubicados en el centro de la ciudad. Para sustituir el caudal de los pozos clausurados y satisfacer la creciente demanda de agua potable, en 1951 se inauguró el Sistema del Río Lerma constituido por 234 pozos ubicados en el Estado de México [28].

De 1974 a 75 se extrajeron, del Sistema del Río Lerma, los máximos caudales, alrededor de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  [28], pero debido al abatimiento de los niveles freáticos y la consecuente disminución en los volúmenes extraídos, así como la dotación de un caudal para realizar el riego agrícola en la zona del valle del Lerma, que es la zona de extracción, el gasto recibido por el Distrito Federal se ha ido reduciendo\*.

Para 1982 existían 199 pozos municipales y 538 pozos particulares. En su conjunto, y aunado a otras fuentes de abastecimiento del propio Valle de México, suman  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Debido al crecimiento de la población de la Ciudad de México y su zona conurbada durante la década de los setenta, surge la necesidad de abastecer de agua a la ciudad de fuentes aledañas situadas en el sur del Distrito Federal y en el norte, ya en el estado de México, motivo por el cual en 1972 se crea la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), adscrita a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), encargándose de operar cinco sistemas de pozos con una aportación de  $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$  a la

---

\* Para 1982 se redujo la extracción a  $9.4 \text{ m}^3/\text{s}$  y para 1997 a  $5.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ciudad de México, además del caudal entregado a las poblaciones asentadas en el Estado de México.

Para ese mismo año, 1972, la CAVM inicia los estudios para abastecer a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) de agua potable proveniente de las cuencas Libres-Oriental, Tula-Taxhimay, Alto y Bajo Tecolutla, Alto y Bajo Amacuzac y Alto Cutzamala [29].

Para finales de la década de los setenta, el suministro de agua a la Ciudad de México, proveniente de la extracción de agua del valle de México, así como de las fuentes externas aledañas, es cada vez más insuficiente, por lo cual la CAVM decide acudir a fuentes externas lejanas, determinando, con base en los estudios realizados desde 1972, que la cuenca alta del río Cutzamala, en el Estado de México, disponía de las mejores condiciones en cuanto a calidad del agua y caudales excedentes, que sólo se requería del cambio de uso de generación eléctrica a suministro de agua potable.

Es así que se decide la construcción del Sistema de Abasto de Agua Potable Cutzamala, iniciando su construcción en 1976. Su ejecución se planea en tres etapas consecutivas, inaugurándose la primera de ellas en 1982, entrando en operación la segunda y tercera etapas en 1985 y 1995, respectivamente, y quedando en la actualidad configurado el Sistema como se describe a continuación\*, según datos obtenidos en las referencias [28,29,30,31].

Las aguas que se generan en la cuenca del río Cutzamala, se captan en los vasos de las presas Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo, Colorines, Ixtapan, Del Bosque y Tuxpan (Tabla III.1). Los gastos aprovechables en Villa Victoria y Valle de Bravo son debidos a cuencas propias. Por lo que respecta a Colorines, recibe agua proveniente de la presa Del Bosque -y sus filtraciones- y de la presa Tuxpan. En su conjunto, las siete presas proporcionan al Sistema un gasto medio de 19 m<sup>3</sup>/s.

---

\* La relatoria se hará conforme al orden de los subsistemas presentados en la estructura funcional de los SAAP (inciso II.1.b).

**Tabla III.1 Presas del Sistema Cutzamala**

Villa Victoria	Estado de México	Cutzamala	4	186.3
Valle de Bravo	Estado de México	Melacatepec	6	394.4
Chilesdo	Estado de México	Cutzamala	1	1.5
Colerines	Estado de México	Ixtapan	*	1.5
Ixtapa del Oro	Estado de México	Ixtapan	*	0.5
Del Bosque	Michoacán	Susupuato	*	202.4
Tuxpan	Michoacán	Tuzantla	*	5.0

\* En su conjunto suministran al sistema 8 m<sup>3</sup>/s.

El Sistema Cutzamala cuenta con un acueducto cuya longitud supera los 250 kilómetros, de los cuales 133.8 km realizan la conducción de agua cruda desde las presas hasta la Planta Potabilizadora y, a partir de este punto hasta su entrega en la ZMCM, 117 km realizan la conducción de agua potable (Tabla III.2).

**Tabla III.2 Desarrollo del acueducto del Sistema Cutzamala**

Agua cruda	133.8
Agua potable	117.0
<b>Total</b>	<b>250.8</b>

La conducción del agua cruda se realiza a través de 77.7 km de acueducto entre las presas Tuxpan (que es el punto más lejano del Sistema con relación a la ZMCM) y Valle de Bravo; 28.8 kilómetros entre la presa Valle de Bravo y la Planta Potabilizadora "Los Berros" (de los cuales 18.2 km corresponden a la tubería de presión de las plantas 2, 3 y 4, 7.5 km al canal a cielo abierto "Donato Guerra" y 3.1 km al túnel "Agua Escondida"); de la presa Chilesdo a la Planta Potabilizadora 15.3 kilómetros de tubería; y de la presa Villa Victoria a la Planta Potabilizadora a través del canal "Héctor Martínez de Meza" de 12 kilómetros de longitud (Tabla III.3).

**Tabla III.3 Desarrollo de la conducción de agua cruda**

Presa Tuxpan-Presa Valle de Bravo	77.7
Presa Valle de Bravo- Planta Potabilizadora	28.8
Presa Chilesdo-Planta Potabilizadora	15.3
Presa Villa Victoria-Planta Potabilizadora	12.0
<b>Total</b>	<b>133.8</b>

La conducción del agua potabilizada inicia en la Planta Potabilizadora, realizándose a través de 77 km de tubería de concreto; 16 km del túnel "Analco-San José", donde se ubica la lumbrera "Dos Ríos" que realiza la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y al Distrito Federal, a través de los túneles "Ramal Norte" de 12.5 kilómetros y "Ramal Sur" de 11.5 kilómetros, respectivamente (Tabla III.4).

**Tabla III.4 Desarrollo de la conducción de agua potable**

Planta Potabilizadora-Túnel "Analco-San José"	77.0
Túnel "Analco San José"	16.0
Ramal Norte	12.5
Ramal Sur	11.5
<b>Total</b>	<b>117.0</b>

Debido a que las cuencas de las presas antes citadas se localizan por debajo del nivel de la Ciudad de México, así como a la orografía de la región en la que se asienta el Sistema, fue necesaria la construcción de seis plantas de bombeo (Tabla III.5) para vencer los desniveles del terreno, como se muestra en la figura III.1.

**Tabla III.5 Características del equipo de bombeo**

Número de bombas	5	6	6	6	9	3
Gasto máximo (m <sup>3</sup> /s)	20	24	24	24	29.1	5.1
Altura que vence (m)	157.00	122.00	350.40	350.00	174.20	213.20
Potencia (kW)	6,931	5,370	15,391	15,391	10,631	3,815
Revoluciones por minuto	1,200	1,200	1,200	1,200	1,800	1,800

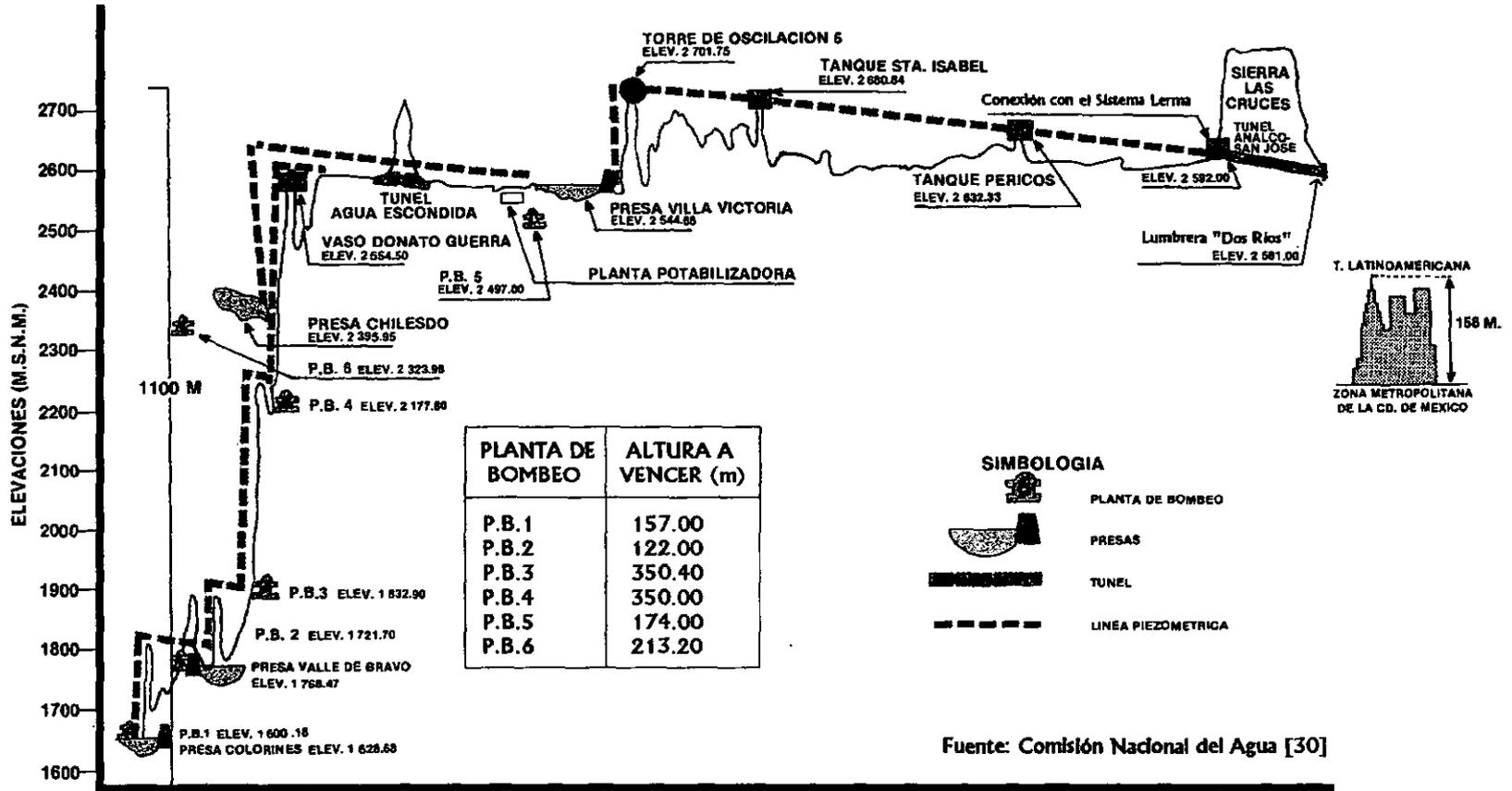


Fig. III.1 Perfil del Sistema Cutzamala

Es así que, en el tramo comprendido entre las Presas Colorines y Valle de Bravo, se construyó la Planta de Bombeo 1, con una capacidad instalada para suministrar al Sistema  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  y vencer una altura de 157 metros.

En el tramo comprendido entre la Presa Valle de Bravo y la Planta Potabilizadora, se construyeron las Plantas de Bombeo 2, 3, y 4 (las cuales operan en forma de cascada), con capacidad instalada para brindar un gasto de  $24 \text{ m}^3/\text{s}$  y vencer desniveles de 122, 350.4 y 350 metros, respectivamente.

Por su parte, al inicio de la conducción del agua potabilizada, final del proceso de la Planta Potabilizadora, se construyó la Planta de Bombeo 5, con una capacidad instalada de  $29.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , previendo futuras ampliaciones del Sistema, elevando el agua 174.2 metros.

Finalmente, en el tramo correspondiente entre la Presa Chilesdo y la Planta Potabilizadora se construyó la Planta de Bombeo 6, cuya capacidad instalada proporciona al Sistema  $5.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , venciendo 213.2 metros de altura.

Cada planta forma parte de un módulo que tiene además una torre de sumergencia y una torre de oscilación; la primera garantiza la sumergencia de las bombas y el volumen necesario por tiempo de respuesta para arranque y paro, la segunda se construyó con la finalidad de disminuir las sobrepresiones originadas por fenómenos transitorios.

La Planta Potabilizadora, construida en el municipio Los Berros del Estado de México, cuya operación es continua las 24 horas del día, está compuesta por un tanque receptor de aguas crudas, los canales Parshall para medición y dosificación de reactivos químicos, seis módulos de potabilización con capacidad de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  cada uno, y un cárcamo receptor de aguas claras con capacidad de  $48 \text{ m}^3$ , que funciona como tanque de sumergencia de la Planta de Bombeo 5, así como un laboratorio para realizar los análisis físicos, químicos y bacteriológicos, además de sistemas de control y operación computarizados, garantizando así, el cumplimiento de la normatividad vigente para la calidad del agua

potable establecida por el sector salud a través de sus procesos de clarificación, filtración y desinfección.

La capacidad instalada de la planta es de 24 m<sup>3</sup>/s, con un gasto promedio de 19 m<sup>3</sup>/s, por lo que se concibe como la mayor planta potabilizadora del país y un modelo en su tipo.

Con la finalidad de regular el régimen y cambiar las condiciones hidráulicas durante la conducción, se construyeron el Cárcamo Regulador "Donato Guerra", para efectuar el cambio de régimen de bombeo a gravedad, -el cual se ubica al inicio del canal del mismo nombre-, y los tanques de seccionamiento "Santa Isabel" y "Pericos", para disminuir la presión hidráulica en la tubería, los cuales se ubican a 17 y 53 km, respectivamente, de la Planta de Bombeo 5.

Cabe mencionar, que la tercera etapa del Sistema contempla contar con un vaso de almacenamiento denominado "Donato Guerra", con una capacidad de 770,000 m<sup>3</sup>, para mantener el funcionamiento de la Planta Potabilizadora en caso de suspensión temporal del caudal proveniente de Valle de Bravo y Colorines. De igual manera, contempla el tanque de almacenamiento "Pericos", con capacidad de 200,000 m<sup>3</sup>, con la finalidad continuar el suministro de agua potable a la ZMCM, en caso de suspensión temporal en la operación de la Planta Potabilizadora y/o de la Planta de Bombeo 5.

Para realizar la dotación de agua potable a los municipios del Estado de México y a la Ciudad de México, se construyó la estructura denominada Estación Distribuidora "Dos Ríos". Asimismo, el sistema cuenta con dos conexiones para dotar de agua potable a otros sistemas, la primera ubicada en el Tanque Pericos, para el sistema de agua potable de la Ciudad de Toluca, y la segunda en el cruce del Sistema Lerma, por medio de la cual puede suministrar el flujo de agua a la Ciudad de México.

Para cada una de las seis plantas de bombeo, se construyó una subestación eléctrica, con la finalidad de reducir la tensión eléctrica de 115,000 volts a 13,000 volts, mediante

dos transformadores en cada una de ellas\* , que proporcionan la energía necesaria para la operación de los motores del equipo de bombeo.

Cabe mencionar que la Subestación Eléctrica de la Planta de Bombeo 5, también proporciona la energía necesaria para la operación de los equipos eléctricos de la Planta Potabilizadora.

### **III.2 Estructura funcional del Sistema Cutzamala**

Como se mencionó en el capítulo anterior, una de las primeras tareas a realizar es la definición del objeto de estudio. Esto se logra mediante la determinación de los objetivos y funciones de los SAAP.

Para el caso concreto del proyecto de investigación denominado “Estudio para mejorar la confiabilidad del Sistema Cutzamala”, una de las primeras tareas, realizadas por los que suscriben esta tesis, consistió en la determinación de la estructura funcional del Sistema Cutzamala a través del reconocimiento de su sistema productivo -considerado como aquel que permite el logro del objetivo principal del sistema - (inciso III.2.a).

Otra de las tareas realizadas, de manera simultánea para complementar la definición del objeto de estudio, consistió en realizar una descripción geográfica del Sistema Cutzamala, con la finalidad de apoyar los estudios de la primera etapa del proyecto antes mencionado, así como de posteriores estudios (inciso III.2.b).

#### **III.2.a Conceptualización del sistema productivo**

Con base en la determinación de la estructura funcional de los SAAP expuesta en el capítulo anterior, a continuación se presenta el reconocimiento del sistema productivo del

---

\* La energía eléctrica utilizada por todo el Sistema (2,280 millones de kW/hr/año) es similar a la que consume una ciudad de más de un millón de habitantes [30].

Cutzamala, a través de la determinación de su estructura en subsistemas, partes, componentes y elementos, conforme a los cuatro niveles de desagregación funcional (inciso I.1.a) obtenidos con base en el empleo del procedimiento de construcción por descomposición del enfoque sistémico, descritos en el capítulo I.

- El primer nivel está integrado por seis subsistemas: captación, conducción, potabilización, regulación, distribución y apoyo, conceptualizados a través del paradigma de los sistemas de flujo continuo. El sexto, a pesar de no ser parte explícita de los sistemas de flujo continuo, es necesario para que el Sistema Cutzamala realice el proceso de abasto de agua potable. Por tal motivo, el subsistema de apoyo se conceptualizó utilizando el paradigma del enfoque sistémico.
- El segundo nivel queda integrado por doce partes, consideradas como las distintas variantes que tienen los subsistemas para cumplir su función y distribuidas en los distintos subsistemas\*, como se presenta en la tabla III.6.

**Tabla III.6 Desglose de los subsistemas y partes del Sistema Cutzamala**

Subsistemas	Partes
Captación	Presa
Conducción	Acueducto
Potabilización	Planta de Bombeo
Regulación	Planta Potabilizadora
Distribución	Cárcamo Regulador
	Depósito
Apoyo	Estación Distribuidora
	Conexión
	Subestación Eléctrica
	Infraestructura
	Abasto
	Personal del Sistema Productivo

- El tercer nivel se integra por cuarenta y seis componentes que, a través de su operación e interrelaciones, aseguran la realización de la función del subsistema. Su integración en las partes se presenta en la tabla III.7.

\* Cabe notar que en este nivel no se mencionó a la parte denominada pozos de extracción -conceptualizada para los SAAP-, debido a que el Sistema Cutzamala no realiza la función de captación a través de dicho componente.

**Tabla III.7 Partes y componentes del Sistema Cutzamala**

<b>Presa</b>	Embalse Desfogue
<b>Acueducto</b>	Canal Tubería Túnel Túnel Falso Transición
<b>Planta de Bombeo</b>	Torre de Protección Equipo de Bombero Tubería Casa de Control
<b>Planta Potabilizadora</b>	Tanque de Recepción de Aguas Crudas Sección de Cloración Sección de Sulfato de Aluminio Sección de Polímero Sección de Cal Tanque de Floculación Tanque de Sedimentación Tanque de Filtración Cárcamo de Aguas Claras Tanque de Recuperación de Aguas de Lavado de Filtros Sección de Lodos Residuales Sección de Conducción Casa de Control
<b>Cárcamo Regulador</b>	Caja Partidora Tanque de Seccionamiento
<b>Depósito</b>	Vaso Tanque de Almacenamiento
<b>Estación Distribuidora</b>	Estación Equipo de Control
<b>Conexión</b>	Equipo de Conexión Equipo de Medición Equipo de Control
<b>Subestación Eléctrica</b>	Equipo de Transformación Equipo de Control Equipo de Protección Equipo de Emergencia Línea de Conducción
<b>Infraestructura</b>	Entorno Físico Edificación Equipamiento
<b>Abasto</b>	Abasto para Operación Abasto para Conservación
<b>Personal del sistema productivo</b>	Personal Operativo Personal de Conservación Personal de Protección

- El cuarto nivel está integrado por ciento noventa y dos elementos, cuya existencia u operación son necesarios para que el componente contribuya debidamente al funcionamiento del subsistema, quedando integrados como se muestra en la tabla III.8,

La estructura completa del sistema productivo del Cutzamala y la descripción de sus funciones se proporcionan en un Anexo que se presenta posterior a las Conclusiones.

### **III.2.b Descripción espacial del sistema productivo del Cutzamala**

En el inciso anterior se presentó la conceptualización del sistema productivo del Cutzamala a través de la determinación de su estructura, realizada a partir del empleo del procedimiento de construcción por descomposición del enfoque sistémico y, de la estructura de los sistemas de flujo continuo -que permite realizar una descripción generalizada del Sistema Cutzamala, para fines de investigación, difusión y capacitación-.

Además de la conceptualización, es conveniente realizar la descripción del objeto de estudio desde el punto de vista espacial, desglosando al Sistema geográficamente para realizar futuros estudios, tales como la elaboración de escenarios de desastres o el levantamiento del inventario del sistema productivo.

Dicho desglose se realizó, teniendo como apoyo los procedimientos para la recopilación de información y análisis de la misma -descrito en el capítulo II- y con base en la teoría de redes.

La teoría de redes conceptualiza una red a través de la integración de tres conjuntos -nodos, arcos y flujo en los arcos- [32]. En este sentido, los componentes del Sistema que se encuentran bien definidos geográficamente (sitios confinados en una extensión relativamente pequeña), se conceptualizaron como el conjunto de nodos, denominándoles "lugares", tales como los tanques Pericos o Santa Isabel. Por su parte, al conjunto de arcos que conducen el flujo de agua, uniendo un par de nodos, se le denominó "tramos",

Tabla III.8 Componentes y elementos del Sistema Cutzamala

<b>Embalse</b>	Vaso Cortina Obra de Captación	<b>Tanque de Recepción de Aguas Crudas</b>	Caja de Recepción Caja de Regulación Caja de Distribución Compuerta Vertedor Rejilla Zanja de Desfogue
<b>Desfogue</b>	Obra de Toma Vertedor	<b>Sección de Cloración</b>	Cilindro de Almacenamiento Evaporador Equipo de Dosificación Premezcladora
<b>Canal</b>	Cuerpo del Canal Puente Canal Canal Sifón Compuerta Vertedor Rejilla Tapa Zanja de Desfogue	<b>Sección de Sulfato de Aluminio</b>	Tanque de Almacenamiento Equipo de Dosificación Premezcladora
<b>Tubería</b>	Tubo Tubo Corto Tubo Puente Sifón Codo Te y Ye Reducción Junta Tapa Ciega Desague Atrague Registro para Inspección Válvula de Aire Cuerpo del Túnel Portal de Entrada Portal de Salida Lumbrera Lumbrera Vertedora	<b>Sección de Polímero</b>	Tanque de Almacenamiento Equipo de Dosificación Premezcladora
<b>Túnel</b>	Cuerpo del Túnel Portal de Entrada Portal de Salida Tapa Ciega Equipo de Medición	<b>Sección de Cal</b>	Silo de Almacenamiento Equipo de Dosificación Mezcladora
<b>Túnel Falso</b>	Cuerpo de la Transición Obra Rompedora Compuerta	<b>Tanque de Floculación</b>	Cuerpo del Tanque Paleta Motor Compuerta Cuerpo del Tanque Placa de Alta Tasa Canaleta Succionadora de Lodos Canal Captador de Lodos Compuerta
<b>Transición</b>	Torre de Sumergencia Torre de Oscilación	<b>Tanque de Sedimentación</b>	Cuerpo del Tanque Lecho Filtrante Equipo de Lavado Compuerta
<b>Torre de Protección</b>	Motor Bomba Válvula	<b>Tanque de Filtración</b>	Cuerpo del Cárcamo Válvula Compuerta
<b>Equipo de Bombeo</b>	Equipo de Enfriamiento Tubería de Baja Presión Múltiple de Succión Múltiple de Descarga Tubería de Alta Presión	<b>Cárcamo de Aguas Claras</b>	Ventana Vertedora Desague Zanja de Desfogue
<b>Tubería</b>	Dispositivo de Operación Dispositivo de Control Dispositivo de Medición	<b>Tanque de Recuperación de Agua de Lavado de Filtros</b>	Cuerpo del Tanque Motor Bomba Compuerta
<b>Casa de Control</b>		<b>Sección de Lodos Residuales</b>	Tanque Separador de Lodos Presa de Lodos

(continua ...)

