

197
27/10



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**LOS DESASTRES EN PRESAS VISTOS
BAJO EL ENFOQUE SISTEMICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:
GERARDO SIERRA MARTINEZ



México, D. F.

1985



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 está 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.

5.2.2	Arbol de Fallas Reducido	73
1.	Infiltración	73
a)	Tubificación	76
b)	Agrietamiento	78
c)	Filtración en la cimentación	82
2.	Modificación a la Geometría	82
a)	Deslizamiento de talud	84
b)	Hundimiento	86
c)	Erosión	88
d)	Sabotaje	92
e)	Modificación al diseño	92
5.3	Consecuencias por la falla del Bordo	93
5.4	Medidas de protección y rescate	98
5.5	Formulación de planes	103
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
	REFERENCIAS	110

5.2.2	Arbol de Fallas Reducido	73
1.	Infiltración	73
a)	Tubificación	76
b)	Agrietamiento	78
c)	Filtración en la cimentación	82
2.	Modificación a la Geometría	82
a)	Deslizamiento de talud	84
b)	Hundimiento	86
c)	Erosión	88
d)	Sabotaje	92
e)	Modificación al diseño	92
5.3	Consecuencias por la falla del Bordo	93
5.4	Medidas de protección y rescate	98
5.5	Formulación de planes	103
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
	REFERENCIAS	110

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Fig 2-1	Fallas por altura y tipo de presas	7
Fig 2-2	Distribución de presas por años de vida	8
Tabla 2-1	Resumen de las causas de fallas en presas de tierra y enrocamiento	9
Tabla 2-2	Evaluación de daños y costo económico por fallas en algunas presas	11
Tabla 2-3	Principales presas de almacenamiento en México	13
Fig 2-3	Tasa de fallas en presas mayores de 15 m. (excepto China)	15
Fig 3-1	Papel del paradigma en el planteamiento del sistema de problemas	23
Fig 3-2	Conceptos de calamidad y desastre	25
Fig 3-3	Estructura e interrelaciones del sistema perturbador y afectable	27
Fig 3-4	Necesidades y satisfactores de los individuos	30
Fig 3-5	Áreas de estado de un sistema y sus transiciones	30
Fig 3-6	Objetivos de protección y restablecimiento en el tiempo	33
Fig 3-7	Papel del sistema de gestión	35
Fig 4-1	Estructura del capítulo 4	38
Fig 4-2	Esquema causa-efecto	40
Fig 4-3	Proceso de producción del efecto	48
Fig 4-4	Esquema general del proceso de planeación	55
Fig 5-1	Localización geográfica de la Central	62
Fig 5-2	Estanque de enfriamiento	64
Fig 5-3	Estructura del estanque	66
Fig 5-4	Posibles causas de falla por infiltración	71

Fig 5-5	Posibles causas de falla por modificación a la geometría	74
Fig 5-6	Arbol de Fallas General	75
Fig 5-7	Actividad de los suelos constitutivos de presas homogéneas que han sufrido <u>tubificación</u>	77
Fig 5-8	Regionalización sísmica del país	81
Fig 5-9	Rama de infiltración del Arbol de Fallas <u>Reducido</u>	83
Fig 5-10	Causas de hundimiento por las características del suelo	87
Fig 5-11	Rama de modificación a la geometría del Arbol de Fallas <u>Reducido</u>	94
Fig 5-12	Arbol de Fallas <u>Reducido</u>	95
Fig 5-13	Arbol de Consecuencias General	97
Tabla 5-1	Medidas de protección	100
Fig 5-14	Diagrama causa-efecto	101
Fig 5-15	Estructura del Plan Global de Protección y Rescate.	106

1. INTRODUCCION

Las construcciones hidráulicas han constituido, desde siempre, uno de los tipos de obras civiles de mayor trascendencia. Es característico que a grandes civilizaciones han correspondido grandes obras hidráulicas. Por ejemplo, es conocido el caso de los complejos canales de irrigación del Antiguo Egipto. Asimismo, se deja notar, en la Gran Tenochtitlán, a través de la construcción de albardones para control de avenidas y sus eficientes sistemas de drenaje.

Las cada vez mayores necesidades en alimentos y energéticos han requerido avances substanciales en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de presas, que se manifiestan, a su vez, en la magnitud, complejidad y el costo de las obras.

A esta magnitud y complejidad de las presas está aunado un incremento de fallas que no solo repercuten en costos económicos por

los daños en su infraestructura, sino además ocasionan, en muchos casos, grandes desastres afectando el desarrollo de la sociedad, debido a daños ecológicos, perturbación de la actividad económica y social y, en algunas ocasiones, a pérdidas de vidas humanas. Así por ejemplo, se tiene el reciente caso de la presa Malpasset, Francia, donde su falla ocasionó la pérdida de aproximadamente 400 vidas humanas y se tuvieron daños materiales por más de 50 millones de dólares.

Por ello, resulta fundamentalmente importante combatir los desastres provocados por las fallas en presas, a través del establecimiento y ejecución de una serie de medidas ante daños y consecuencias, por medio del diseño y definición de una organización y planes adecuados de contingencias que prevean la realización de las actividades antes, durante y después de los desastres.