Tabla III.8 Componentes y elementos del Sistema Cutzamala (...continuación)

Componente	Elemento
<b>Sección de Conducción</b>	Ducto de Transferencia
	Canal de Cloración
	Tubería de Cloración
	Canal Parshall
	Salto Hidráulico
<b>Casa de Control</b>	Tubería del Reactivo
	Ducto de Residuos
	Dispositivo de Control
	Dispositivo de Medición
	Laboratorio
<b>Caja Partidora</b>	Cuerpo de la Caja
	Obra de Captación
	Adaptador
	Compuerta
	Vertedor
<b>Tanque de Seccionamiento</b>	Desagüe
	Zanja de Desfogue
	Cuerpo del Tanque
	Obra de Captación
	Adaptador
<b>Vaso de Almacenamiento</b>	Compuerta
	Ventana Vertedora
	Desagüe
	Zanja de Desfogue
	Vaso
<b>Tanque de Almacenamiento</b>	Obra de Captación
	Cortina
	Obra de Toma
	Vertedor
	Cuerpo del Tanque
<b>Estación</b>	Obra de Captación
	Adaptador
	Línea de Interconexión
	Compuerta
	Ventana Vertedora
<b>Equipo de Control</b>	Desagüe
	Zanja de Desfogue
	Cuerpo del Túnel
	Lumbrera
	Portal de Salida
<b>Equipo de Conexión</b>	Compuerta
	Dispositivo De Operación
	Caja de Conexión
	Atraque
	Te y Ye
<b>Equipo de Medición</b>	Tubo
	Codo
	Equipo de Aforo
	Equipo de Registro
	Válvula
<b>Equipo de Control</b>	Compuerta
	Dispositivo de Operación

Componente	Elemento
<b>Equipo de Transformación</b>	Transformador de Potencia
	Transformador de Potencial
	Transformador de Corriente
<b>Equipo de Control</b>	Dispositivo de Control
	Dispositivo de Medición
<b>Equipo de Protección</b>	Interruptor
	Cuchilla
<b>Equipo de Emergencia</b>	Aparta Rayos
	Batería
<b>Línea de Conducción</b>	Motor Generador
	Dispositivo de Control
	Cable
<b>Entorno Físico</b>	Poste
	Aislador
	Terreno
<b>Edificación</b>	Cerca
	Carretera
	Obra de Control y Desvío
	Línea De Comunicación
<b>Equipamiento</b>	Línea Eléctrica
	Edificio
	Instalación
<b>Abasto para Operación</b>	Pretil
	Equipo de Seguridad
	Mobiliario
	Equipo de Conservación
	Vehículo
<b>Abasto para Conservación</b>	Equipo de Comunicación
	Equipo de Emergencia
	Provisión para Potabilización
	Provisión para Bombeo
<b>Personal Operativo</b>	Provisión para Transportación
	Viveres
	Provisión para Mantenimiento
<b>Personal de Conservación</b>	Provisión para Reparación
	Chofer
	Operador de Equipo
<b>Personal de Protección</b>	Personal de Intendencia
	Personal de Mantenimiento
<b>Personal de Reparación</b>	Personal de Reparación
	Vigilante de Guardia
<b>Personal de Patrullero</b>	Patrullero

por ejemplo tramo Pericos-Santa Isabel. Este procedimiento se realizó teniendo como apoyo los mapas e información proporcionados por la Gerencia de Aguas del Valle de México y la descripción del sistema productivo del Cutzamala.

De esta manera, tomando en cuenta el conjunto de los lugares específicos y de los tramos se identificaron 29 sitios para el Sistema Cutzamala (Tabla III.9). Cabe mencionar que la relación de los sitios se hace en sentido contrario al flujo del agua, además de agruparlos en cinco conjuntos, lo anterior previendo futuras ampliaciones del Sistema.

Así, se decidió que el primer grupo de sitios estuviera constituido de la Toma 4 "Santiago Tepatlaxco" (sitio A01) -por ser el sitio más próximo a la Ciudad de México- a la Planta Potabilizadora (sitio A12), el segundo grupo integrado por el tramo Chilesdo-Planta Potabilizadora (sitio B01) y la presa Chilesdo (sitio B02), el tercer grupo está integrado por el tramo Villa Victoria-Planta Potabilizadora (sitio C01) y la presa Villa Victoria (sitio C02), el cuarto grupo se integra del tramo Donato Guerra-Planta Potabilizadora (sitio D01) a la presa Valle de Bravo (sitio D05), por último, el quinto conjunto se integra por los sitios comprendidos del tramo Colorines-Valle de Bravo (sitio E01) a la presa Tuxpan (sitio E08), situada en el estado de Michoacán, que constituye el punto más alejado del Sistema, en relación con la ZMCM. La descripción en forma esquemática se presenta en la figura III.2.

Por otro lado, tomando como criterio la injerencia actual que tiene el Sistema en cada sitio, se diferencian dos grupos:

- a) Sitios en operación; el cual conjunta a los que se encuentran construidos y que en la actualidad están operando como parte del Cutzamala.
- b) Sitios sin operar; reúne a los que en un futuro formarán parte del Cutzamala, pero que aún no entran en operación, ya sea por estar en proceso de construcción o por pertenecer en la actualidad a un antiguo sistema, construido y operado por la Comisión Federal de Electricidad.

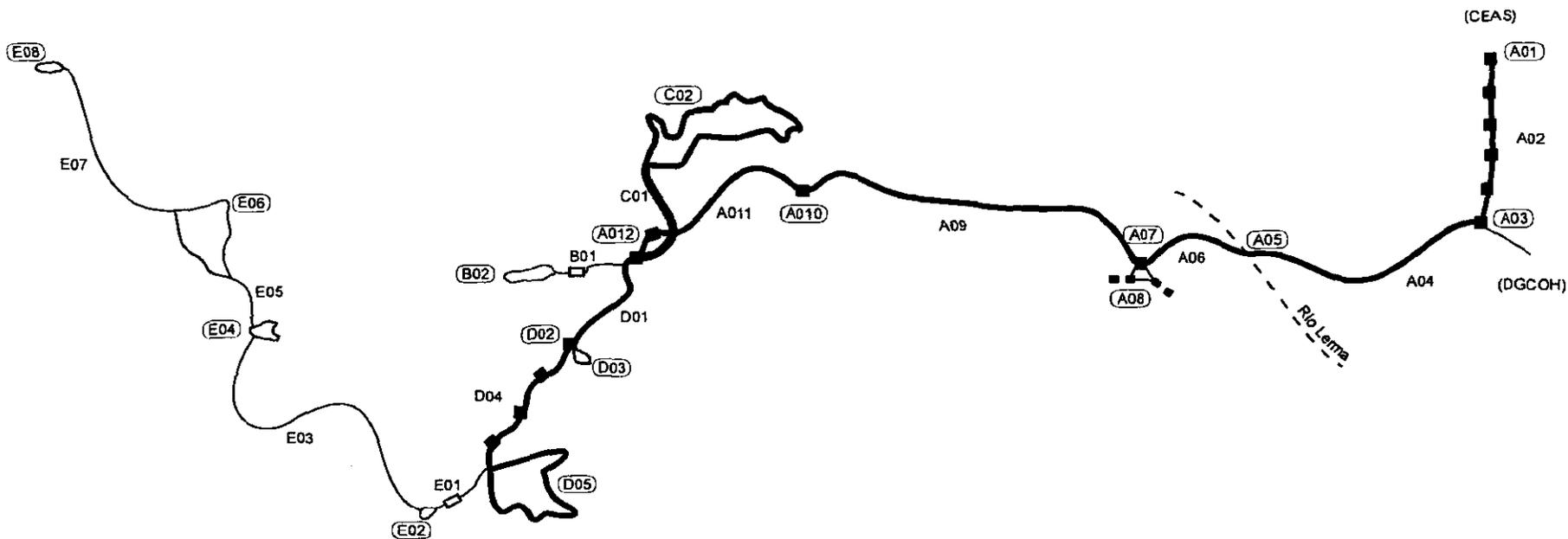
Tabla III.9 Sitios del Sistema Cutzamala

	Sitios	En operación
A01	Toma #4 Santiago Tapatlaxco	√
A02	Tramo ramal norte	√
A03	Lumbrera Dos Ríos	√
A04	Tramo conexión con el Sistema Lerma-Lumbrera Dos Ríos	√
A05	Conexión con el Sistema Lerma	√
A06	Tramo Tanque Pericos-Conexión con el Sistema Lerma	√
A07	Tanque de Seccionamiento Pericos	√
A08	Tanque de Almacenamiento Pericos	x
A09	Tramo Tanque Santa Isabel-Tanque Pericos	√
A10	Tanque de Seccionamiento Santa Isabel	√
A11	Tramo Planta Potabilizadora-Tanque Santa Isabel	√
A12	Planta Potabilizadora	√
B01	Tramo Chilesdo-Planta Potabilizadora	√
B02	Presas Chilesdo	√
C01	Tramo Villa Victoria-Planta Potabilizadora	√
C02	Presas Villa Victoria	√
D01	Tramo Donato Guerra-Planta Potabilizadora	√
D02	Caja partidora Donato Guerra	√
D03	Vaso Donato Guerra	x
D04	Tramo Valle de Bravo-Donato Guerra	√
D05	Presas Valle de Bravo	√
E01	Tramo Colorines-Valle de Bravo	√
E02	Presas Colorines	√
E03	Tramo Ixtapa del Oro-Colorines	√
E04	Presas Ixtapa del Oro	√
E05	Tramo Del Bosque-Ixtapa del Oro	√
E06	Presas Del Bosque	√
E07	Tramo Tuxpan-Del Bosque	√
E08	Presas Tuxpan	√

+ Simbología: √ = sitios en operación; x = sitios sin operar

Cabe mencionar que en la actualidad los dos únicos sitios que se encuentran sin operar\* son el Tanque de Almacenamiento Pericos (A08) y el Vaso Donato Guerra (D03), como se muestra en la tabla III.9.

\* Según información obtenida por parte del personal de la CNA en la reciente visita realizada al Sistema Cutzamala en el mes de octubre de 1998, con el fin de actualizar algunos datos.



Lugares específicos		Tramos	
(A01)	Toma No. 4 Santiago Tepatlaxco	A02	Ramal Norte
(A03)	Lumbrera Dos Ríos	A04	Conexión con el Sistema Lerma - Lumbrera Dos Ríos
(A05)	Conexión con el Sistema Lerma - Lumbrera Dos Ríos	A06	Tanque Pericos - Conexión con el Sistema Lerma
(A07)	Tanque de Seccionamiento Pericos	(A08)	Tanque de Almacenamiento Pericos
(A09)	Tanque Santa Isabel - Tanque Pericos	(A10)	Tanque de Seccionamiento Santa Isabel
(A11)	Planta Potabilizadora - Tanque Santa Isabel	(A12)	Planta Potabilizadora
(B01)	Chilesdo - Planta Potabilizadora	(B02)	Presa Chilesdo
(C01)	Villa Victoria - Planta Potabilizadora	(C02)	Presa Villa Victoria
(D01)	Donato Guerra - Planta Potabilizadora	(D02)	Caja Partidora Donato Guerra
(D02)	Caja Partidora Donato Guerra	(D03)	Vaso Donato Guerra
(D03)	Vaso Donato Guerra	(D04)	Valle de Bravo - Donato Guerra
(D04)	Valle de Bravo - Donato Guerra	(D05)	Presa Valle de Bravo
(D05)	Presa Valle de Bravo	(E01)	Colorines - Valle de Bravo
(E01)	Colorines - Valle de Bravo	(E02)	Presa Colorines
(E02)	Presa Colorines	(E03)	Extapa del Oro - Colorines
(E03)	Extapa del Oro - Colorines	(E04)	Presa Ixtapa del Oro
(E04)	Presa Ixtapa del Oro	(E05)	Del Bosque - Ixtapa del Oro
(E05)	Del Bosque - Ixtapa del Oro	(E06)	Presa del Bosque
(E06)	Presa del Bosque	(E07)	Tuxpan - Del Bosque
(E07)	Tuxpan - Del Bosque	(E08)	Presa Tuxpan
(E08)	Presa Tuxpan		

**Fig. III.2 Ubicación de sitios considerados en el Sistema Cutzamala**

### **III.3 Tipología de problemas detectados**

Con base en la metodología elaborada en el capítulo II, así como en la conceptualización del sistema productivo del Cutzamala, junto con su descripción general, expuestos en el subcapítulo anterior, el presente tiene como objetivo principal describir y analizar la problemática que enfrentó el Sistema Cutzamala en todo lo relacionado con su confiabilidad ante la ocurrencia de fenómenos destructivos.

Con el fin de exponer la problemática detectada, a continuación se presentan algunas de las observaciones obtenidas como producto de los estudios de campo llevados a cabo en el Sistema Cutzamala (inciso III.3.a). Cabe mencionar, que debido al carácter confidencial de la información, se decidió presentar en este trabajo un conjunto de solo 28 fichas de observaciones, con las cuales se da un panorama global del total de las 93 fichas obtenidas en el proyecto de investigación.

Posteriormente, en la sección III.3.b se realiza el análisis de la problemática para identificar los problemas reales, presentando una clasificación por tipo, así como un análisis estadístico de su frecuencia, empleando en este último el total de las 93 fichas de observaciones.

#### **III.3.a Deficiencias observadas**

La realización de los estudios de campo al Sistema Cutzamala consistió de ocho visitas de reconocimiento para conocer físicamente el Sistema en su totalidad y su estado al momento de la realización de las visitas, obtener documentación, elaborar observaciones directas, obtener el material fotográfico necesario y realizar entrevistas a funcionarios y personal operativo (CNA, CFE, SC, GAVM y SEDENA)\* para recabar información, confirmar la obtenida y aclarar dudas de visitas anteriores. Este proceso permitió describir diversas observaciones encaminadas a la identificación de la problemática que enfrentaba

---

\* Comisión Nacional del Agua, Comisión Federal de Electricidad, Sistema Cutzamala, Gerencia de Aguas del Valle de México y Secretaría de la Defensa Nacional, respectivamente.

el Sistema Cutzamala. Estas observaciones se reunieron en forma de fichas que integran, cada una de ellas, las notas interpretativas de las deficiencias encontradas, así como su correspondiente material fotográfico.

De esta forma, se obtuvo un total de 93 fichas de observaciones. La tabla III.10, contiene una relación de estas fichas con su numeración correspondiente y los sitios visitados a los que hacen referencia. Con el fin de ubicar al lector en espacio geográfico, es importante mencionar que la numeración asignada corresponde a una ordenación geográfica definida desde el sitio más lejano a la Ciudad de México hasta el más cercano donde se realiza la entrega de agua en bloque al Distrito Federal, de acuerdo con la figura III.3 donde se destacan los siguientes bloques de sitios:

- Generales (el sistema en su totalidad).
- Desde la Presa Colorines hasta la Planta Potabilizadora (excluyendo esta última).
- Desde la Presa Villa Victoria hasta la Planta Potabilizadora (excluyendo esta última).
- Desde la Presa Chilesdo hasta la Planta Potabilizadora (excluyendo esta última).
- Desde la Planta Potabilizadora (inclusive) hasta la Estación Distribuidora Dos Ríos.
- El Ramal Norte (incluyendo las Tomas No. 1, 2, 3 y 4).

Como se mencionó, debido a la confidencialidad de la información, del total de las fichas elaboradas, se seleccionó únicamente un conjunto de 28 fichas para presentarlas en este trabajo, mismas que son consideradas como una muestra del contenido de todas las observaciones. Con el fin de distinguir las fichas seleccionadas, en la tabla III.10 se presentan sombreados los renglones que corresponden a dichas fichas, esperando que

Tabla III.10 Fichas de observaciones realizadas

Ficha No	Sitio Visitado	
	Tramo o Unidad	Subtramo
1	SDG	
2	SD	
3	SC	
4	SC	
5	SC	
6	SC	
7	SC	
8	SC	
9	SC	
10	PC	
11	PVB	
12	PVB	
13	PVB	
14	PVB-PB2	
15	PB2	
16	PB2	
17	PB2	
18	PB2-PB3	
19	PB4	
20	PB4	
21	PB4	
22	PB4	
23	PB4	
24	SC	
25	CP	
26	CP	
27	DG-PP	CA
28	DG-PP	CA
29	DG-PP	CA
30	DG-PP	CA
31	DG-PP	CA
32	DG-PP	CA
33	DG-PP	TAE
34	PVB-DG-PP	CA
35	PVV	
36	PVV	
37	CMM	
38	PB6	
39	PB6	
40	PP	
41	PP	
42	PP	
43	PP	
44	PP	
45	PP	
46	PP	
47	PP	

Fichas seleccionadas para la tesis

CA:	Canal a cielo Abierto
CEAS:	Com. Est. de Aguas y Saneamiento, Edo. Mex.
CFE:	Com. Federal de Electricidad
CMM:	Canal Martínez de Meza
CP:	Caja Partidora
CSL:	Conexión con Sistema Lerma
DG:	Donato Guerra
ED:	Estación Distribuidora
PB2:	Planta de Bombeo No. 2
PB3:	Planta de Bombeo No. 3
PB4:	Planta de Bombeo No. 4
PB5:	Planta de Bombeo No. 5
PB6:	Planta de Bombeo No. 6
PC:	Presa Colorines

Ficha No	Sitio Visitado	
	Tramo o Unidad	Subtramo
48	PP	
49	PP	
50	PP	
51	PP	
52	PP	
53	PB5	
54	PB5	
55	TSI	
56	TSI	
57	TSI	
58	TSI	
59	TSI	
60	TSI	
61	TSI	
62	TSI	
63	TSI	
64	TSI-TP	
65	CSL	
66	CSL	
67	CSL	
68	TASJ	
69	ED	
70	RN (CEAS)	T-0
71	RN	T-0
72	RN	T-0
73	RN	T-0
74	RN (CEAS)	T-0
75	RN	T-0
76	RN	T-1
77	RN	T-1
78	RN	T-1
79	RN	T-1
80	RN	T-2
81	RN	T-2
82	RN	T-2
83	RN	T-2
84	RN	T-2
85	RN	T-3
86	RN	T-3
87	RN	T-3
88	RN	T-3
89	RN	T-3
90	RN (CEAS)	T-0/T-2
91		
92	T-4	
93	T-4	

PP:	Planta Potabilizadora
PVB:	Presa Valle de Bravo
PVV:	Presa Villa Victoria
RN:	Ramal Norte
SC:	Sistema Cutzamala
SDG:	Subestación Donato Guerra
T0:	Toma No. 0
T1:	Toma No. 1
T2:	Toma No. 2
T3:	Toma No. 3
T4:	Toma No. 4
TAE:	Túnel Agua Escondida
TASJ:	Túnel Analcó-San José
TP:	Tanque Pericos
TSI:	Tanque Santa Isabel
VR:	Vaso Regulador

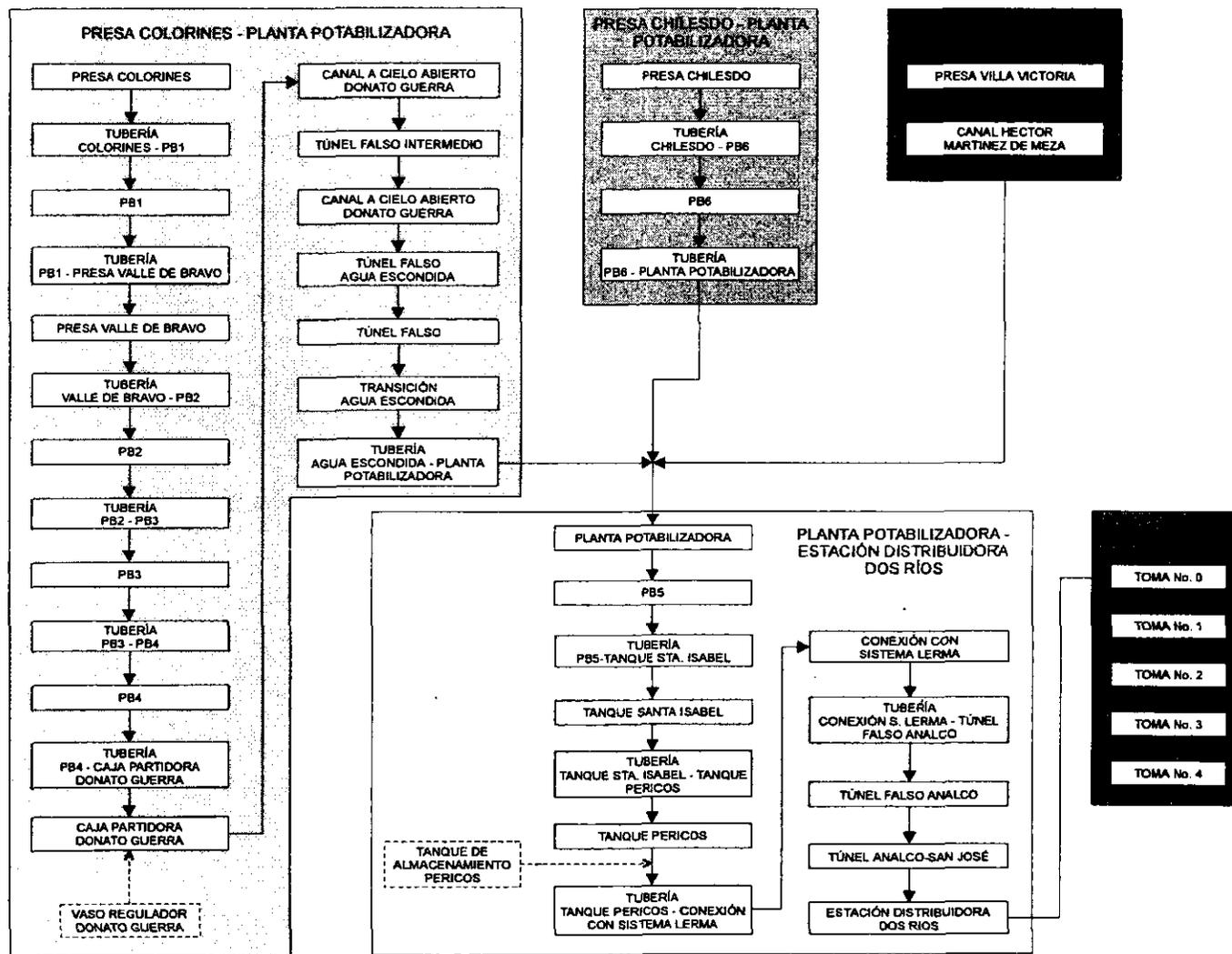
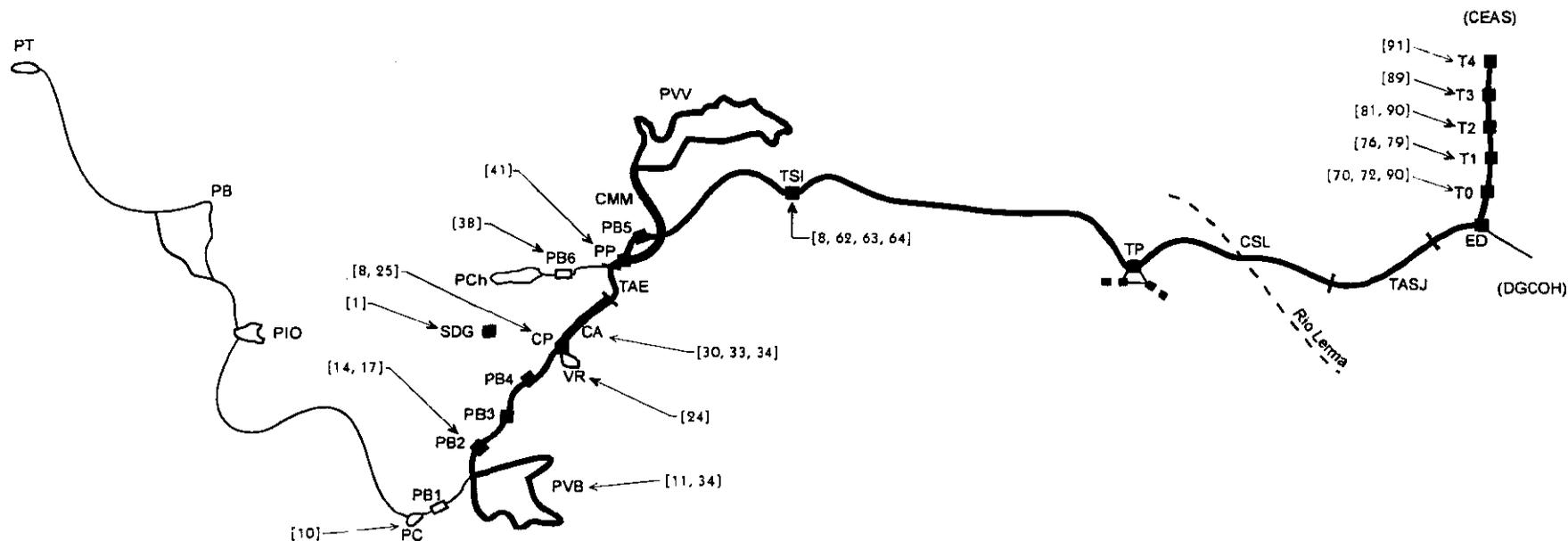


Fig. III.3 Bloques de sitios del Sistema Cutzamala considerados para la ordenación de las fichas de observaciones

permita al lector entender tanto el procedimiento aplicado como la problemática del Sistema Cutzamala, en general.

Cabe hacer notar que las fichas seleccionadas conservan la numeración original, por lo que esta no sigue una continuidad, sino se presenta en el orden ascendente. Asimismo, para facilitar su localización, en la figura III.4 se presenta un esquema con la ubicación espacial de los lugares visitados, identificados por el número de ficha.

A continuación se presenta el conjunto de las 28 fichas de observaciones seleccionadas.



NOMENCLATURA					
CA:	Canal a cielo abierto	PB6:	Planta de Bombeo No. 6	T0:	Toma No. 0
CMM:	Canal Martínez de Meza	PB:	Presa del Bosque	T1:	Toma No. 1
CP:	Caja Partidora	PC:	Presa Colorines	T2:	Toma No. 2
CSL:	Conexión con Sistema Lerma	PCh:	Presa Chilesdo	T3:	Toma No. 3
ED:	Estación Distribuidora	PIO:	Presa Ixtapa del Oro	T4:	Toma No. 4
PB1:	Planta de Bombeo No. 1	PP:	Planta Potabilizadora	TAE:	Túnel Agua Escondida
PB2:	Planta de Bombeo No. 2	PT:	Presa Tuxpan	TASJ:	Túnel Analco-San José
PB3:	Planta de Bombeo No. 3	PVB:	Presa Valle de Bravo	TP:	Tanque Pericos
PB4:	Planta de Bombeo No. 4	PVV:	Presa Villa Victoria	TSI:	Tanque Santa Isabel
PB5:	Planta de Bombeo No. 5	SDG:	Subestación Donato Guerra	VR:	Vaso Regulador

**Fig. III.4 Distribución geográfica de las fichas de observaciones seleccionadas, según los sitios visitados.**



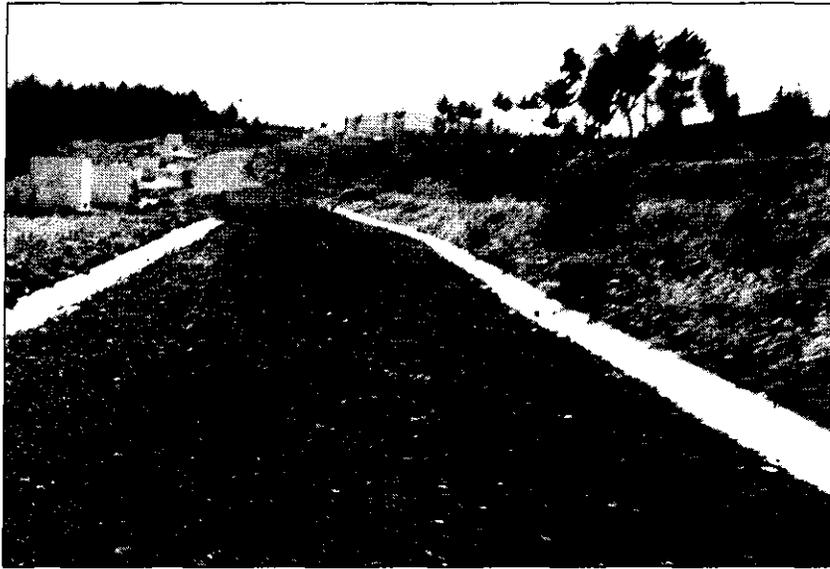
### Ficha 1

En la Subestación Eléctrica Donato Guerra no existe vigilancia de guardia; incluso se encontró la puerta de acceso de la cerca sin ningún tipo de cerradura y abierta completamente, lo que permite el acceso al interior de la subestación a cualquier persona. Esta subestación se considera vital, ya que abastece de energía a las demás subestaciones del Sistema.



## Ficha 2

Se comentó y constató la falta de personal operativo para cubrir los horarios nocturnos, por lo que el personal de día tiene que laborar horas extras para corregir esta deficiencia, lo que repercute en su consecuente cansancio y bajo rendimiento.



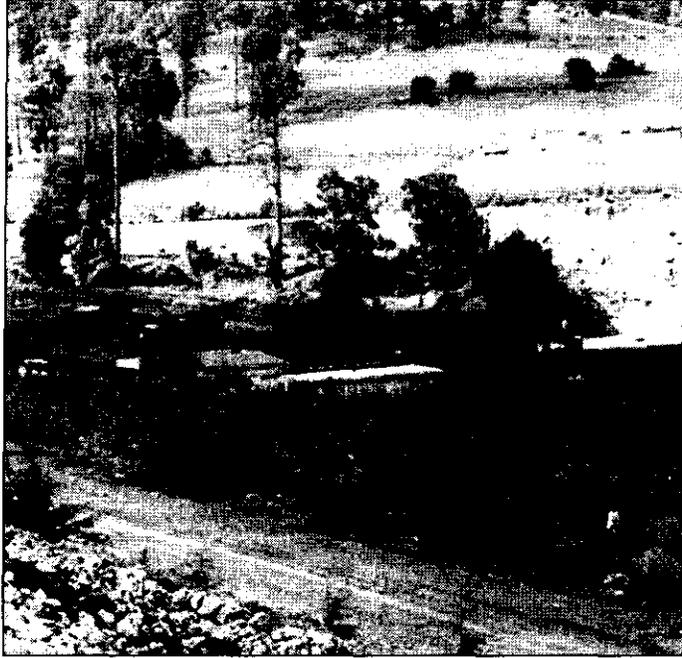
### Ficha 3

Se observó que la gran mayoría de los caminos que comunican a las instalaciones del Sistema son de terracería y están expuestos a la erosión. En época de lluvias se dificulta el tránsito vehicular, por lo que se han llegado a suspender los rondines de vigilancia.



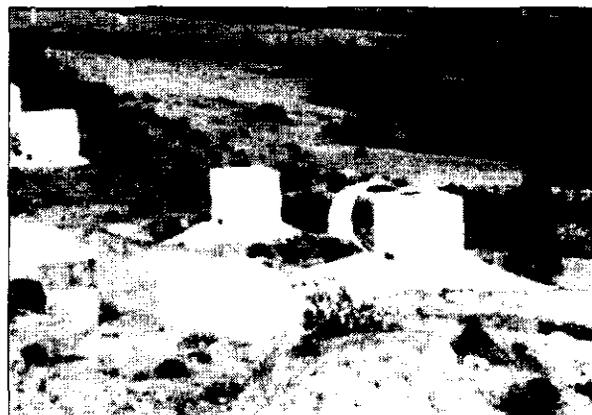
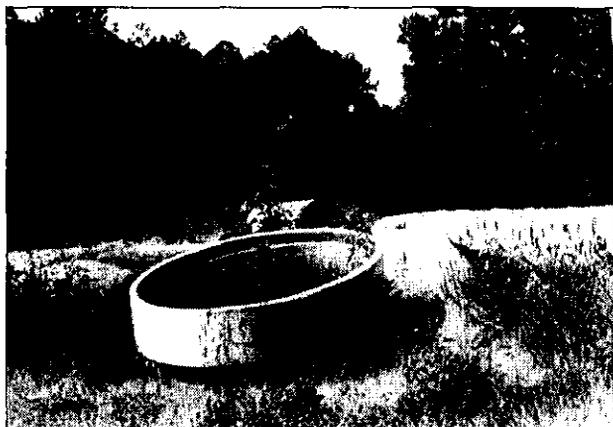
#### Ficha 4

Los caminos de terracería que dan acceso a las Tomas 0, 2 y 3, presentan severos deterioros debido a la erosión por lluvia. Las cunetas se han destruido casi en su totalidad y se han creado grandes surcos o zanjas por donde corre el agua pluvial, lo que dificulta el acceso a dichos lugares.



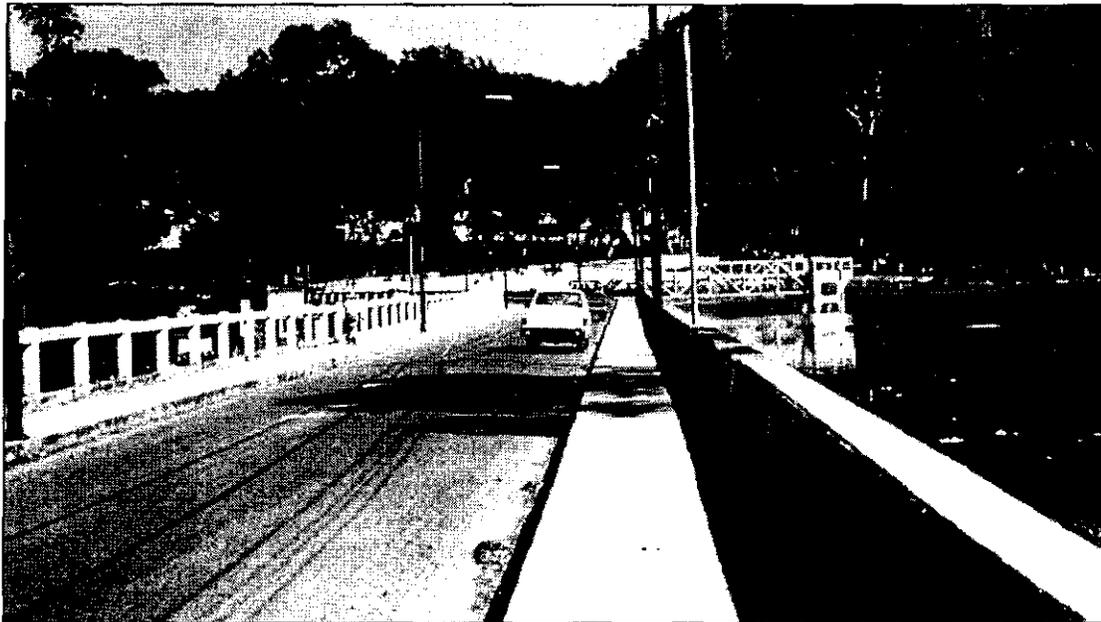
### Ficha 6

Los pobladores que viven a lo largo del acueducto, al no tener acceso a la distribución del agua, han llegado a mostrar su inconformidad, presionando a las autoridades de manera agresiva, tal como secuestros del personal del sistema productivo.



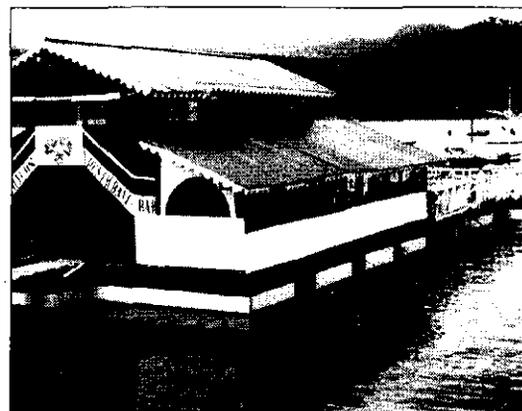
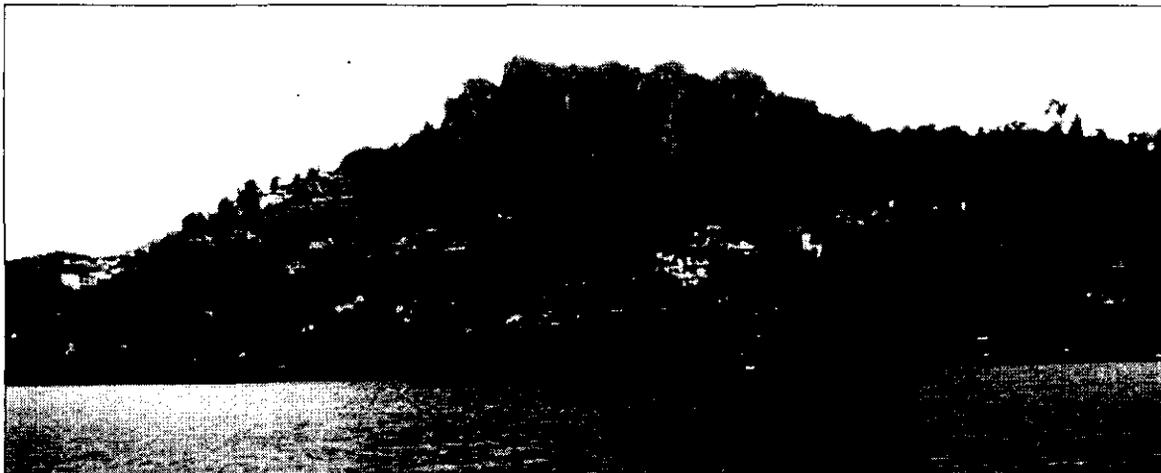
### Ficha 8

Existen, a lo largo del Sistema, desechos constructivos. Por ejemplo, pudo observarse el abandono de tubos averiados en el camino al tanque Santa Isabel (superior e inferior derecha) y cerca de la caja partidora Donato Guerra (inferior izquierda).



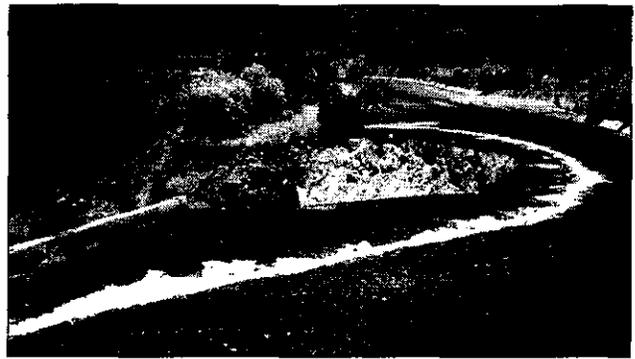
**Ficha 10**

En la presa Colorines, parte del poblado se encuentra aguas abajo, e inclusive algunas casas inmediatas a la cortina, lo que lo hace altamente propenso a inundaciones ante un desbordamiento de la presa.



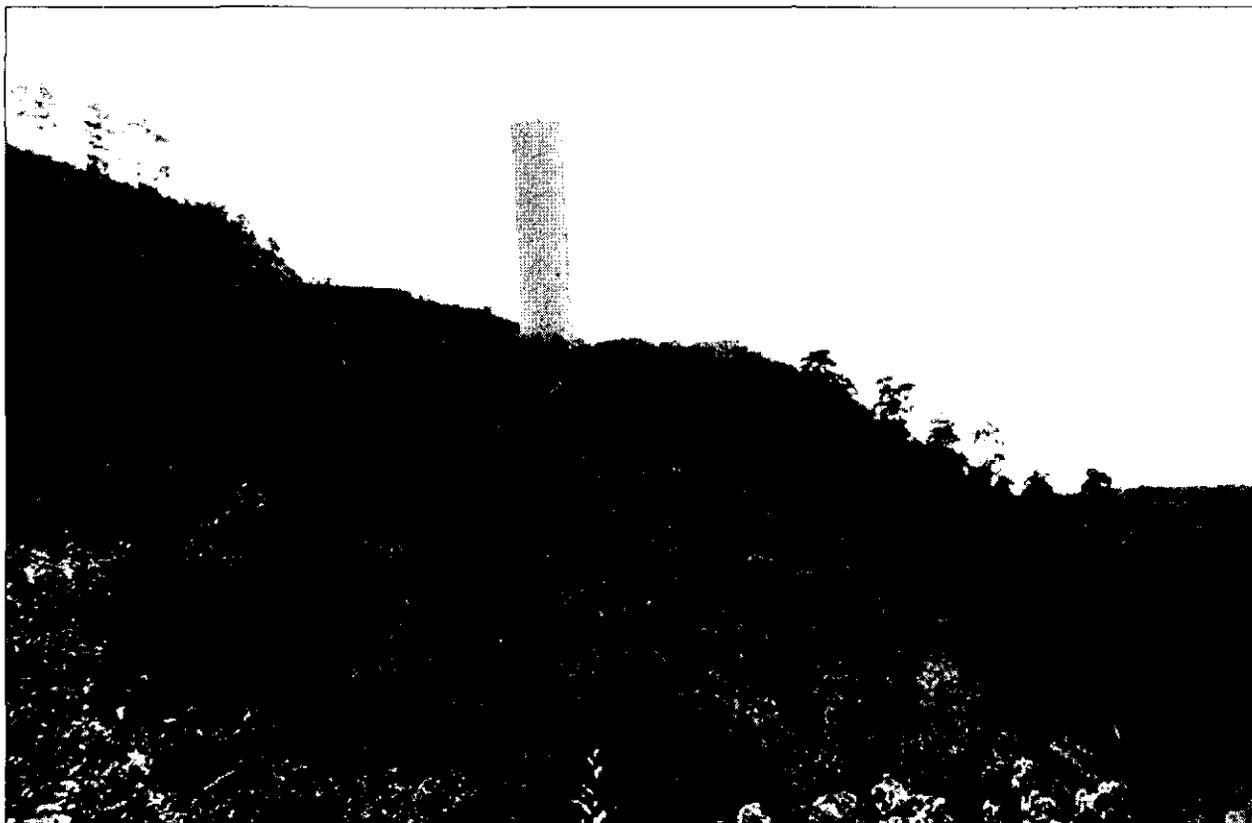
### Ficha 11

Existe la posibilidad de contaminación de las aguas de la presa Valle de Bravo debido a probables descargas clandestinas, tanto por el poblado a la orilla del vaso (superior), como por los restaurantes flotantes sobre el lago (inferiores)



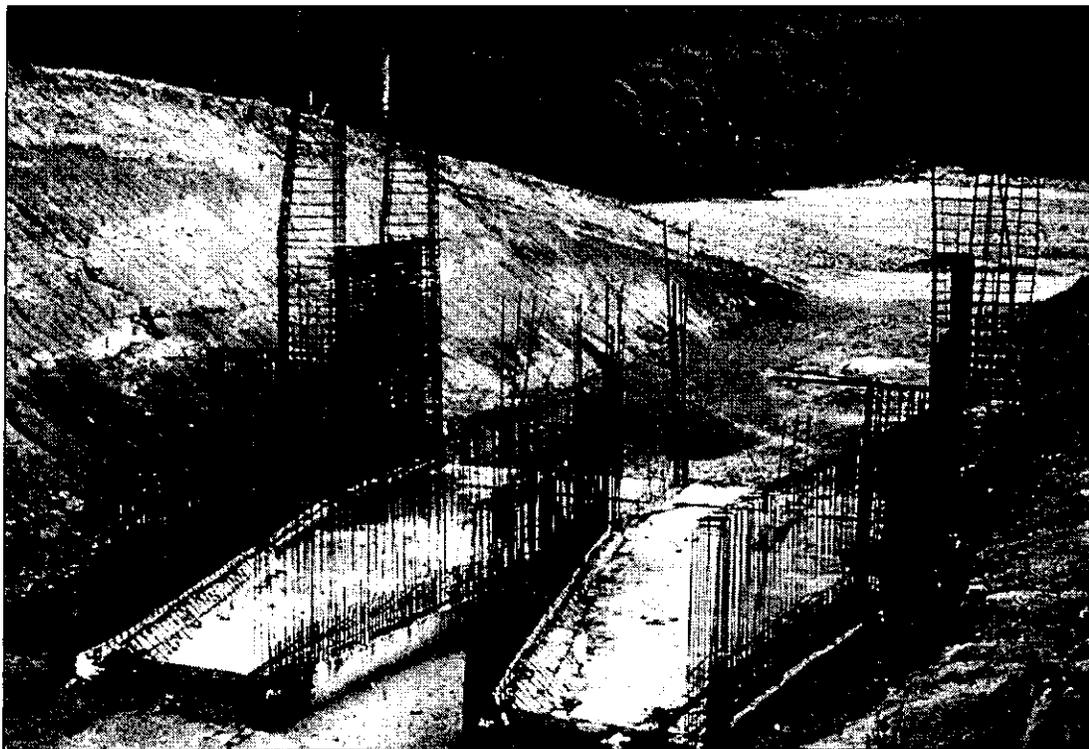
**Ficha 14**

En dos visitas realizadas a la PB2, en enero y abril de 1990, se pudo observar que, en el camino que comunica a la presa Valle de Bravo con la planta, existe un deslave que se extiende al camino mismo.



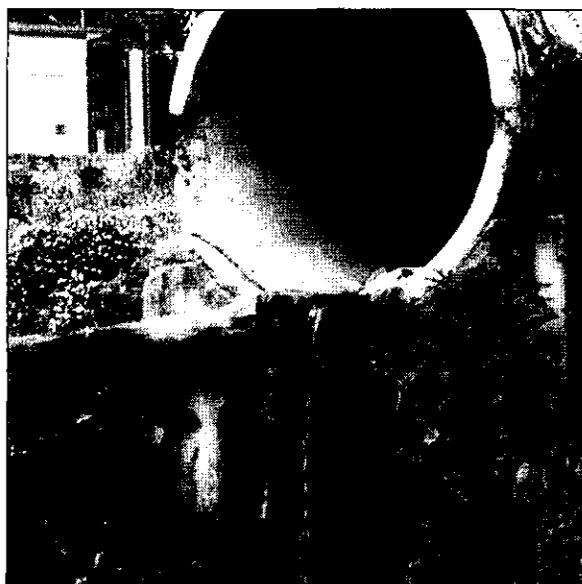
**Ficha 17**

Se presentó el deslizamiento de un talud próximo a la torre de oscilación de la PB2, aproximadamente un año después de iniciar la operación del Sistema, debido a las lluvias constantes que se presentaron. No se realizó ningún tipo de medida, por no tener mayores consecuencias.



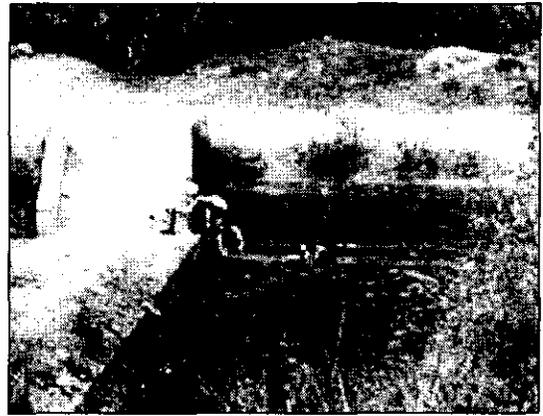
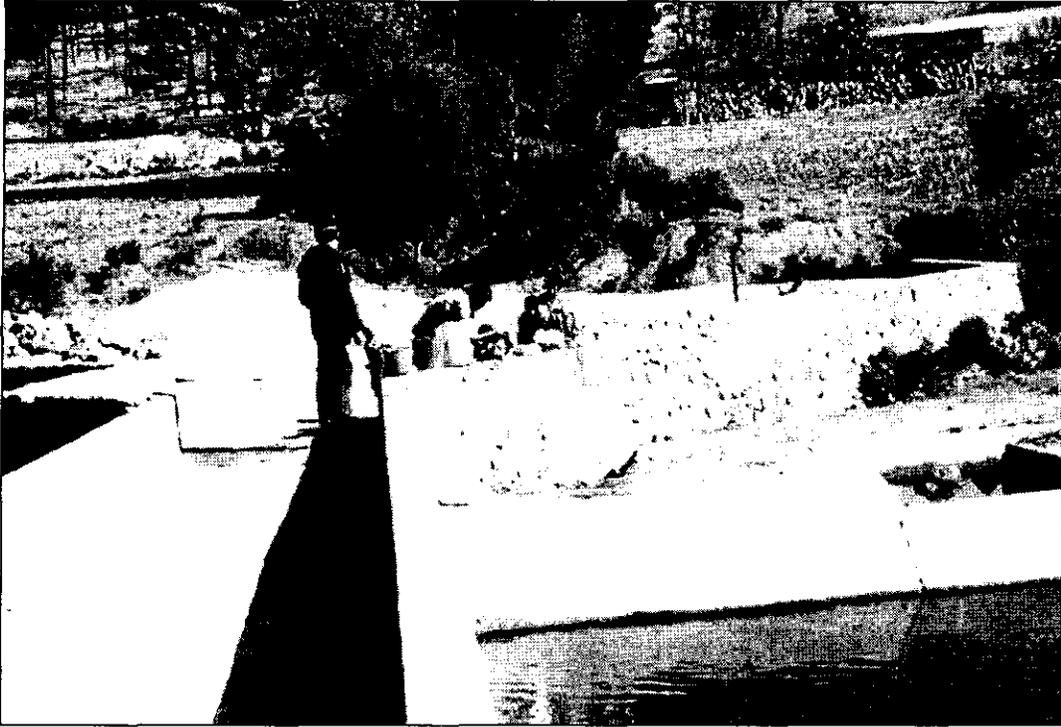
#### Ficha 24

Se comentó del robo de materiales constructivos en la obra del vaso Donato Guerra, donde fueron cortadas las varillas de los armados en las obras de toma y captación, mientras permanecía detenida la construcción. Esto, si bien no se considera aún parte del sistema productivo del Cutzamala, si refleja el tipo de actos que se cometen en la zona.



**Ficha 25**

La zanja de desfogue de la caja partidora Donato Guerra está inconclusa, falta una sección considerable a partir del tubo de desagüe. Esto provoca arrastre de material que disminuye la eficiencia de la zanja, a tal grado de llegar a obstruir el flujo. Además, se encontró un derrame continuo de agua en la tubería de desagüe, tal vez por no estar cerrada completamente la compuerta.



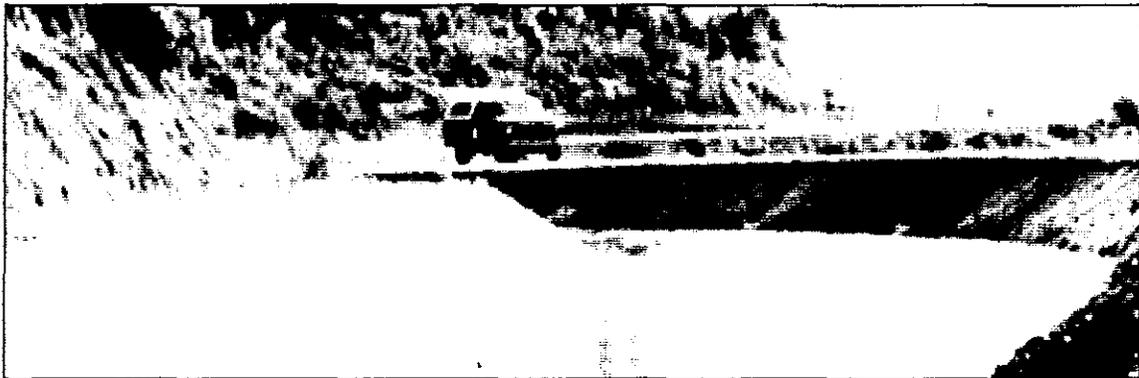
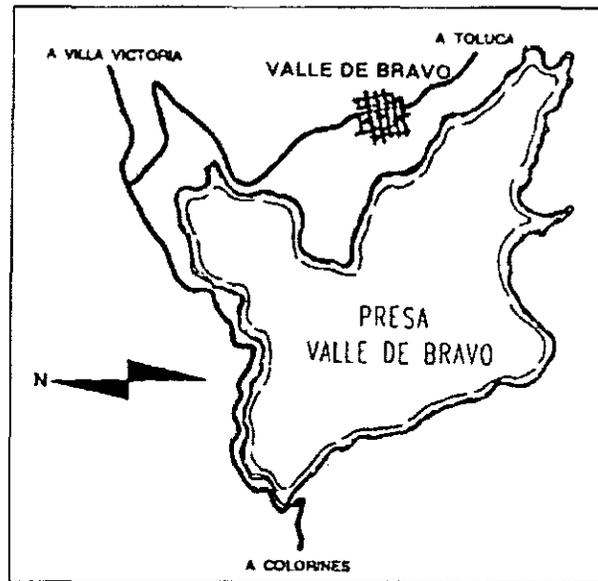
### Ficha 30

El agua del canal a cielo abierto es usada por los pobladores de las cercanías para diversos usos. Por ejemplo, algunos la utilizan para lavar ropa (superior), en tanto que otros llegan a utilizarla para bañarse, como en el caso del tanque rompedor (inferiores).



**Ficha 33**

En el portal de entrada del túnel Agua Escondida se encontró un talud pronunciado que, en caso de desprenderse, puede bloquear la entrada al túnel falso que lo antecede.



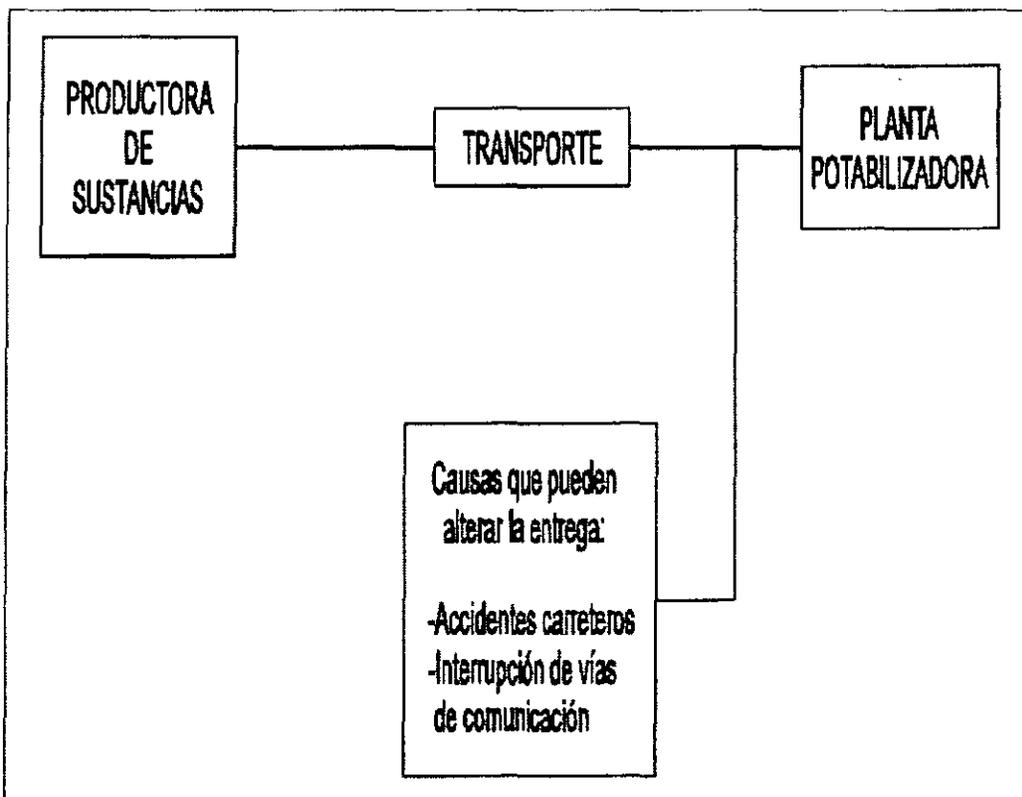
### Ficha 34

Lo accidentes automovilísticos se han hecho presentes en las instalaciones del Sistema, como los ocurridos en la presa Valle de Bravo, donde en dos ocasiones han caído vehículos dentro del vaso (superior); asimismo, han caído dos camiones en el canal a cielo abierto (inferior), teniendo como resultado el fallecimiento de una señora, al voltearse la cabina. Aunque ciertos accidentes no modifican el estado de las instalaciones, sí alteran las condiciones normales del personal del Sistema, por lo que es conveniente considerarlos.



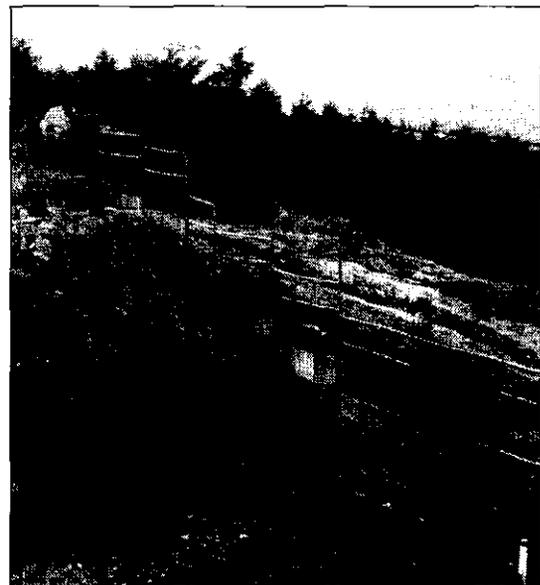
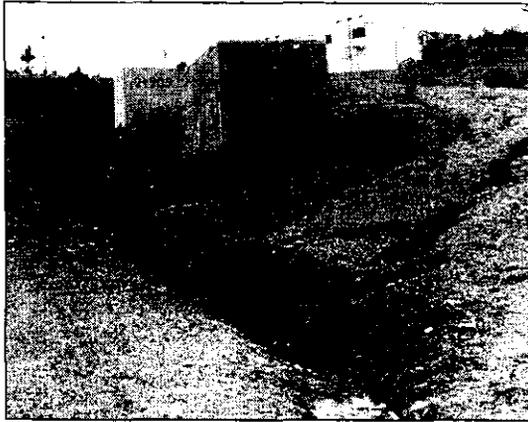
**Ficha 38**

A lo largo del Sistema, el terreno sobre el cual están asentadas las líneas de conducción se ve afectado por la erosión, pudiendo provocar alteraciones en su estabilidad. Un ejemplo de ello, pudo observarse en la tubería de baja presión de PB6.



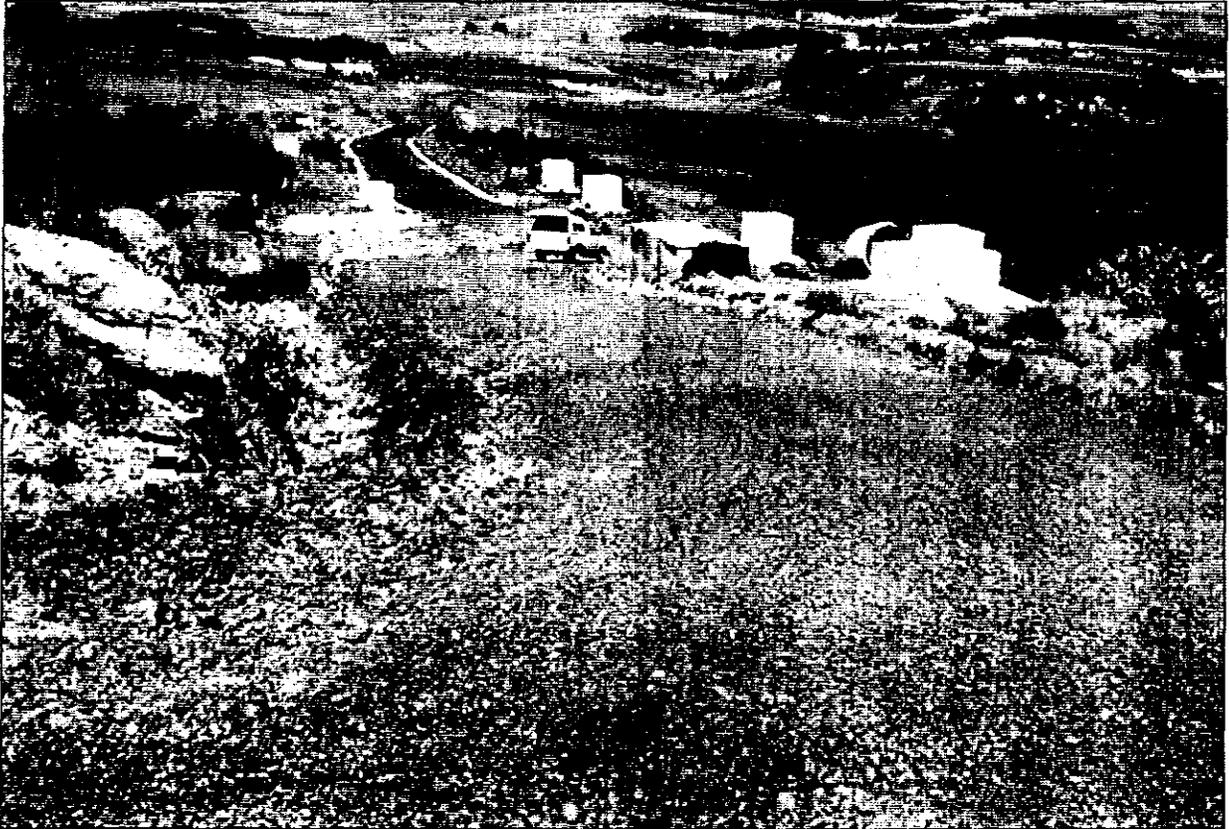
#### Ficha 41

El proceso de potabilización puede verse interrumpido por el desabasto de cloro o de sulfato de aluminio. Al respecto se han presentado varios sucesos: en el año de 1984, un camión transportista de cloro sufrió un accidente al quedarse sin frenos en el trayecto, desde Sta. Clara, ubicada a 170 km de la Planta Potabilizadora; asimismo, durante los primeros meses de 1990, la carretera que comunica a Villa Victoria, cerró temporalmente debido a problemas políticos en el Estado de Michoacán



**Ficha 62**

En el tanque Santa Isabel y sus instalaciones cercanas, se presenta el problema de la erosión debido a la lluvia (superior izquierda). Por ejemplo, se encontraron rotas algunas bases de las cajas que protegen las válvulas de aire de la tubería que sale del tanque (superior derecha); asimismo, la tubería entre las válvulas de aire (inferior izquierda) y la base que soporta a la cerca de protección del tanque (inferior derecha), en algunos casos, ha sido descubierta por la erosión.



### Ficha 63

Pudo observarse, en el tanque Santa Isabel, que no existen obras para el desvío de los escurrimientos de la lluvia en los lugares cercanos al tanque, y que la grava compactada del camino de acceso es vulnerable a la erosión, pudiendo bloquear el camino, en caso de una emergencia.



#### Ficha 64

Existe un colector de agua pluvial cuya entrada esta obstruida por una de las líneas de la tubería de salida del tanque Santa Isabel, lo que impide el escurrimiento natural de la lluvia, desviándose a lo largo de la tubería.



### Ficha 70

En el trayecto a la Toma 0, se encontró una fuga de agua en una de las válvulas pertenecientes a la tubería de CEAS que abastece a Huixquiluca; además, en dicho lugar existe una conexión para una tubería adicional, al parecer ilícita, que abastece a algunos pobladores cercanos al lugar.

A pesar que esto no forma parte del Sistema, muestra los probables daños que pueden provocar los pobladores debido a su necesidad de satisfacer la escasez de agua en la zona.



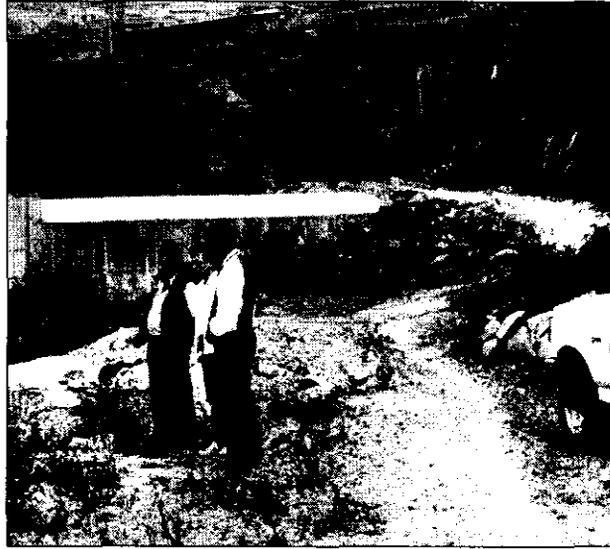
## Ficha 72

El túnel de la Toma 0 cruza una cañada aparentemente grande. Para permitir el paso del agua de lluvia, debajo del túnel falso se encuentra una alcantarilla. En la entrada de ésta, la acumulación del material arrastrado la ha obstruido parcialmente. Por otro lado, las dimensiones de la alcantarilla parecen ser insuficientes ante el caso de presentarse una gran avenida de agua.



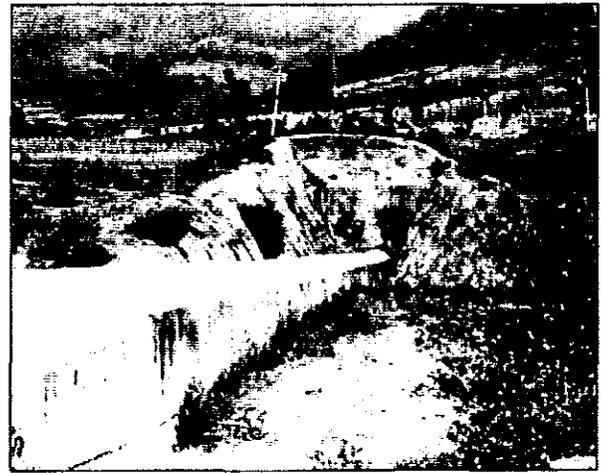
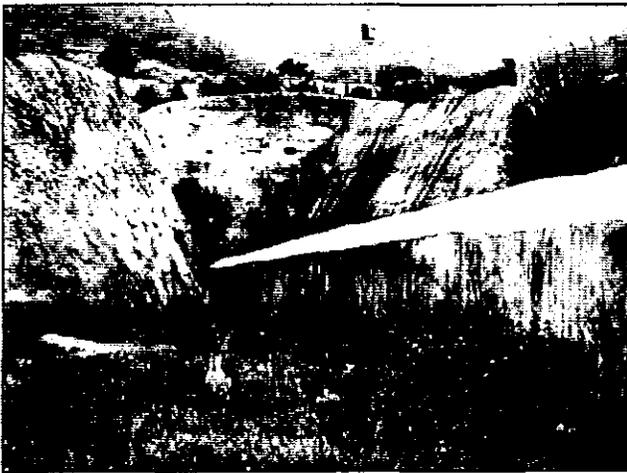
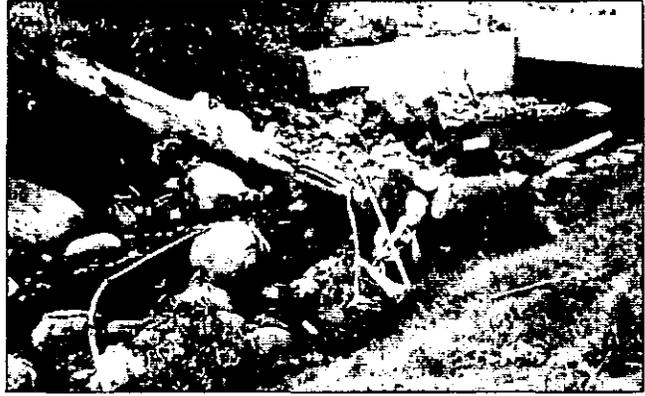
### Ficha 76

Los taludes adyacentes a la Toma 1 se han desprendido por la erosión (superior e inferior izquierda), en tanto que la presencia de vegetación sobre sus revestimientos de concreto propician la disminución de su estabilidad (superior e inferior derecha).



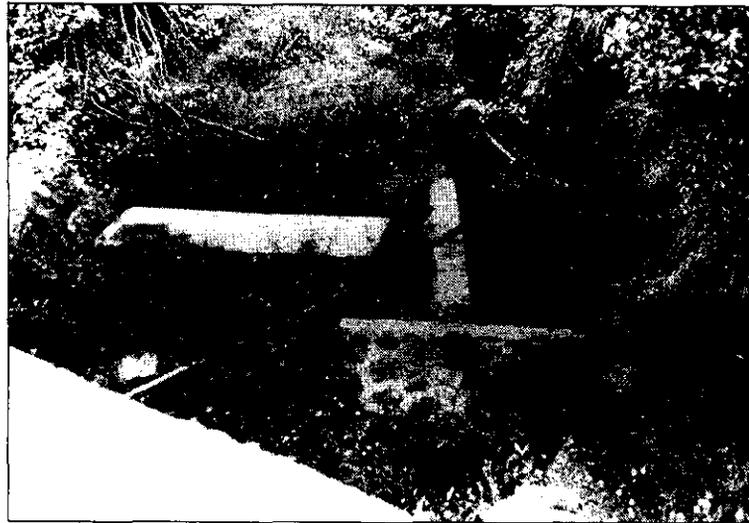
**Ficha 79**

La Toma 1 carece de vigilancia de guardia y su cerca de protección no cubre toda la zona, lo cual permite el acceso libre a cualquier persona (superior). De hecho, existen asentamientos humanos a unos cuantos metros (inferior) y sus pobladores transitan libremente por la zona.



### Ficha 81

En la alcantarilla ubicada bajo el túnel falso correspondiente a la Toma 2, se observó gran cantidad de material que obstruye la salida libre del agua pluvial (superiores), lo que hace insuficiente su capacidad en caso de presentarse una gran avenida de agua, hecho probable debido a que el túnel atraviesa una gran cañada (inferiores).



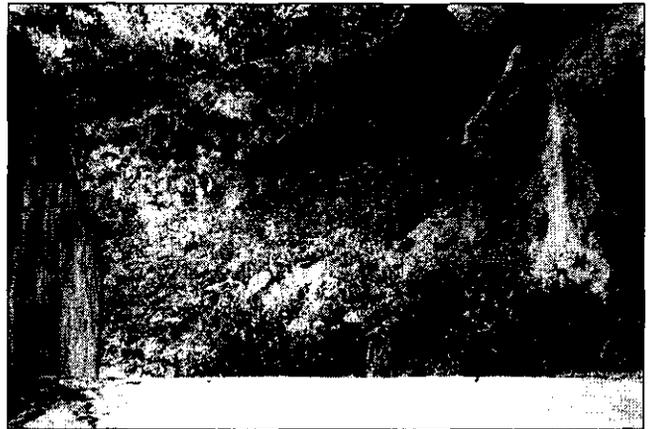
**Ficha 89**

Se observó que la Toma 3 carece de una cerca de protección, por lo que cualquier persona tiene libre acceso al lugar; inclusive, es visitada constantemente por los pobladores cercanos para abastecerse de agua por medio de una tubería que aparentemente no está conectada al Sistema, pero que cruza el túnel falso del Sistema a través de una alcantarilla que se encuentra por debajo de éste.



**Ficha 90**

Se identificó en las Tomas 0 y 2 una línea de alta tensión que pasa sobre el lugar. Esto, si bien no afecta al Sistema, sí debe considerarse, ya que puede complicar una situación de emergencia.



### Ficha 91

Los taludes revestidos de concreto, contiguos al edificio de la Toma 4, se encontraron en mal estado; en algunas partes se ha deslavado y el revestimiento ha quedado libre de material, a causa de la erosión y del crecimiento de vegetación, encontrándose en peligro de caer.

### **III.3.b Análisis de la problemática**

Las 93 fichas del Proyecto General, elaboradas como producto de las observaciones directas realizadas a los más relevantes componentes del Sistema Cutzamala, así como a sus alrededores y enriquecidas con las entrevistas efectuadas al personal tanto del Sistema como del Ejército, permitieron elaborar un análisis enfocado a identificar algunos de los problemas apremiantes relacionados con la confiabilidad del sistema productivo.

El análisis de estas fichas consistió en estudiar cada una de ellas con el fin de identificar el sitio visitado, el o los problemas reales, en dónde se presentaba la deficiencia -de acuerdo con la estructura funcional del Sistema Productivo-, así como sus posibles causas y consecuencias.

Posteriormente, para facilitar su manejo, los problemas identificados fueron clasificados por tipos, teniendo como resultado una clasificación de nueve tipos, a saber: Contaminación (C), Diseño y Construcción (D y C), Derrames y Filtraciones (D y F), Emergencias (E), Interrelación con Otros Sistemas (IOS), Mantenimiento y Conservación (M y C), Operación (O), Riesgos Geológicos (RG) y Vigilancia (V).

Para los fines de este trabajo, se optó por presentar una parte de los problemas que corresponden a las 28 fichas descritas anteriormente y que se muestran sintetizadas en la tabla III.11, que contiene la información necesaria para determinar la problemática del Sistema Cutzamala.

A continuación se presenta la descripción y el análisis de cada tipo de problema, por orden alfabético, aplicado a las 28 fichas seleccionadas:

#### **a) Contaminación**

Las aguas crudas provenientes de las presas se ven contaminadas, debido a las descargas clandestinas de aguas negras en la presa Valle de Bravo (ficha 11) y al

Tabla III.11 Concentrado del análisis de las 28 fichas de observaciones seleccionadas

Ficha No.	Observación	Ubicación	Actividad	Impacto	Medida	Observación	Observación	Observación	Observación	Observación	Observación	Observación	Observación	Observación
1	SDG											1		1
2	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO									1	
3	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CAMINOS				1				
4	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CAMINOS						1		
6	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN									1
8	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO			1					
10	PC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO				1			1	
11	PVB		CAPTACIÓN	PRESA	EMBALSE	VASO			1					
14	PVB-PB2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO				1				1
17	PB2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1
24	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	PATRULLERO								1
25	CP		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	CAJA PARTIDORA				1	1				
30	DG-PP	CA	APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	PATRULLERO			1					
33	DG-PP	TAE	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1
34	PVB y DG-PP	CA	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO					1				
38	PB6		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1
41	PP		APOYO	ABASTO	ABASTO PARA OPERACIÓN	PROVISIÓN PARA POTABILIZACIÓN				1				
62	TSI		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1
63	TSI		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO			1					1
64	TSI-TP		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO			1					
70	RN (CEAS)	T-0									1	1		1
72	RN	T-0	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO			1				1	
76	RN	T-1	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO							1	1
79	RN	T-1	APOYO										1	1
81	RN	T-2	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO			1				1	
89	RN	T-3	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA			1					1
90	RN (CFE)	T-0 y T-2									1	1		
91	T-4		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO							1	1

**NOMENCLATURA**

C:	Contaminación	E:	Emergencias	PC:	Presa Colorines	T2:	Toma No. 2
CA:	Canal a cielo Abierto	ED:	Estación Distribuidora	PP:	Planta Potabilizadora	T3:	Toma No. 3
CEAS:	Com. Est. de Aguas y Saneamiento	IOS:	Interrelación con Otros Sistemas	PVB:	Presa Valle de Bravo	T4:	Toma No. 4
CFE:	Com. Federal de Electricidad	M y C:	Mantenimiento y Conservación	PVV:	Presa Villa Victoria	TAE:	Túnel Agua Escondida
CMM:	Canal Martínez de Meza	O:	Operación	RG:	Riesgos Geológicos	TASJ:	Túnel Anaico-San José
CP:	Caja Partidora	PB2:	Planta de Bombeo No. 2	RN:	Ramal Norte	TP:	Tanque Pericos
CSL:	Conexión con Sistema Lerma	PB3:	Planta de Bombeo No. 3	SC:	Sistema Cutzamala	TSI:	Tanque Santa Isabel
D y C:	Diseño y Construcción	PB4:	Planta de Bombeo No. 4	SDG:	Subestación Donato Guerra	V:	Vigilancia
D y F:	Derrames y Filtraciones	PB5:	Planta de Bombeo No. 5	T0:	Toma No. 0	VR:	Vaso Regulador
DG:	Donato Guerra	PB6:	Planta de Bombeo No. 6	T1:	Toma No. 1		

detergente vertido por el lavado de ropa a un costado del canal a cielo abierto (ficha 30).

El personal de vigilancia parece no tomar en cuenta el peligro del vertido de agua con detergente en las presas y canales, quizás debido a la falta de su preparación técnica.

#### b) Diseño y Construcción

Se observa que en algunos casos en la fase de diseño y construcción no se previeron ciertas situaciones que, a lo largo de la operación del Sistema, se manifiestan como fuentes adicionales de peligro.

Tal por ejemplo, no se contempló el diseño de obras de desvío de escurrimientos para evitar la erosión del suelo del tanque Santa Isabel (ficha 63) e inclusive se han obstruido los colectores cercanos por la construcción de las líneas de tubería (ficha 64); asimismo, no se consideró, por un lado, la instalación de señales de precaución a la orilla del canal a cielo abierto o ante otros componentes vulnerables del Sistema, lo que puede resultar en accidentes que afecten las instalaciones del Sistema; y, por otro lado, la instalación de una cerca de protección en la Toma 3, lo que permite el acceso a personas ajenas al Sistema, que pueden ocasionar daños a las instalaciones (ficha 89).

El proceso de construcción dejó desechos constructivos, tales como las tuberías averiadas (ficha 8), que perjudican la imagen del Sistema.

Algunas obras de infraestructura en operación quedaron inconclusas, lo que puede perjudicar el funcionamiento de los componentes y partes correspondientes, como en el caso de las zanjias de desfogue de la caja partidora Donato Guerra (ficha 25).

Asimismo, se observan las dimensiones aparentemente insuficientes de las obras de desvío que permiten el paso de los escurrimientos pluviales en las Tomas 0, 1 y 2, y

que han sido obstruidas parcialmente por la existencia de material sedimentado (ficha 72).

#### c) Derrames y Filtraciones

Los derrames y filtraciones de agua ocasionan pérdidas y daños estructurales, así como alteraciones del medio físico de soporte. Entre varios lugares de sus manifestaciones, se destaca la tubería de desagüe de la caja partidora Donato Guerra (ficha 25).

Esta situación se agrava por la escasez de agua que sufren las poblaciones cercanas al Sistema, lo que ha propiciado que sus habitantes, para satisfacer la necesidad de éste vital líquido, alteren ciertos componentes, fracturando tuberías o abriendo las válvulas de aire por medio de palos o mangueras, aunque para ello tengan que romper las protecciones de dichos componentes. Como resultado, existen derrames permanentes de agua al quedarse las válvulas abiertas. Por ejemplo, en la válvula perteneciente a la tubería de CEAS, cerca de la Toma 0 (ficha 70).

#### d) Emergencias

Es importante tomar en cuenta que los desastres en el Cutzamala pueden resultar en pérdidas humanas y otros daños a los pobladores que viven y trabajan en la zona del peligro inducido por el Sistema, como puede suceder, por ejemplo, en el poblado localizado aguas abajo de la presa Colorines, en caso de un desbordamiento, tanto por lluvias intensas como por una falla operacional de las compuertas (ficha 10).

Asimismo, algunos acontecimientos externos pueden interrumpir la operación del Sistema, tal como el caso de accidentes de los camiones que transportan provisiones (ficha 41) y de los vehículos particulares que han caído en la presa Valle de Bravo y en

el canal a cielo abierto (ficha 34); por esta razón, también debe considerarse el cierre temporal de carreteras por causas ajenas al Sistema, ya que la interrupción de la comunicación terrestre puede alterar el funcionamiento normal del Cutzamala (ficha 14), al impedir la llegada del personal o de materiales y sustancias vitales para llevar a cabo los proceso.

La mayoría de los caminos de acceso a las instalaciones del Sistema son de terracería, ineficientes en tiempo de lluvias, lo que puede entorpecer o interrumpir el transporte del personal de vigilancia, mantenimiento y de atención de emergencias. Por ejemplo, cabe destacar las dificultades que presentan los caminos de acceso al tanque Santa Isabel (ficha 3) y al tanque Pericos.

#### e) Interrelación con Otros Sistemas

El Ramal Norte puede verse afectado por el peligro que surge de otros sistemas, a consecuencia de las fallas que éstos puedan sufrir. Como ejemplo, se tienen los cables de alta tensión que pasan sobre la Toma 0 y 2 (ficha 90), que en caso de caer, pueden dificultar o interrumpir las maniobras en la atención de emergencias y provocar graves consecuencias.

#### f) Mantenimiento y Conservación

Las deficiencias de mantenimiento y conservación, que si bien pueden considerarse tradicionalmente irrelevantes, pueden propiciar condiciones perjudiciales al estado de los componentes y del Sistema en general, desde dar una mala imagen, producir accidentes o hasta provocar emergencias mayores, tal como se manifiesta, por ejemplo, con la presencia de vegetación sobre los revestimientos de concreto de los taludes de las Tomas 0, 1, 2, 3 y 4 (fichas 76 y 91).

Vale la pena mencionar algunas manifestaciones más como el material sedimentado en las alcantarillas de las Tomas 0, 1 y 2 (fichas 72 y 81); así como los deterioros de los

caminos de terracería en la Toma 0, 2 y 3 (ficha 4), que dificultan el acceso al lugar, o bien, la cerca de protección de la Toma 1, la cual no cubre toda la zona, permitiendo el libre acceso a cualquier persona (ficha 79).

La situación se agrava por la deficiente inspección ya que, obviamente, los vigilantes no tienen la capacidad técnica necesaria para estimar el estado de conservación y riesgo de las instalaciones.

Si bien la falta de mantenimiento y conservación no perjudica, en forma directa e inmediata, al proceso de abasto de agua potable, a largo plazo produce deterioros en el Sistema, dando como resultado el empleo de recursos financieros mayores para la reparación que los originados por un mantenimiento preventivo y oportuno.

#### g) Operación

Una mala operación no sólo puede disminuir la eficiencia del Sistema Cutzamala, sino que además puede propiciar situaciones de emergencia. Por ello, es importante tomar en cuenta el poco personal de operadores con que cuenta el Sistema, quienes tienen que trabajar horas extras, lo que resulta en su consecuente cansancio, bajo rendimiento y el aumento de la probabilidad de ocurrencia de errores (ficha 2). Frecuentemente, los turnos nocturnos no se cubren totalmente y se desatiende el monitoreo de los equipos de medición. Para corregir estas deficiencias, en repetidas ocasiones se asignan las tareas de operación al personal de mantenimiento, quienes desafortunadamente no cuentan con la preparación adecuada.

#### h) Riesgos Geológicos

La seguridad de la infraestructura del Sistema depende del comportamiento de los suelos, por lo que es indispensable contar con estudios geotécnicos más profundos, tanto del terreno sobre el cual está asentado, como de los taludes próximos. Actualmente, existe una gran incertidumbre sobre la estabilidad de los taludes. A la

fecha se han manifestado los deslizamientos de talud en las proximidades de la torre de oscilación de PB2 (ficha 17), en el camino entre PB2 y Valle de Bravo (ficha 14), así como en las Tomas 0, 1 y 4 (fichas 76 y 91). De la misma manera presentan un peligro latente el talud ubicado sobre el portal de entrada del túnel Agua Escondida (ficha 33).

La erosión de los suelos, sobre los cuales están asentados los componentes y elementos del Sistema, también representa un alto riesgo a su inestabilidad, como es el caso de la línea de descarga de la torre de sumergencia de PB6 (ficha 38); o de la tubería y bases de la cerca y de las cajas de las válvulas de aire en el tanque Santa Isabel (ficha 62), debido a la falta de obras para el desvío de escurrimientos (ficha 63).

#### i) Vigilancia

Los actos delictivos que se presentan en torno al Sistema Cutzamala producen daños a las instalaciones; por ejemplo, la extracción ilícita del agua por la población aledaña (ficha 70), lo que a su vez, resulta en derrames de agua, debido a los daños al acueducto; asimismo, los robos de las varillas de la obra de toma del vaso Donato Guerra (ficha 24).

El mal estado de las cercas que protegen las instalaciones de las Tomas, permiten el acceso a personas ajenas a estos lugares, como pudo observarse en las Tomas 0 a 3 (fichas 79 y 89).

Además, la necesidad de ampliar las tareas de la vigilancia, así como de establecer su coordinación con otros cuerpos afines, se hace evidente por los actos delictivos ocurridos, como el asalto en Colorines y el secuestro del personal (ficha 6).

Complementando el análisis anterior con las 65 fichas restantes, se encontró un total de 126 casos de problemas, los cuales fueron clasificados de acuerdo con los nueve tipos de problemas detectados, obteniéndose la distribución de frecuencias absolutas y relativas que se presenta en la tabla III.12. Los detalles de la información correspondiente a las

fichas analizadas, se muestran en la tabla III.13, que contiene el número de ficha, el sitio observado, la ubicación dentro de la estructura del Sistema Productivo -donde se presentó la deficiencia- y el tipo de problema identificado.

**Tabla III.12 Distribución por tipo de los problemas detectados**

Mantenimiento y Conservación (M y C)	41	32.54%
Diseño y Construcción (D y C)	20	15.87%
Vigilancia (V)	17	13.49%
Riesgos Geológicos (RG)	14	11.11%
Emergencia (E)	10	7.94%
Derrames y Filtraciones (D y F)	9	7.14%
Contaminación (C)	6	4.76%
Operación (O)	5	3.97%
Interrelación con Otros Sistemas (IOS)	4	3.18%
<b>TOTAL</b>	<b>126</b>	<b>100%</b>

Puede observarse que, de manera general, el tipo de problemas que más se presenta en el sistema es de *Mantenimiento y Conservación*, con el 32.54% del total de las observaciones, seguido de *Diseño y Construcción*, con 15.87%; de *Vigilancia*, con 13.49%; y de *Riesgos Geológicos*, con 11.11%; los cuales están por arriba o son iguales a la media que es de  $126/9 = 14$  observaciones por tipo de problema, equivalente a 11.11%.

Asimismo, haciendo una distribución de los casos de problemas detectados por tipo y por subsistema, se obtiene la tabla III.14, mediante la cual puede realizarse un análisis de cada tipo de problema detectado por los subsistemas en los que se presentan, observando lo siguiente:

**Mantenimiento y Conservación.** De los 41 casos identificados, tres se presentan en el subsistema de *Captación* (7.32%); seis en el de *Conducción* (14.64%); cuatro en el de *Potabilización* (9.76%); cuatro en el de *Regulación* (9.76%); tres en el de *Distribución* (7.32%); y 21 en el de *Apoyo* (51.22%).

**Diseño y Construcción.** De los 20 casos identificados, uno se presenta en el subsistema de *Potabilización* (5%); dos en el de *Regulación* (10%); 17 en el de *Apoyo* (85%).

**Tabla III.13 Concentrado del análisis del total de fichas de observaciones**

Ficha No.	Sitio visitado		Dificultad en la estructura funcional del sistema productivo				Tipos de problemas identificados								
	Tramo o lugar	Subtramo	Subsistema	Parte	Componente	Elemento	C	DyC	DyF	E	IGS	MyC	O	RG	V
1	SDG														1
2	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO									1		
3	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CAMINOS				1					
4	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CAMINOS									
5	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EQUIPAMIENTO	SEÑALIZACIÓN		1							
6	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN										1
7	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO		1							
8	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO		1							
9	SC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	LÍNEA DE COMUNICACIÓN		1							1
10	PC		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO				1			1		
11	PVB		CAPTACIÓN	PRESA	EMBALSE	VASO	1								
12	PVB		CAPTACIÓN	PRESA	DESFOGUE	OBRA DE TOMA									1
13	PVB		CAPTACIÓN	PRESA	EMBALSE	CORTINA						1			
14	PVB-PB2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO				1				1	
15	PB2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	EDIFICIO						1			
16	PB2		CONDUCCIÓN	PLANTA DE BOMBEO	TORRE DE PROTECCIÓN	TORRE DE OSCILACIÓN			1						
17	PB2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1	
18	PB2-PB3		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CAMINOS				1					
19	PB4		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	INSTALACIÓN				1					
20	PB4		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	EDIFICIO		1							
21	PB4		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	INSTALACIÓN						1			
22	PB4		CONDUCCIÓN	PLANTA DE BOMBEO	EQUIPO DE BOMBEO	VÁLVULA							1		
23	PB4		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TUBERÍA	TAPA CIEGA						1			
24	SC		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	PATRULLERO									1
25	CP		REGULACIÓN	ARMARIO REGULADOR	CAJA PARTIDORA										
26	CP		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	VIGILANTE DE GUARDIA									1
27	DG-PP	CA	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO			1					1	
28	DG-PP	CA	CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	CANAL	CUERPO DEL CANAL						1			
29	DG-PP	CA	CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	CANAL	COMPUERTA			1						
30	DG-PP	CA	APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	PATRULLERO									
31	DG-PP	CA	CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	CANAL	CUERPO DEL CANAL						1			
32	DG-PP	CA	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO				1				1	
33	DG-PP	TAE	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1	
34	PVB y DG-PP	CA	APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO					1					
35	PVV		CAPTACIÓN	PRESA								1			
36	PVV		CAPTACIÓN	PRESA	DESFOGUE	VERTEDOR						1			
37	CMM		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO						1			
38	PB6		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO								1	

(continúa...)

**Tabla III.13 Concentrado del análisis del total de fichas de observaciones (...continuación)**

Ficha No.	Situación	Observación	Categoría	Subcategoría	Detalle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
39	PB6		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO									1
40	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	CÁRCAMO DE AGUAS CLARAS	VENTANA VERTEEDORA	1								
42	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	SECCIÓN DE CLORACIÓN	CILINDRO DE ALMACENAMIENTO						1			
43	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	SECCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO						1			
44	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	CASA DE CONTROL	DISPOSITIVO DE CONTROL						1			
45	PP		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	EDIFICIO						1			
46	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	SECCIÓN DE CONDUCCIÓN	DUCTO DE TRANSFERENCIA		1					1		
47	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	CASA DE CONTROL	DISPOSITIVOS DE CONTROL				1				1	
48	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	SECCIÓN DE CONDUCCIÓN	DUCTO DE RESIDUOS							1		
49	PP		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	PRETIL	1								
50	PP		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	EDIFICIO							1		
51	PP		POTABILIZACIÓN	PLANTA POTABILIZADORA	TANQUE DE FILTRACIÓN	CUERPO DEL TANQUE		1							
52	PP		APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	VIGILANTE DE GUARDIA									1
53	PB5		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO							1		
54	PB5		APOYO	INFRAESTRUCTURA	EQUIPAMIENTO	EQUIPO DE SEGURIDAD							1		
55	TSI		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TUBERÍA	VÁLVULA DE AIRE							1		
56	TSI		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA		1							1
57	TSI		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	TANQUE DE SECCIONAMIENTO	CUERPO DEL TANQUE							1		
58	TSI		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	TANQUE DE SECCIONAMIENTO	VENTANA VERTEEDORA							1		
59	TSI		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	TANQUE DE SECCIONAMIENTO	VENTANA VERTEEDORA	1						1		
60	TSI		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	TANQUE DE SECCIONAMIENTO	ADAPTADOR			1				1		
61	TSI		REGULACIÓN	CÁRCAMO REGULADOR	TANQUE DE SECCIONAMIENTO	ZANJA DE DESFOGUE		1							
62	TSI		APOYO												
63	TSI														
64	TSI/PP														
65	CSL		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TUBERÍA	SIFÓN			1				1		
66	CSL		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TUBERÍA	VÁLVULA DE AIRE									1
67	CSL		DISTRIBUCIÓN	CONEXIÓN	EQUIPO DE CONTROL	VÁLVULA							1		1
68	TASJ		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO		1							

(continúa...)

**Tabla III.13 Concentrado del análisis del total de fichas de observaciones (...continuación)**

Ficha	Sitio visitado		Deficiencia en la estructura funcional del sistema productivo				Tipos de problemas identificados									
	No.	Tramo o lugar	Subtramo	Subsistema	Parte	Componente	Elemento	C	DyC	DyF	E	IOS	M y C	O	RG	V
69	ED			DISTRIBUCIÓN	ESTACIÓN DISTRIBUIDORA	EQUIPO DE CONTROL	DISPOSITIVO DE OPERACIÓN						1			
70	RN (CEAS)	T-0							1			1				1
71	RN	T-0		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO						1		1	
72	RN	T-0		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO		1				1			
73	RN	T-0		DISTRIBUCIÓN	CONEXIÓN	EQUIPO DE CONTROL	VÁLVULA						1			
74	RN (CEAS)	T-0						1				1				
75	RN	T-0		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA						1			1
76	RN	T-1		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO						1		1	1
77	RN	T-1		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO		1				1			
78	RN	T-1		DISTRIBUCIÓN	CONEXIÓN	EQUIPO DE CONEXIÓN	CAJA DE CONEXIÓN	1								
79	RN	T-1		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA						1			1
80	RN	T-2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO						1		1	
81	RN	T-2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	OBRA DE CONTROL Y DESVÍO		1				1			
82	RN	T-2		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TÚNEL FALSO	CUERPO DEL TÚNEL						1			
83	RN	T-2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA						1			1
84	RN	T-2		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO			1							
85	RN	T-3		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO						1		1	
86	RN	T-3		DISTRIBUCIÓN	CONEXIÓN	EQUIPO DE CONEXIÓN	CAJA DE CONEXIÓN	1								
87	RN	T-3		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO			1				1			
88	RN	T-3		CONDUCCIÓN	ACUEDUCTO	TÚNEL FALSO										1
89	RN	T-3		APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	CERCA									1
90	RN (CFE)	T-0 y T-2									1	1				
91	T-4			APOYO	INFRAESTRUCTURA	ENTORNO FÍSICO	TERRENO						1			1
92	T-4			APOYO	INFRAESTRUCTURA	EDIFICACIÓN	INSTALACIÓN		1				1			
93	T-4			APOYO	PERSONAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO	PERSONAL DE PROTECCIÓN	VIGILANTE DE GUARDIA									1
<b>TOTALES=</b>								<b>6</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>41</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>17</b>

<b>NOMENCLATURA</b>							
C:	Contaminación	E:	Emergencias	PC:	Presa Colorines	T2:	Toma No. 2
CA:	Canal a cielo Abierto	ED:	Estación Distribuidora	PP:	Planta Potabilizadora	T3:	Toma No. 3
CEAS:	Com. Est. de Aguas y Saneamiento	IOS:	Interrelación con Otros Sistemas	PVB:	Presa Valle de Bravo	T4:	Toma No. 4
CFE:	Com. Federal de Electricidad	M y C:	Mantenimiento y Conservación	PVV:	Presa Villa Victoria	TAE:	Túnel Agua Escondida
CMM:	Canal Martínez de Meza	O:	Operación	RG:	Riesgos Geológicos	TASJ:	Túnel Analco-San José
CP:	Caja Partidora	PB2:	Planta de Bombeo No. 2	RN:	Ramal Norte	TP:	Tanque Pericos
CSL:	Conexión con Sistema Lerma	PB3:	Planta de Bombeo No. 3	SC:	Sistema Cutzamala	TSI:	Tanque Santa Isabel
D y C:	Diseño y Construcción	PB4:	Planta de Bombeo No. 4	SDG:	Subestación Donato Guerra	V:	Vigilancia
D y F:	Derrames y Filtraciones	PB5:	Planta de Bombeo No. 5	TO:	Toma No. 0	VR:	Vaso Regulador
DG:	Donato Guerra	PB6:	Planta de Bombeo No. 6	T1:	Toma No. 1		

Fichas seleccionadas para la tesis

**Tabla III.14 Distribución de los casos de problemas detectados por tipo y por subsistema**

Captación	5	3	0	1	0	0	0	1	0	0	5
Conducción	11	6	0	2	0	0	3	0	1	0	12
Potabilización	8	4	1	0	0	1	2	0	2	0	10
Regulación	6	4	2	0	0	0	2	1	0	0	9
Distribución	5	3	0	1	0	0	0	2	0	0	6
Apoyo	54	21	17	11	14	8	1	1	2	0	75
Otros que no dependen del Cutzamala	4	0	0	2	0	1	1	1	0	4	9
<b>TOTALES</b>	<b>93</b>	<b>41</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>126</b>

**Vigilancia.** De los 17 casos identificados, uno se presenta en el subsistema de *Captación* (5.88%); dos en el de *Conducción* (11.76%); uno en el de *Distribución* (5.88%); 11 en el de *Apoyo* (64.70%). Además, se presenta en otras instalaciones que no dependen del Sistema Cutzamala, tales como un caso en la subestación Donato Guerra de CFE (5.88%) y otro en los dispositivos de CEAS (5.88%).

**Riegos Geológicos.** Los 14 casos identificados se presentan en el subsistema de *Apoyo* (100%).

**Emergencias.** De los 10 casos identificados, uno se presenta en el subsistema de *Potabilización* (10%) y ocho en el de *Apoyo* (80%). Así como un caso que se presenta en otras instalaciones que no dependen del Sistema Cutzamala (10%), correspondiente a las líneas de alta tensión de CFE.

**Derrames y Filtraciones.** De los nueve casos identificados, tres ocurren en el subsistema de *Conducción* (33.33%); dos en el de *Potabilización* (22.22%); dos en el de *Regulación* (22.22%); y uno en el de *Apoyo* (11.11%). Así como un caso en otras

instalaciones que no dependen del Sistema Cutzamala, correspondiente a los dispositivos de CEAS (11.11%)

**Contaminación.** De los seis casos identificados, un caso se presenta en el subsistema de *Captación* (16.67%); uno en el de *Regulación* (16.67%); dos en el de *Distribución* (33.33%); y uno en el de *Apoyo* (16.67%). Así como un caso que se presenta en otras instalaciones que no dependen del Sistema Cutzamala, correspondiente a los dispositivos de CEAS (16.67%).

**Operación.** De los cinco casos identificados, uno se presenta en el subsistema de *Conducción* (20%); dos en el de *Potabilización* (40%); y dos en el de *Apoyo* (40%).

**Interrelación con Otros Sistemas.** Los cuatro casos identificados surgen por deficiencias o peligros provenientes de otras instalaciones que no dependen del Sistema Cutzamala, correspondientes a dos casos con la CFE, uno con la subestación Donato Guerra (25%) y otro con las líneas de alta tensión (25%), así como a dos casos con los dispositivos de CEAS (50%).

De igual forma, con la misma tabla III.14, puede realizarse un análisis de los subsistemas que integran el Cutzamala por los tipos de problemas que se presentan en cada uno de ellos, observando lo siguiente:

**Captación.** De los cinco problemas identificados, uno es por Contaminación (20%), tres por Mantenimiento y Conservación (60%), y otro por Vigilancia (20%).

**Conducción.** De los 12 problemas identificados, tres son por Derrames y Filtraciones (25%), seis por Mantenimiento y Conservación (50%), uno por Operación (8.33%), y dos por Vigilancia (16.67%).

**Potabilización.** De los 10 problemas identificados, uno es por Diseño y Construcción (10%), dos por Derrames y Filtraciones (20%), uno por Emergencias (10%), cuatro por Mantenimiento y Conservación (40%), y dos por Operación (20%).

**Regulación.** De los nueve problemas detectados, uno es por Contaminación (11.11%), dos por Diseño y Construcción (22.22%), dos por Derrames y Filtraciones (22.22%), y cuatro por Mantenimiento y Conservación (44.44%).

**Distribución.** De los seis problemas identificados, dos son por Contaminación (33.33%), tres por Mantenimiento y Conservación (50%), y otro por Vigilancia (16.67%).

**Apoyo.** De los 76 problemas detectados, uno es por Contaminación (1.32%), 17 por Diseño y Construcción (22.37%), uno por Derrames y Filtraciones (1.32%), ocho por Emergencias (10.53%), 21 por Mantenimiento y Conservación (27.63%), dos por Operación (2.63%), 14 por Riesgos Geológicos (18.42%), y 11 por Vigilancia (14.47%).

**Sistemas independientes al Cutzamala.** De los ocho problemas identificados, uno es por Derrames y Filtraciones (12.5%), uno por Emergencias (12.5%), cuatro por Interrelación con Otros Sistemas (50%) y dos por Vigilancia (25%).

Se puede concluir que, de los principales tipos de problemas identificados en el Sistema Cutzamala (de Mantenimiento y Conservación, de Diseño y Construcción, de Vigilancia y de Riesgos Geológicos), la mayor parte de éstos ocurren en el subsistema de Apoyo.

Para los correspondientes a Emergencias, que si bien no se detectaron muchos casos, es importante considerar y señalar que la frecuencia más alta de este tipo de problemas ocurre también en el subsistema Apoyo.

Por lo que respecta a los tipos de problemas identificados con una menor frecuencia, es importante destacar que, a pesar de esto, no son menos relevantes, ya que los resultados del análisis anterior tienen que considerarse como indicadores para la toma de decisiones, tanto en la etapa de diagnóstico como durante el proceso normal de operación y mantenimiento del Sistema.

En el subcapítulo siguiente se darán algunas sugerencias y recomendaciones para su atención.

#### **III.4 Elaboración de sugerencias**

La elaboración de sugerencias para resolver las deficiencias identificadas en el subcapítulo anterior, a través del análisis de la problemática detectada, debe determinar un conjunto de acciones y actividades correspondientes a los componentes del Sistema Cuztamala en lugares específicos.

Es por ello, que en la tabla III.15 se presenta una parte de las sugerencias realizadas en su tiempo, dentro del Proyecto General, que integra 18 acciones específicas en los sitios determinados.

Para facilitar la mejor realización de cada una de las sugerencias, se menciona explícitamente tanto la deficiencia como las fichas correspondientes.

**Tabla III.15 Sugerencias para la atención de los problemas detectados**

1	Eliminar el derrame	Derrame continuo en la tubería de desagüe	Caja partidora Donato Guerra	25
2	Concluir la obra	Zanja de desfogue inconclusa	Caja partidora Donato Guerra	25
		Cerca de protección incompleta	Toma 1	79
3	Obtener apoyo externo	Carencia de vigilancia	Subestación Eléctrica Donato Guerra	1
		Deslave de talud que afectó el camino	Camino PB2-PVB	14
4	Realizar estudios geotécnicos y reforzar, en su caso	Erosión en el terreno de la tubería de baja presión	PBG	38
		Deslizamiento de talud cercano a la torre de oscilación	PB2	17
		Erosión en el terreno	Tanque Santa Isabel	62
		Desprendimiento de taludes cercanos a las instalaciones	Toma 1	76
			Toma 4	91
		Taludes en peligro de desprenderse cerca del edificio	Toma 4	91
5	Mejorar los caminos	Erosión en los caminos de acceso	Tomás 0, 2 y 3	4
		Dificultades del acceso por los caminos de terracería	Caminos del Sistema	3 y 4
6	Mejorar las condiciones del suelo	Talud pronunciado sin protección en el portal de entrada	Túnel Agua Escondida	33
		Erosión en el terreno	Tanque Santa Isabel	62
7	Hacer obra de desvío	Erosión en el terreno	Tanque Santa Isabel	62
		Erosión en los caminos de acceso	Toma 0, 2 y 3	4
		Carencia de obra de desvío	Tanque Santa Isabel	63
8	Concientizar a la población	Uso inapropiado del agua	Canal a cielo abierto	30
9	Resguardar	Falta de cerradura en la cerca	Subestación Eléctrica Donato Guerra	1
10	Orientar o reforzar la vigilancia	Uso inapropiado del agua	Canal a cielo abierto	30
		Robo de materiales constructivos	Vaso Donato Guerra	24
		Posible conexión ilícita en la línea de conducción de CEAS	Línea cercana a la Toma 0	70
11	Establecer vigilancia de guardia	Carencia de vigilancia de guardia	Toma 1	79
12	Retirar y limpiar	Obstrucción parcial de la alcantarilla por acumulación de material arrastrado	Toma 0	72
			Toma 2	81
13	Averiguar la posibilidad de retirar el elemento constructivo adverso	Tubería de abastecimiento de agua para los pobladores de la cercanía	Toma 3	89
14	Colocar elemento faltante o fuera de su lugar	Falta de cerca de protección	Toma 3	89
15	Revisar y mejorar obra de desvío	Posible insuficiencia en el dimensionamiento del alcantarillado	Toma 0	72
			Toma 2	81
16	Quitar maleza	Existencia de maleza en los revestimiento de los taludes	Toma 1	76
			Toma 4	91
17	Avisar a CEAS para su reparación	Derrame en una válvula de la línea de CEAS	Línea cercana a la Toma 0	70
		Posible conexión ilícita en la tubería de CEAS		
18	Prever en el plan de emergencia	Cables de alta tensión sobre la toma	Toma 0 y 2	90

*"El verdadero descubrimiento no está en encontrar nuevas tierras, sino en verlas desde otra perspectiva".*

*Marcel Proust*

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

Basados en un esquema de planeación, se elaboró el diagnóstico del sistema productivo del Cutzamala, a través de su conceptualización y de la identificación de su problemática.

Para ello, mediante el empleo de los enfoques sistémico y cibernético, así como con el paradigma de los sistemas de flujo continuo, se determinó la estructura del *sistema productivo* del Cutzamala, quedando integrada por seis subsistemas, con cuatro niveles de desagregación funcional para cada uno de ellos. La conceptualización del *sistema productivo* permitió describir sistemáticamente cada uno de estos niveles, conformado además por 12 partes, 46 componentes y 191 elementos (ver Anexo). Asimismo, se determinó la definición de las funciones de cada uno de los integrantes del sistema productivo.

Basados en el área de Investigación Interdisciplinaria de Desastres, así como en el empleo de programas de cómputo y en el estudio del propio Sistema, se identificaron los problemas apremiantes relacionados con la confiabilidad del sistema productivo del

Cutzamala ante la ocurrencia de fenómenos destructivos, clasificándolos en nueve rubros: *Contaminación (C)*, *Diseño y Construcción (D y C)*, *Derrames y Filtraciones (D y F)*, *Emergencias (E)*, *Interrelación con Otros Sistemas (IOS)*, *Mantenimiento y Conservación (M y C)*, *Operación (O)*, *Riesgos Geológicos (RG)* y *Vigilancia (V)*. A la vez, se proporcionaron las sugerencias y recomendaciones específicas para atender, en forma inmediata, las deficiencias encontradas y presentadas en el subcapítulo III.4.

Además, a continuación se presenta la descripción de algunas conclusiones generales y recomendaciones que fueron elaboradas al término del diagnóstico, dentro del Proyecto General [18,27]. Cabe señalar que las conclusiones se presentan con letra normal, en tanto que las recomendaciones con letra cursiva y sangría distinta, complementadas, en su caso, con el número del renglón correspondiente dentro de la tabla III.15 del subcapítulo III.4.

- Al no tomar en cuenta, durante el diseño, todos los fenómenos destructivos y sus encadenamientos, así como al no prever los cambios adversos al entorno que pueden surgir en consecuencia de la construcción del Sistema, se disminuye la confiabilidad del Cutzamala ante la ocurrencia de los desastres.

*Resulta necesario realizar un estudio general de los riesgos latentes a los cuales está expuesto el Sistema, para determinar las medidas de su reducción, incluyendo los criterios para ajustar el diseño de futuras etapas constructivas. En tanto, se recomienda realizar las sugerencia 5 a 7, 12, 14 y 15.*

- La alteración de los elementos previstos en el diseño durante la construcción, los desechos constructivos, así como algunos acabados imperfectos y las obras inconclusas, pueden provocar accidentes mayores, perjudicar la seguridad del personal y de las obras y, además, deteriorar la imagen del Sistema.

*Se sugiere mejorar el proceso de control para la construcción y entrega de las obras, así como dar más atención a la imagen del Cutzamala. En tanto, procede implantar las recomendaciones 2, 12 y 14.*

- Los paros del proceso de construcción obligan a llevar a cabo un mantenimiento o reparación de obras aún antes de que empiece su operación, además de que resultan en pérdidas económicas debido a los robos de material.

*Es recomendable mejorar la planeación del proceso de construcción de la última etapa, así como aprovechar la experiencia para el desarrollo de nuevos sistemas.*

- La falta de mantenimiento y conservación, trae como consecuencia el deterioro de las obras y equipos, que no sólo repercute en altos costos de reparación, sino en el incremento del peligro de una situación de emergencia.

*Se debe contar con la elaboración de programas de mantenimiento y de inspección, en donde se contemplen los criterios correspondientes. En tanto, se recomienda seguir las sugerencias 1, 5, 7, 12, 14 y 16, así como mantener un seguimiento de las reparaciones.*

- La reparación de los componentes y elementos del Cutzamala constituye una prioridad, debido a la importancia que revista rehabilitar los servicios alterados a la brevedad posible.

*Es crucial contar con un sistema de vigilancia técnica para identificar las fallas, así como con un stock de piezas para reparaciones y un procedimiento para su pronta obtención.*

- La falta de puntos de guardia permanentes, así como la ausencia de control sobre los vigilantes, aunado a la falta de apoyo externo y coordinación, repercuten en robos y aumento de ilícitos, tanto por personas ajenas al Cutzamala, como por el mismo personal.

*Es necesario elaborar un programas de vigilancia, donde se considere el establecimiento de guardias permanentes en puntos estratégicos y críticos, el mejoramiento de las rutas de rondines de patrullas, con un adecuado control de los vigilantes, así como una selección del personal más consciente. En tanto, se recomienda llevar a cabo las sugerencias 2, 9, 10, 11, 13 y 14, así como mejorar las condiciones de trabajo de vigilancia y, en particular, el estado de las casetas.*

- La incapacidad de vigilantes para reportar las insuficiencias de mantenimiento y conservación de los distintos componentes y elementos, así como de las alteraciones adversas del entorno del Sistema, resulta en la tardía identificación de las tendencias peligrosas y de las fallas existentes con lo que se disminuye la confiabilidad.

*Se sugiere capacitar a los vigilantes y formar cuerpos especiales de inspección técnica, contemplando el rediseño del sistema de vigilancia e inspección técnica.*

- Algunas manifestaciones anómalas, que surgen tanto del diseño como de la construcción y la operación, no se toman en cuenta por los vigilantes, debido a que son aparentemente sin importancia; sin embargo, éstas pueden ser precursores y, además, provocar eventos perturbadores de mayores consecuencias.

*Debido a la prioridad que tiene la atención de emergencias, es vital desarrollar un programa de monitoreo y pronóstico de las situaciones extraordinarias. No obstante, conviene aplicar las recomendaciones 8, 12 y 14.*

- Salvo en las estaciones de las plantas de bombeo y de la planta potabilizadora, el estado actual de funcionamiento del Sistema se ve afectado por el ineficiente proceso de identificación y seguimiento de las diversas fallas, así como de monitoreo y diagnóstico del estado de sus componentes y elementos, debido a la falta de normas y criterios adecuados.

*Atender las necesidades de la inspección técnica, dentro del diseño de una estructura organizativa que permita mejorar la confiabilidad del Sistema. En tanto, se sugiere prestar, en lo posible, más atención a los diversos componentes del Sistema y, en forma especial, a aquellos que resultan vitales.*

- Los problemas que enfrenta la operación, tanto por la falta de personal de operación como por la asignación de estas funciones al personal de mantenimiento, no capacitado para realizarlos, así como por la falta de reglamentos para prevenir y atender las situaciones de emergencia, aumentan la probabilidad de la interrupción del abasto de agua en bloque y de la disminución de su calidad.

*Se considera importante establecer políticas realistas para contratar el personal necesario o, en su caso, brindar la capacitación adecuada al personal existente y llevar a cabo el control de sus labores. Así como elaborar y aplicar los reglamentos pertinentes e incrementar el empleo de dispositivos de seguridad.*

- La información sobre las emergencias ocurridas, tanto en el Sistema como en el entorno poblacional y físico, así como sobre las medidas tomadas para su atención es vital para responder y estar preparados ante otras situaciones. Sin embargo, debido a la falta de bitácoras y bases de datos correspondientes y al alto índice del movimiento de personal, no se pueden aprovechar las experiencias.

*Resulta necesario mantener un registro único de las situaciones de emergencia, a través de bases de datos, identificando tanto las causas como las medidas tomadas y evaluando su eficiencia; además de contar con una entidad responsable, explícitamente para su levantamiento, mantenimiento y control.*

- La falta generalizada de medidas y medios para atender y coordinar una situación de emergencia es evidente en el Cutzamala, lo que puede llegar a interrumpir el abasto de agua por un tiempo prolongado.

*Se considera como prioridad la identificación de las posibles situaciones de emergencia, el desarrollo de los programas para afrontarlas y el diseño de un órgano responsable. Sin embargo, en tanto, es urgente ejecutar la sugerencia 4.*

- Las fallas de algunos elementos y componentes del Sistema provocan daños a la población aledaña y al medio ambiente, en tanto que los accidentes de transporte y los eventos de carácter socio-organizativo interrumpen el proceso productivo.

*Es indispensable tomar en cuenta el peligro inducido por el Cutzamala a su entorno, así como las necesidades de la coordinación con los municipios y estados de México y Michoacán para el desarrollo de las medidas de prevención y atención de emergencias.*

- Hay que tomar en cuenta que, además, una falla en uno de los componentes o elementos de CEAS puede afectar el funcionamiento del Sistema Cutzamala.

*Se recomienda asegurar el buen estado de ambos Sistemas, a través de la adecuada comunicación sobre las deficiencias encontradas entre ellos para su oportuna reparación. En tanto, conviene realizar la sugerencia 17.*

- Si bien el personal y la administración del Cutzamala son conscientes del peligro que presentan las fugas como disminución de la capacidad productiva del Sistema, existen derrames y filtraciones que a la larga afectan las cimentaciones y estructuras, además de que debilitan el soporte físico.

*Se considera indispensable sensibilizar al personal, a través de programas de capacitación y divulgación, sobre el peligro que surge de cualquier tipo de derrame, con el fin asegurar la pronta reparación y medidas de mantenimiento preventivo.*

- Existen altos riesgos latentes que en un momento pueden revelarse a través de graves daños con la consecuente interrupción del abasto de agua potable o con la disminución de su calidad. En la propuesta del Proyecto General, se enfatizaba la necesidad de realizar estudios profundos de los diversos peligros a los cuales está propenso el Sistema, así como de la vulnerabilidad de sus componentes y elementos, con el fin de contar con las medidas de reducción de riesgos; sin embargo, se optó por iniciar con un estudio cualitativo para cubrir las necesidades inmediatas de una situación de emergencia.

*Bajo la luz de la información obtenida, se confirmó dicha propuesta, por lo que se recomienda continuar con los estudios cuantitativos y detallados de los riesgos.*

- Debido a la magnitud e importancia que tiene el Cutzamala, como el más grande proveedor de agua potable y como un estereotipo de acueductos regionales en México, su operación y desarrollo constituyen un permanente reto y no sólo implican la necesidad de cubrir los estudios faltantes, sino de contar con estudios permanentes del Sistema y de su entorno para conocer y resolver los problemas que enfrenta, así como asegurar la captura, integración y difusión de la información.

*Es aconsejable establecer una unidad propia de investigación y desarrollo del Sistema Cutzamala y de su entorno, que permite llevar a cabo estudios, así como las funciones adicionales de difusión y capacitación. Evidentemente, el gasto que implique esta unidad constituiría una ínfima parte del costo del Sistema.*

- La falta de coordinación con el entorno socio-político del Cutzamala perjudica su funcionamiento, altera el proceso productivo, repercute en actos de destrucción a sus componentes y elementos, y los deja sin apoyo para mantenerlos en buen estado y enfrentar las situaciones de emergencia.

*Es urgente mejorar la imagen del Sistema, promover las relaciones con la población aledaña y fomentar el enlace con los municipios y otros organismos con*

*el fin de establecer convenios de cooperación mutua. Una prioridad lo constituye la puesta en marcha de las recomendaciones 3 y 8.*

Cabe mencionar que los resultados obtenidos del diagnóstico del Cutzamala establecieron las bases para elaborar otros estudios dentro de la primera etapa del proyecto de investigación "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala", tales como: los escenarios de desastre, la estructura de los programas de seguridad y salvaguarda, así como la organización necesaria para su desarrollo y ejecución.

Finalmente, es importante destacar que los resultados del diagnóstico contribuyen al mejoramiento del Cutzamala, ya que pueden ser empleados para elaborar el levantamiento de su inventario y capacitar a su personal, por mencionar algunas aplicaciones.

Además, el enfoque y la metodología se consideran de gran trascendencia para futuros proyectos de investigación, tanto para el mismo Cutzamala como para cualquier estudio relacionado con Sistemas de Abasto de Agua Potable.

*El conocimiento es como el fuego, que primero debe ser encendido por algún agente externo, pero que después se propaga por sí solo.*

*Samuel Johnson*

## **A N E X O**

### **ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA CUTZAMALA**

Como se mencionó en el capítulo III, una de las primeras tareas a realizar para los estudios del Sistema Cutzamala se basó en la determinación o conceptualización de la estructura funcional de su sistema productivo, debido a que constituye un fundamento sólido para el desarrollo del resto del estudio. En este contexto, a continuación se presenta dicha estructura, descrita en el capítulo III, incluyendo la definición de las funciones de todos los subsistemas, partes, componentes y elementos, integrantes del Sistema.

Cabe mencionar que debido a la falta de normatividad en el empleo de términos, las definiciones que a continuación se presentan, se sustentan en la información disponible en su momento -visitas de campo, entrevistas al personal, documentos internos y externos al sistema, etc.-, así como en la terminología usada por el personal del Sistema, es por ello que podrá ser modificada -la estructura funcional o sus definiciones- en el momento en que nueva información o cambios propios generados a través del tiempo en el Sistema Cutzamala lo justifiquen.

Para facilitar la lectura, se decidió presentar la estructura funcional del Sistema Cutzamala y las definiciones en la tabla A.1, organizada por subsistema y dividida en tres columnas.

En la primer columna se localiza la clave de identificación de cada término, la cual se integra por un identificador para cada nivel de desagregación funcional. En este sentido, se decidió utilizar un número romano para identificar a los subsistemas, una letra mayúscula para las partes, un número arábico para los componentes, al igual que el elemento.

La clave se integra, finalmente, por toda la ruta de desagregación funcional, comprendiendo desde el subsistema en cuestión hasta el nivel deseado. Por ejemplo, el subsistema Captación se identifica por la clave "I"; la parte Presa, que pertenece al subsistema de Captación por la clave "I.A", el componente Embalse, perteneciente a la parte Presa, le corresponde la clave "I.A.1"; y el elemento Vaso, perteneciente al componente Embalse, se distingue por la clave "I.A.1.1".

En la segunda columna, se presenta cada uno de los términos que integran la estructura funcional del Sistema Cutzamala, en cuatro sub-columnas, correspondientes a los cuatro niveles de desagregación funcional. Así, la primer columna corresponde a los subsistemas, la segunda a las partes, la tercera a los componentes y la cuarta a los elementos.

Finalmente, en la tercer columna, se presenta la definición de los términos correspondientes, mostrados en la columna anterior.

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
I	<b>CAPTACIÓN</b>				El subsistema de captación tiene como función recibir el agua de los escurrimientos de la cuenca alta del Cutzamala, a través de las presas, que constituyen su única parte.
I.A	<b>Presas</b>				Las presas tienen como función almacenar el agua para su posterior conducción.
I.A.1	<b>Embalse</b>				Captar y contener el agua de los escurrimientos y ríos, así como de otras presas.
I.A.1.1	<b>Vaso</b>				Almacenar el agua detenida por la cortina.
I.A.1.2	<b>Cortina</b>				Obstaculizar el flujo para retener el agua.
I.A.1.3	<b>Obra de captación</b>				Captar el agua proveniente de un acueducto o de un río.
I.A.2	<b>Desfogue</b>				Dar salida al flujo de agua requerido por el sistema, así como a las excedencias del almacenamiento.
I.A.2.1	<b>Obra de toma</b>				Entregar el agua almacenada en la presa al acueducto por unos pasajes o ductos, que atraviesan la cortina y que permiten la regulación del flujo.
I.A.2.2	<b>Vertedor</b>				Permitir la salida de los volúmenes excedentes de agua que rebasen el nivel máximo de operación, esto es, lo que exige la seguridad de la obra.
II	<b>CONDUCCIÓN</b>				El subsistema de conducción tiene como función transferir el agua entre dos subsistemas; por ejemplo, desde los puntos de captación hasta la planta potabilizadora y de ésta a los tanques de regulación y, así, a los puntos de entrega.
II.A.	<b>Acueducto</b>				El acueducto tiene como función conducir el agua de un punto a otro, a través de sus diversos componentes, como pueden ser los canales, las tuberías y los túneles.
II.A.1	<b>Canal</b>				Conducir el agua por gravedad por medio de bloques de concreto de seccionamiento trapezoidal, construidos in situ, en donde la parte superior puede ser abierta o cerrada con una tapa.
II.A.1.1	<b>Cuerpo del canal</b>				Guiar y mantener el agua.
II.A.1.2	<b>Puente canal</b>				Conducir el agua a través de un claro, aprovechando el canal haciéndolo trabajar como viga.
II.A.1.3	<b>Canal sifón</b>				Conducir el agua por debajo del nivel de la línea de conducción cuando atraviesa un obstáculo.
II.A.1.4	<b>Compuerta</b>				Controlar el desalojo total o parcial del agua del canal.
II.A.1.5	<b>Vertedor</b>				Dar salida al flujo excedente, cuando el agua rebasa un límite establecido que ponga en peligro al canal.
II.A.1.6	<b>Rejilla</b>				Impedir la entrada de algas y objetos de cierto tamaño.
II.A.1.7	<b>Tapa</b>				Impedir el acceso directo al interior del canal.
II.A.1.8	<b>Zanja de desfogue</b>				Drenar el agua desalojada.
II.A.2	<b>Tubería</b>				Conducir el agua, por gravedad o por bombeo, a través de ductos cerrados de sección circular que soportan grandes presiones interiores y exteriores.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continúa...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICION
	S	P	C	E	
II.A.2.1				Tubo	Conducir y mantener el agua.
II.A.2.2				Tubo corto	Ajustar la línea de conducción a una longitud determinada.
II.A.2.3				Tubo puente	Conducir el agua a través de un, claro aprovechando al tubo haciendolo trabajar como viga.
II.A.2.4				Sifón	Conducir el agua por encima del nivel de la línea de conducción cuando atraviesa un obstáculo.
II.A.2.5				Codo	Cambiar la dirección de la línea de conducción.
II.A.2.6				Te y ye	Unir o dividir dos líneas de conducción (la te se identifica por el ángulo de 90 grados, en tanto que a la ye le corresponde cualquier otro ángulo).
II.A.2.7				Reducción	Unir tubos con diámetros distintos.
II.A.2.8				Junta	Unir dos tubos y, por medio de las holguras, absorber los esfuerzos causados por algún tipo de movimiento.
II.A.2.9				Tapa ciega	Cerrar la salida de un tubo, tanto en las juntas de los extremos, como en el cuerpo del tubo.
II.A.2.10				Desagüe	Dar salida al agua total o parcial afuera del sistema.
II.A.2.11				Atraque	Evitar el movimiento en la unión de los elementos de la tubería, generalmente por medio de un dado de concreto.
II.A.2.12				Registro para inspección	Permitir el acceso para inspección.
II.A.2.13				Válvula de aire	Liberar de aire a la tubería, para facilitar la conducción del agua y evitar la socavación, así como llenarla con aire, en caso de su vaciado, para prevenir el colapso de la misma.
II.A.3				<i>Túnel</i>	Conducir el agua, por medio de un ducto cerrado, cuando se dificulta hacerlo a través de canales o tuberías, debido a la presencia de obstáculos, tales como cerros o montañas.
II.A.3.1				Cuerpo del túnel	Guiar y mantener el agua.
II.A.3.2				Portal de entrada	Permitir la entrada de agua al túnel, proveniente de los otros componentes del acueducto.
II.A.3.3				Portal de salida	Permitir la salida del agua del túnel a los otros componentes del acueducto.
II.A.3.4				Lumbrera	Realizar posibles visitas de inspección y mantenimiento al túnel (Si bien las lumbreras corresponden al proceso constructivo, se consideran estratégicas para, en dado caso, realizar dicha función).
II.A.3.5				Lumbrera vertedora	Dar salida al agua que excede la capacidad que puede contener el túnel.
II.A.4				<i>Túnel falso</i>	Conectar dos túneles por medio de un ducto con la misma sección que estos; o bien, conducir el agua aparentando un túnel para dar mayor protección al acueducto en un lugar de alto riesgo.
II.A.4.1				Cuerpo del túnel	Conducir y mantener el agua.
II.A.4.2				Portal de entrada	Permitir la entrada de agua proveniente de un canal, tubería o túnel.
II.A.4.3				Portal de salida	Permitir la salida de agua a los otros componentes del acueducto.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
II.A.4.4				Tapa ciega	Cerrar la salida del agua.
II.A.4.5				Equipo de medición	Medir el gasto hidráulico.
II.A.5				<i>Transición</i>	Conectar dos componentes distintos del acueducto.
II.A.5.1				Cuerpo de la transición	Ajustar la sección de un componente a la del otro.
II.A.5.2				Obra rompedora	Romper la energía cinética del agua.
II.A.5.3				Compuerta	Regular la transición del flujo entre los dos componentes.
II.B				<b>Planta de bombeo</b>	La planta de bombeo tiene como función ayudar a la conducción venciendo una altura requerida por medio de sus diversos componentes.
II.B.1				<i>Torre de protección</i>	Asegurar las condiciones hidráulicas requeridas del proceso de bombeo.
II.B.1.1				Torre de sumergencia	Mantener una columna de agua suficiente para la presión requerida por el equipo de bombeo.
II.B.1.2				Torre de oscilación	Evitar el golpe de ariete en la línea de conducción, debido a la alta presión ejercida por el bombeo.
II.B.2				<i>Equipo de bombeo</i>	Subir el agua de un nivel bajo a otro de mayor elevación.
II.B.2.1				Motor	Transformar la energía eléctrica en mecánica y transmitir esta última a la bomba.
II.B.2.2				Bomba	Ejercer presión al agua para vencer la altura requerida.
II.B.2.3				Válvula	Interrumpir el flujo para impedir el regreso de la columna de agua hacia las bombas, tanto en el momento de paro de los motores, como para realizar las reparaciones e inspecciones del equipo de bombeo.
II.B.2.4				Equipo de enfriamiento	disminuir la temperatura del motor para evitar un sobrecalentamiento.
II.B.3				<i>Tubería</i>	Conducir el agua de un componente, o elemento, a otro.
II.B.3.1				Tubería de baja presión	Conducir el agua de la torre de sumergencia hasta el equipo de bombeo.
II.B.3.2				Múltiple de succión	Repartir el agua de la tubería de baja presión a cada equipo de bombeo.
II.B.3.3				Múltiple de descarga	Recolectar el agua proveniente del equipo de bombeo.
II.B.3.4				Tubería de alta presión	Conducir el agua del equipo de bombeo hasta la torre de oscilación.
II.B.4				<i>Casa de Control</i>	Vigilar y controlar el funcionamiento de todo el proceso de bombeo.
II.B.4.1				Dispositivo de operación	Manejar los elementos de la planta de bombeo, en forma manual.
II.B.4.2				Dispositivo de control	Controlar el funcionamiento del equipo de bombeo, en forma automática.
II.B.4.3				Dispositivo de medición	Medir los parámetros relevantes del proceso de bombeo del agua, del nivel hidráulico de las torres y del estado del equipo de bombeo, así como el gasto que pasa por la tubería.
III				<b>POTABILIZACIÓN</b>	El subsistema de potabilización tiene como función transformar el agua cruda en agua potable, por medio de procesos físicos y químicos que se realizan en la planta potabilizadora, que constituye la única parte de este subsistema.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TERMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
III.A		<b>Planta potabilizadora</b>			La planta potabilizadora tiene como función realizar la potabilización al agua suministrada por el Sistema.
III.A.1		Tanque de recepción de aguas crudas			Recibir el agua cruda proveniente de las presas y regular el gasto de entrada al proceso de potabilización.
III.A.1.1		Caja de recepción			Captar el agua proveniente de las presas.
III.A.1.2		Caja de regulación			Cambiar el gasto de entrada al requerido para el proceso de potabilización.
III.A.1.3		Caja de distribución			Distribuir el agua a los canales de mezclado.
III.A.1.4		Compuerta			Regular el flujo de salida del agua a los canales de mezclado.
III.A.1.5		Vertedor			Dar salida al volumen excedente de agua que rebase el nivel máximo de operación correspondiente a la seguridad del tanque.
III.A.1.6		Rejilla			Detener algas y otros cuerpos de tamaño superior al prefijado.
III.A.1.7		Zanja de desfogue			Drenar el agua desalojada.
III.A.2		Sección de cloración			Dotar cloro con el fin de evitar el desarrollo de algas y de microorganismos durante el proceso de potabilización del agua.
III.A.2.1		Cilindro de almacenamiento			Almacenar el cloro.
III.A.2.2		Evaporador			Convertir el cloro líquido en gaseoso para facilitar su mezclado.
III.A.2.3		Equipo de dosificación			Dosificar y medir el cloro que se va a mezclar con el agua.
III.A.2.4		Premezcladora			Realizar un primer mezclado del cloro con agua.
III.A.3		Sección de sulfato de aluminio			Agregar sulfato de aluminio al agua, como coagulante, para activar la formación de flóculos.
III.A.3.1		Tanque de almacenamiento			Almacenar el sulfato de aluminio.
III.A.3.2		Equipo de dosificación			Dosificar y medir el sulfato de aluminio que se agrega al agua.
III.A.3.3		Premezcladora			Incorporar el sulfato de aluminio al agua en un premezclado.
III.A.4		Sección de polímero			Adicionar polímero al agua para ayudar a la formación de flóculos, acortando el tiempo de formación y haciéndolos más grandes.
III.A.4.1		Tanque de almacenamiento			Almacenar el polímero.
III.A.4.2		Equipo de dosificación			Dosificar y medir el polímero que se agrega al agua.
III.A.4.3		Premezcladora			Incorporar en un premezclado el polímero.
III.A.5		Sección de cal			Dotar cal para mantener el factor pH correcto del agua.
III.A.5.1		Siló de almacenamiento			Almacenar la cal.
III.A.5.2		Equipo de dosificación			Dosificar y medir la cal que se añade al agua.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TERMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
III.A.5.3			Mezcladora		Añadir, en caso de ser necesario, la cal requerida para devolverle al agua su correcto factor pH.
III.A.6			Tanque de Floculación		Aglomerar las partículas suspendidas, formando flocúlos para su posterior sedimentación.
III.A.6.1			Cuerpo del tanque		Captar y mantener el agua previamente mezclada con los reactivos.
III.A.6.2			Paleta		Mover el agua en forma lenta para favorecer la formación de flocúlos.
III.A.6.3			Motor		Transformar la energía eléctrica en mecánica para mover las paletas.
III.A.6.4			Compuerta		Regular el flujo de entrada del agua al tanque de floculación.
III.A.7			Tanque de Sedimentación		Sedimentar los flocúlos formados con el coagulante.
III.A.7.1			Cuerpo del tanque		Captar y retener el agua con los flocúlos para permitir la precipitación de estos.
III.A.7.2			Placa de alta tasa		Acelerar la precipitación de los flocúlos.
III.A.7.3			Canaleta		Captar el sobrenadante.
III.A.7.4			Succionadora de lodos		Aspirar los residuos depositados en el fondo del tanque de sedimentación.
III.A.7.5			Canal captador de lodos		Captar los residuos aspirados y conducirlos hacia el tanque separador de lodos.
III.A.7.6			Compuerta		Regular el flujo de salida de agua del tanque de floculación.
III.A.8			Tanque de filtración		Minimizar la materia coloidal y suspendida y las bacterias por medio de procesos mecánicos, biológicos y electrolíticos.
III.A.9			Cuerpo del tanque		Captar el agua sedimentada para realizar la filtración.
III.A.8.2			Lecho filtrante:		Retener la materia coloidal, la suspendida, los sólidos y las bacterias remanentes de la sedimentación.
III.A.8.3			Equipo de lavado		Inyectar agua y aire en sentido inverso al flujo de filtración para retirar las impurezas acumuladas en los lechos filtrantes, cuando estos lo requieran.
III.A.8.4			Compuerta		Regular el flujo de entrada del agua al tanque de filtración; así como la salida del agua de lavado.
III.A.9			Cárcamo de aguas claras		Colectar el agua potabilizada; este cárcamo tiene también la función de torre de sumergencia para la planta de bombeo #5.
III.A.9.1			Cuerpo del cárcamo		Captar el agua ya potabilizada.
III.A.9.2			Válvula		Permitir o impedir el paso del agua al cárcamo.
III.A.9.3			Compuerta		Controlar el flujo de salida del cárcamo.
III.A.9.4			Ventana vertedora		Dar salida a las excedencias de agua que pongan en peligro la estabilidad del cárcamo.
III.A.9.5			Desagüe		Dar salida total o parcial al agua hacia afuera del sistema.
III.A.9.6			Zanja de desfogue		Drenar el agua desalojada.
III.A.10			Tanque de recuperación de aguas de lavado de filtros		Captar el agua de lavado de los tanques de filtración y del tanque separador de lodos para su posterior retorno al tanque de recepción de aguas crudas.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TERMINO				DEFINICIÓN	
	S	P	C	E		
III.A.10.1					Cuerpo del tanque	Captar y contener el agua.
III.A.10.2					Motor	Transformar la energía eléctrica en mecánica y transmitir esta última a la bomba.
III.A.10.3					Bomba	Ejercer presión al agua para poder vencer la altura requerida.
III.A.10.4					Compuerta	Vigilar y controlar el funcionamiento de todo el proceso de bombeo.
III.A.11					<i>Sección de lodos residuales</i>	Recolectar, separar y canalizar los lodos obtenidos en la sedimentación.
III.A.11.1					Tanque separador de lodos	Separar los sólidos de los líquidos.
III.A.11.2					Presas de lodos	Captar los sólidos residuales.
III.A.12					<i>Sección de conducción</i>	Realizar la conducción requerida por el proceso de potabilización, así como algunas fases del mismo.
III.A.12.1					Ducto de transferencia	Conducir el agua de un tanque o sección a otro.
III.A.12.2					Canal de cloración	Realizar el mezclado del cloro líquido con el agua cruda.
III.A.12.3					Tubería de cloración	Transportar el cloro y el agua requerida para el premezclado.
III.A.12.4					Canal parshall	Medir el gasto.
III.A.12.5					Salto hidráulico	Mezclar el sulfato de aluminio con el agua.
III.A.12.6					Tubería del reactivo	Conducir el reactivo, tanto el puro como el premezclado.
III.A.12.7					Ducto de residuos	Conducir los lodos residuales del tanque de sedimentación al tanque separador de lodos; además, de este último, los sólidos a la presa de lodos, y los líquidos al tanque de recepción de aguas crudas.
III.A.13					<i>Casa de control</i>	Controlar el proceso de potabilización y la calidad del agua.
III.A.13.1					Dispositivo de control	Mantener y operar el proceso de potabilización.
III.A.13.2					Dispositivo de medición	Realizar las mediciones necesarias durante el proceso de potabilización.
III.A.13.3					Laboratorio	Analizar la calidad del agua.
IV					<b>REGULACIÓN</b>	El subsistema de regulación tiene como función asegurar un servicio continuo en la entrega del agua, ante interrupciones del suministro, a través de su almacenamiento temporal.
IV.A					<i>Cárcamo regulador</i>	El cárcamo regulador tiene como función regular el régimen y cambiar las condiciones hidráulicas durante la conducción del flujo, a través de dos componentes, la caja partidora y el tanque regulador.
IV.A.1					<i>Caja partidora</i>	Cambiar el régimen del flujo, de rápido a lento.
IV.A.1.1					Cuerpo de la caja	Contener el agua.
IV.A.1.2					Obra de captación	Captar el agua.
IV.A.1.3					Adaptador	Unir la tubería con la caja.
IV.A.1.4					Compuerta	Controlar la salida del agua de la caja.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TERMINO				DEFINICION
	S	P	C	E	
IV.A.1.5				Vertedor	Dar salida a los volúmenes de agua excedentes del nivel máximo de operación, contemplado para la seguridad de la caja.
IV.A.1.6				Desagüe	Dar salida al agua contenida en la caja hacia afuera del Sistema, para realizar las inspecciones, reparaciones requeridas o medidas de atención de situaciones de emergencia.
IV.A.1.8				Zanja de desfogue	Drenar el agua desalojada.
IV.A.2				Tanque de seccionamiento	Reducir la presión hidráulica debida a la diferencia de alturas durante su conducción.
IV.A.2.1				Cuerpo del tanque	Contener el agua.
IV.A.2.2				Obra de captación	Captar el agua proveniente de la línea de conducción.
IV.A.2.3				Adaptador	Unir la tubería con el tanque.
IV.A.2.4				Compuerta	Controlar la salida del agua.
IV.A.2.5				Ventana vertedora	Dar salida al flujo excedente del almacenamiento, impidiendo poner en peligro la obra, así como permitir la entrada de aire para la aereación.
IV.A.2.6				Desagüe	Dar salida al agua contenida en el tanque hacia afuera del Sistema, para realizar las inspecciones, reparaciones requeridas o medidas de atención de situaciones de emergencia.
IV.A.2.7				Zanja de desfogue	Drenar el agua desalojada.
IV.B				Depósito	El depósito tiene como función continuar el suministro de flujo, en caso de alguna suspensión temporal, a través del almacenamiento de una cantidad considerable de agua, bien sea por medio de un vaso o tanque.
IV.B.1				Vaso de almacenamiento	Proveer de agua a la planta potabilizadora durante la suspensión temporal del bombeo proveniente de Valle de Bravo.
IV.B.1.1				Vaso	Almacenar el agua.
IV.B.1.2				Obra de captación	Captar el agua.
IV.B.1.3				Cortina	Retener el flujo.
IV.B.1.4				Obra de toma	Entregar el agua almacenada.
IV.B.1.5				Vertedor	Permitir la salida de los volúmenes excedentes de agua que rebasen el nivel máximo de operación, esto es, el exigido por la seguridad del vaso de almacenamiento.
IV.B.2				Tanque de almacenamiento	Asegurar el flujo al subsistema de entrega, debido a la suspensión temporal del suministro proveniente de la planta potabilizadora.
IV.B.2.1				Cuerpo del tanque	Retener el agua.
IV.B.2.2				Obra de captación	Captar el agua.
IV.B.2.3				Adaptador	Unir la tubería con el tanque.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
IV.B.2.4				Línea de interconexión	Conducir el agua entre los tanques de almacenamiento.
IV.B.2.5				Compuerta	Controlar la salida del flujo.
IV.B.2.6				Ventana vertedora	Dar salida al flujo excedente del almacenamiento impidiendo poner en peligro la obra, así como permitir la entrada de aire para la aereación.
IV.B.2.7				Desagüe	Dar salida al agua contenida en la caja hacia afuera del Sistema, para realizar las inspecciones, reparaciones requeridas o medidas de atención de situaciones de emergencia.
IV.B.2.8				Zanja de desfogue	Drenar el agua desalojada.
V	<b>DISTRIBUCIÓN</b>				El subsistema de distribución tiene como función entregar el agua del Sistema, tanto al Estado de México como al Distrito Federal; las partes que lo constituyen son la estación distribuidora y las conexiones.
V.A		<b>Estación distribuidora</b>			La estación distribuidora tiene como función distribuir agua a los ramales norte y sur, correspondientes a C.E.A.S. y D.G.C.O.H., respectivamente.
V.A.1		<b>Estación</b>			Recibir el agua del Sistema y entregarlo a los ramales.
V.A.1.1		Cuerpo del túnel			Canalizar el agua para su entrega.
V.A.1.2		Lumbrera			Ubicar el equipo de control y permitir la inspección del túnel.
V.A.1.3		Portal de salida			Repartir el agua a los dos ramales.
V.A.2		<b>Equipo de control</b>			Controlar la salida del agua.
V.A.2.1		Compuerta			Regular el suministro del flujo a cada uno de los ramales.
V.A.2.2		Dispositivo de operación			Manejar las compuertas.
V.B		<b>Conexión</b>			La conexión tiene como función proporcionar parte del flujo a otros sistemas.
V.B.1		<b>Equipo de conexión</b>			Conectar al Sistema Cutzamala con otros sistemas.
V.B.1.1		Caja de conexión			Permitir la conexión de los elementos del Cutzamala con los de otros sistemas.
V.B.1.2		Atraque			Evitar el movimiento en la unión de los elementos de la conexión.
V.B.1.3		Te y ye			Desviar parte del flujo (la te se identifica por el ángulo de 90 grados, en tanto que a la ye le corresponde cualquier otro ángulo).
V.B.1.4		Tubo			Guiar el agua.
V.B.1.5		Codo			Cambiar la dirección del flujo.
V.B.2		<b>Equipo de medición</b>			Medir el gasto hidráulico.
V.B.2.1		Equipo de aforo			Medir el flujo entregado.
V.B.2.2		Equipo de registro			Registrar las mediciones.
V.B.3		<b>Equipo de control</b>			Controlar la entrega.
V.B.3.1		Válvula			Controlar la entrega del agua.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICION
	S	P	C	E	
V.B.3.2			Compuerta		Regular el flujo a suministrarse.
V.B.3.3			Dispositivo de operación		Manejar la válvula o la compuerta.
VI	<b>APOYO</b>				El subsistema de apoyo tiene como función complementar el desarrollo del proceso de abastecimiento de agua potable, realizado por el sistema de flujo continuo.
VI.A	<b>Subestación eléctrica</b>				La subestación eléctrica tiene como función suministrar el flujo eléctrico de la Comisión Federal de Electricidad para satisfacer las necesidades particulares del Sistema Cutzamala.
VI.A.1	<b>Equipo de transformación</b>				Adecuar las características del flujo eléctrico a los requerimientos del Sistema Cutzamala.
VI.A.1.1			Transformador de potencia		Transformar el voltaje de transmisión al requerido.
VI.A.1.2			Transformador de potencial		Transformar el voltaje para poderlo medir.
VI.A.1.3			Transformador de corriente		Transformar la corriente para poderla medir.
VI.A.2	<b>Equipo de control</b>				Controlar los componentes y elementos de la subestación.
VI.A.2.1			Dispositivo de control		Verificar, mantener y corregir, en su caso, la operación de la subestación.
VI.A.2.2			Dispositivo de medición		Medir, exhibir y registrar las características principales del funcionamiento de la subestación.
VI.A.3	<b>Equipo de protección</b>				Proteger los componentes y elementos de la subestación ante alteraciones en los procesos de transformación y de suministro eléctrico, así como ante otras situaciones de contingencia.
VI.A.3.1			Interruptor		Interrumpir, en caso de una sobrecarga o falla eléctrica, el abasto de energía eléctrica a la subestación, en forma manual o automática.
VI.A.3.2			Cuchilla		Asegurar, de manera manual, la interrupción de carga de una línea, generalmente para mantenimiento o reparación.
VI.A.3.3			Aparta rayos		Proteger la subestación contra descargas atmosféricas.
VI.A.4	<b>Equipo de emergencia</b>				Proveer de energía eléctrica para mantener la operación mínima de la subestación en caso de una falla general del abasto.
VI.A.4.1			Batería		Suministrar energía eléctrica para accionar el motor-generador y las luces de emergencia.
VI.A.4.2			Motor-generador		Generar energía eléctrica.
VI.A.4.3			Dispositivo de control		Controlar y apoyar el funcionamiento del equipo de emergencia.
VI.A.5	<b>Línea de conducción</b>				Conducir el flujo eléctrico.
VI.A.5.1			Cable		Transportar la energía eléctrica.
VI.A.5.2			Poste		Sostener los cables.
VI.A.5.3			Aislador		Sostener un cable mecánicamente y aislarlo de otro y/o de tierra.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICIÓN
	S	P	C	E	
VI.B	<b>Infraestructura</b>				La infraestructura tiene como función proporcionar el soporte físico al adecuado funcionamiento de los diferentes subsistemas que conforman el Cutzamala.
VI.B.1	<i>Entorno físico</i>				Proporcionar un ámbito físico estable, así como el enlace del Sistema Cutzamala con el exterior.
VI.B.1.1	Terreno				Situar al Sistema.
VI.B.1.2	Cerca				Impedir las intrusiones a las instalaciones del Sistema.
VI.B.1.3	Carretera				Enlazar las instalaciones correspondientes del Sistema Cutzamala entre sí, así como con otras localidades para permitir el movimiento y la transportación de personas y bienes.
VI.B.1.4	Obra de control y desvío				Evitar azoives y que el agua de escurrimientos ponga en peligro al sistema.
VI.B.1.5	Línea de comunicación				Proporcionar la posibilidad de la comunicación telefónica entre el personal y con el exterior.
VI.B.1.6	Línea eléctrica				Proporcionar energía eléctrica al sistema.
VI.B.2	<i>Edificación</i>				Brindar abrigo al personal, equipo y materiales del Sistema Cutzamala.
VI.B.2.1	Edificio				Proteger de la intemperie al equipo y personal del Sistema.
VI.B.2.2	Instalación				Dotar de los servicios requeridos (electricidad, agua, drenaje, etc.) para el bienestar del personal y el adecuado funcionamiento de los equipos.
VI.B.2.3	Pretil				Baranda que se coloca en los sitios peligrosos, para seguridad de las personas.
VI.B.3	<i>Equipamiento</i>				Proporcionar el equipo de apoyo necesario.
VI.B.3.1	Equipo de seguridad				Combatir las posibles situaciones de emergencia (extinguidores, botiquines, alarmas, etc.).
VI.B.3.2	Mobiliario				Brindar los elementos para la realización de las tareas operativas.
VI.B.3.3	Equipo de conservación				Brindar los elementos para la realización de las tareas de mantenimiento y reparación.
VI.B.3.4	Vehículos				Transportar al personal, materiales y equipos necesarios.
VI.B.3.5	Equipo de comunicación				Mantener la comunicación, alámbrica e inalámbrica, entre el personal que se encuentra en lugares distantes.
VI.B.3.6	Equipo de emergencia				Proveer de energía eléctrica, en caso de una falla general del abasto, para mantener la operación y funcionamiento mínimos de los equipos que lo requieran.
VI.B.3.7	Señalización				Placa o anuncio que sirve para anunciar o restringir. Se dividen en cuatro grupos: informativas, preventivas, restrictivas y de seguridad.
VI.C	<b>Abasto</b>				El abasto tiene la función de proveer sustancias, refacciones y materiales, en general, necesarias para realizar los procesos productivos, así como el mantenimiento y reparación.
VI.C.1	<i>Abasto para operación</i>				Proveer de las sustancias, materiales y refacciones necesarias para realizar los procesos productivos.
VI.C.1.1	Provisión para potabilización				Asegurar la disponibilidad de requerimientos necesarios para realizar el proceso de potabilización.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

(continua...)

**Tabla A.1 Definiciones de la estructura funcional del Sistema Cutzamala**

CLAVE	TÉRMINO				DEFINICION
	S	P	C	E	
VI.C.1.2			Provisión para bombeo		Asegurar la disponibilidad de requerimientos necesarios para realizar el bombeo.
VI.C.1.3			Provisión para transportación		Asegurar la disponibilidad de requerimientos necesarios para realizar la transportación.
VI.C.1.4			Viveres		Asegurar la disponibilidad de provisiones necesarias para la comida.
VI.C.2			<i>Abasto para conservación</i>		Proveer de las sustancias, materiales y refacciones necesarias para realizar las diversas modalidades de conservación.
VI.C.2.1			Provisión para mantenimiento		Asegurar la disponibilidad de requerimientos necesarios para realizar el mantenimiento.
			Provisión para reparación		Asegurar la disponibilidad de requerimientos necesarios para realizar el proceso de reparación.
VI.D			<i>Personal del sistema productivo</i>		El personal del sistema productivo tiene como función operar, vigilar y conservar el Sistema Cutzamala.
VI.D.1			<i>Personal operativo</i>		Realizar las actividades operativas del sistema productivo.
VI.D.1.1			Chofer		Operar los vehículos del Sistema.
VI.D.1.2			Operador de equipo		Operar los equipos del Sistema.
VI.D.1.3			Personal de intendencia		Asear y atender los servicios menores.
VI.D.2			<i>Personal de conservación</i>		Realizar las actividades de conservación del sistema productivo.
VI.D.2.1			Personal de mantenimiento		Conservar en buen estado los equipos del sistema.
VI.D.2.2			Personal de reparación		Componer el equipo y reemplazar las piezas que lo requieran.
VI.D.3			<i>Personal de protección</i>		Proteger el personal y los bienes del Sistema, así como inspeccionar su estado e integridad física.
VI.D.3.1			Vigilante de guardia		Vigilar desde un puesto fijo.
VI.D.3.2			Patrullero		Realizar rondines.

S = Sistema; P = Parte; C = Componente; E = Elemento

*Ningún gran hombre vive en vano.  
La historia de la humanidad no es sino  
la biografía de los grandes hombres.*

*Thomás Carlyle*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 **Gelman O.** *Desastres y Protección Civil; Fundamentos de Investigación Interdisciplinaria.* Instituto de Ingeniería, UNAM, 1a edición, México, 1996, 158 pp.
- 2 **Gelman O.** *El enfoque sistémico para estudiar desastres.* Boletín Instituto de Ingeniería, Vol. V, No. 14, UNAM, 1979, pp 1-2.
- 3 **Gelman O., Rangel J.L.** *Los desastres vistos bajo el enfoque sistémico. El diseño de un sistema de salvaguarda.* Simposium: Los asentamientos Humanos y la Falla de San Andrés, Tijuana, B.C., Septiembre, 1979.
- 4 **Gelman O., Riveros F., Rangel J.L.** *La Ingeniería en Casos de Desastre.* Examen del Ier. Seminario Nacional, Marzo 1979, 54 pp.
- 5 **Gelman O., Macías S.** *Aplicación del enfoque sistémico para el estudio interdisciplinario de desastres.* Resúmenes extendidos. Conferencia Mundial de Sistemas, Caracas, XXI, Julio, 1983, pp 6-7.
- 6 **Gelman O., Negroe G.** *La planeación como un proceso básico en la conducción.* Revista de la Academia Nacional de Ingeniería (ANIAC), Vol. 1, Num. 4, Junio, 1982, pp 253-270.
- 7 **Gelman O., García J. I.,** *Formación y axiomatización del concepto de sistema general.* Boletín IMPOS, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas, No. 92, Año XIX, 1989, 81 pp.
- 8 **Kuhn T. S.** *La estructura de las revoluciones científicas.* Breviarios No. 213. Fondo de Cultura Económica. México, 1982.

- 9 **Gelman O., Lavrenchuk N.** *Specifics of Analysis of Scientific Theories Within the Framework of the General Systems Theory.* Collection: Philosophical Problems of Logical Analysis of Scientific Knowledge, Issue 3, Armenian Academy of Sciences Publ., Yerevan, URSS, 1974.
- 10 **Shchedrovitzky G.P.** *Methodological Problems of System Research.* General Systems Yearbook, Vol. XI, 1966, pp 27-53.
- 11 **Gelman O., Negroe G.** *Determinación de las necesidades de estudios que tiene SAHOP, 1a parte,* Proyecto elaborado para SAHOP, 1980, 247 pp.
- 12 **Gelman O., Negroe G.** *Papel de la planeación en el proceso de conducción.* Boletín IMPOS, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas, Año XI, No. 61, Enero-Marzo, 1981, pp 1-17.
- 13 **Gelman O., Rangel J.L.** *Hacia el desarrollo de ciertos paradigmas del Sistema Educativo,* Proyecto interno del Instituto de Ingeniería: "Hacia el desarrollo de ciertos paradigmas del sistema educativo como apoyo para su planificación", Marzo, 1980, 190 pp.
- 14 **Bertalanffy L. V.** *Perspectives on General Systems Theory: Scientific-Philosophical Studies.* Ed. Edgar Taschdjain. New York: George Braziller, 1975.
- 15 **Rapoport A.** *General Systems Theory.* International Encyclopedia of the Social Science. Vol. 15. Macmillan and Free Press, 1968.
- 16 **Rapoport A.** *The Search for Simplicity. The Relevance of General Systems Theory.* Ed. Ervin Lazlo, 1972.
- 17 **Gelman O.** *Metodología de la ciencia e ingeniería de sistemas: algunos problemas, resultados y perspectivas.* Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc., Octubre, 1978.
- 18 **Gelman O., Sierra G., Esquivel H., Barrientos E., Rodríguez A.** *Informe 2: Reconocimiento del estado y funcionamiento del sistema productivo,* Proyecto elaborado para la CNA: "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala (1ra. Etapa)", Febrero, 1991, 247 pp.
- 19 **Ackoff R. L.** *Rediseñando el futuro.* Editorial Limusa, México, 1979.
- 20 **Gelman O., García E., Sierra G.** *Informe 4: Bases metodológicas y marco conceptual,* Proyecto elaborado para la CNA: "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala (1ra. Etapa)", Octubre, 1992, 185 pp.
- 21 **Gelman O., Montaña J. L.** *Planteamiento general del diseño e implantación de un sistema de protección y restablecimiento de asentamientos humanos en casos de desastre.* Memorias del IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Mérida, Yuc., Octubre, 1978.
- 22 **Gelman O., Martínez J.L., Riveros F., Zárate J.** *Proyecto San Jorge.* (Informe Interno No. 4 Instituto de Ingeniería, Agosto, 1977, 55 pp.

- 23 *Bases para el establecimiento del Sistema Nacional de Protección Civil*. Comisión Nacional de Reconstrucción. México, D.F., 1986.
- 24 **Gelman O., Macías S.** *Elaboración de una marco conceptual para el estudio interdisciplinario de desastres*. Departamento di Sociologia di Disastri, Instituto di Sociologia Internazionale, Italy, Cuaderno 82-6, 1982, pp 1-12.
- 25 **Ackoff R.L.** Beyond Problem Solving. General Systems Yearbook, Vol. XIX, 1974, pp 237-239.
- 26 **Terán A., Gelman O., Macías S., Rascón O.** Evaluación de la vulnerabilidad y reforzamiento del sistema hidráulico ante sismos, Vol. 5, Anexo R. Sistema de Protección y Restablecimiento de la Ciudad de México frente a desastres (SIPROR). Informe interno, Instituto de Ingeniería, elaborado para el D.D.F., Agosto, 1982.
- 27 **Sierra G., Barrientos E., Esquivel H., Gelman O.** *Informe 7: Actualización del diagnóstico del sistema productivo del Cutzamala*, Proyecto elaborado para la CNA: "Estudios para mejorar la confiabilidad del funcionamiento del Sistema Cutzamala (1ra. Etapa)", Mayo, 1992, 90 pp.
- 28 *El sistema hidráulico del Distrito Federal: Enfrentando el cambio*. Publicación de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del D.F., México, 1982, pp 2.14-2.21
- 29 *Sistema Cutzamala, agua para millones de mexicanos*. Publicación de la Comisión Nacional del Agua, México, Diciembre, 1997, 47 pp.
- 30 *Sistema Cutzamala*. Publicación de la Comisión Nacional del Agua, México, Diciembre, 1987, 47 pp.
- 31 **Hernández C.** *Control supervisorio para operar el Sistema Cutzamala*. Revista Ingeniería Hidráulica en México, México, Septiembre-Diciembre, 1988, pp 9-17.
- 32 **Taha H.** *Investigación de operaciones*, Editorial Alfaomega, quinta edición, México, Agosto, 1997, pp 316