Para la elaboración de estos planes, se necesita contar con una metodología, en el sentido más amplio de este concepto, que incluye al menos un enfoque con una terminología general, así como los procedimientos adecuados para plantear y resolver problemas, lo cual se logra, a través del establecimiento de un marco teórico en el contexto de la Ingeniería de Sistemas.

En este sentido, en el área de Sistemas del Instituto de Ingeniería, UNAM, recientemente se estableció el campo de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres, concebida, en un principio para realizar el diseño del Sistema de Protección y Restablecimiento de la ciudad de México frente a Desastres, SIPROR, que se encuentra actualmente en periodo de implantación.

En este nuevo campo, se analiza el fenómeno de desastre de una

forma integral, que involucra tanto el estudio de sus causas y consecuencias, como las posibilidades de su control, a diferencia de la visión parcial que proporciona cada una de las disciplinas por separado.

A partir de esto y con el objeto de responder a la necesidad de seguridad en las presas, se realizó un proyecto bajo el patrocinio de la Comisión Federal de Electricidad, dedicado a la elaboración de un conjunto de medidas de prevención y rescate, incluyendo la determinación explícita de los planes, procedimientos y acciones concretas para reducir las posibles pérdidas de vida y bienes causadas por la falla de una estructura hidráulica.

De acuerdo con las necesidades de la CFE, como una primera fase se propuso realizar el proyecto para el estanque de la Central Termoeléctrica de Río Escondido, considerándolo un caso específico que puede servir como proyecto piloto para futuras aplicaciones del procedimiento elaborado.

Ahora bien, la tesis tiene como propósito presentar los resultados propios de la investigación, gracias a la experiencia de participar en calidad de becario, por más de un año, en este proyecto elaborado en el Instituto de Ingeniería. Además, fue crucial el encontrar, disponer y aprovechar un rico acervo de conocimientos de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres.

De esta manera, el desarrollo de la tesis consta de los siguientes puntos:

- Reseña de las estadísticas sobre fallas en presas, que resulta en un índice elevado, aunado a los costos y pérdidas de vidas humanas. Con esto se observa la mag

nitud del problema el cual es necesario atender (Cap. 2).

-Descripción del marco conceptual establecido en el campo de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres, donde se presenta el enfoque y terminología utilizados para la protección y rescate de los sistemas afectados ante un fenómeno destructivo (Cap. 3).

-Adaptación del marco establecido para su uso en el caso específico de desastres en presas, en base a la identificación de un diagrama "Causa-Efecto" a fin de determinar las medidas pertinentes de protección y rescate (Cap. 4).

-Aplicación de la metodología definida en el punto anterior, en el caso específico del bordo del Estanque Río Escondido, Coah. que puede generalizarse al estudio de otras presas (Cap. 5).

Se espera, que la exposición de esta tesis permita conocer de una manera el nuevo campo de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres y su aplicación concreta al caso de las presas, logrando profundizar sobre el tema a través de las referencias señaladas.

2 PROBLEMATICA FALLAS EN PRESAS

Entre las estructuras más importantes y antiguas construidas por el hombre figuran sin lugar a dudas las presas, que con sus múltiples funciones, intervienen en el desarrollo integral de un país; ya sea con el objeto de almacenar o captar los escurrimientos y regar tierras o generar energía eléctrica, para crear un lago artificial o dotar de agua a poblaciones y centros industriales, para regularizar el flujo de una corriente evitando inundaciones en poblaciones.

Desde hace varios milenios existían presas en Egipto, Medio Oriente, India, China, etc. Las primeras presas que se construyeron fueron de tierra. Alrededor del año 500 AC los hindúes construyeron la presa Madduk-Masur, de 33m de altura. De la misma época se tuvo una presa de tierra de 21.5m de alto en Ceylon. En España se levantaron dos presas de mampostería por los antiguos.

romanos: Prosperina y Cornalbo. En el valle de México, Netza hualcōyotl mandó construir estas estructuras para proteger el valle de inundaciones (ref 1 a 4).

Por otra parte, en la fig 2-1, se presenta el número de fallas por altura y tipo de presa, construidas después de 1850. Se distingue claramente que el número de fallas decrece drásticamente para las presas de mayor altura (no obstante una falla de la presa de gran altura puede ocasionar mucho más consecuencias graves). La fig 2-2 señala los años de vida de las presas antes de fallar. Se puede observar que éstas son más vulnerables durante e inmediatamente después de la construcción que después de un año de operación (ref 7).

Por otro lado, el United States Committee on Large Dams (USCOLD, establecido en Estados Unidos para presas mayores de 15m de altura), señala 349 casos de incidentes. La discrepancia con los 157 casos estimados por ICOLD para todo el mundo se debe sustancialmente, a que USCOLD registra como incidente también las fallas, accidentes, daños durante la construcción y reparaciones mayores, que en muchas ocasiones, son corregibles con un mantenimiento adecuado (ref 9).

Ahora bien, es importante conocer las causas por las cuales puede fallar una presa. La mayor parte de la información que existe se apoya en un estudio de Middlebrooks (1953) (ref 3), quien ha hecho una magnífica revisión de la experiencia en la construcción de presas de tierra y enrocamiento, principalmente en Estados Unidos. En la tabla 2-1 se muestra, por un lado, la tasa de causas de falla según Middlebrooks y se añade el número de presas de tierra y enrocamiento que han fallado en México (ref 17).

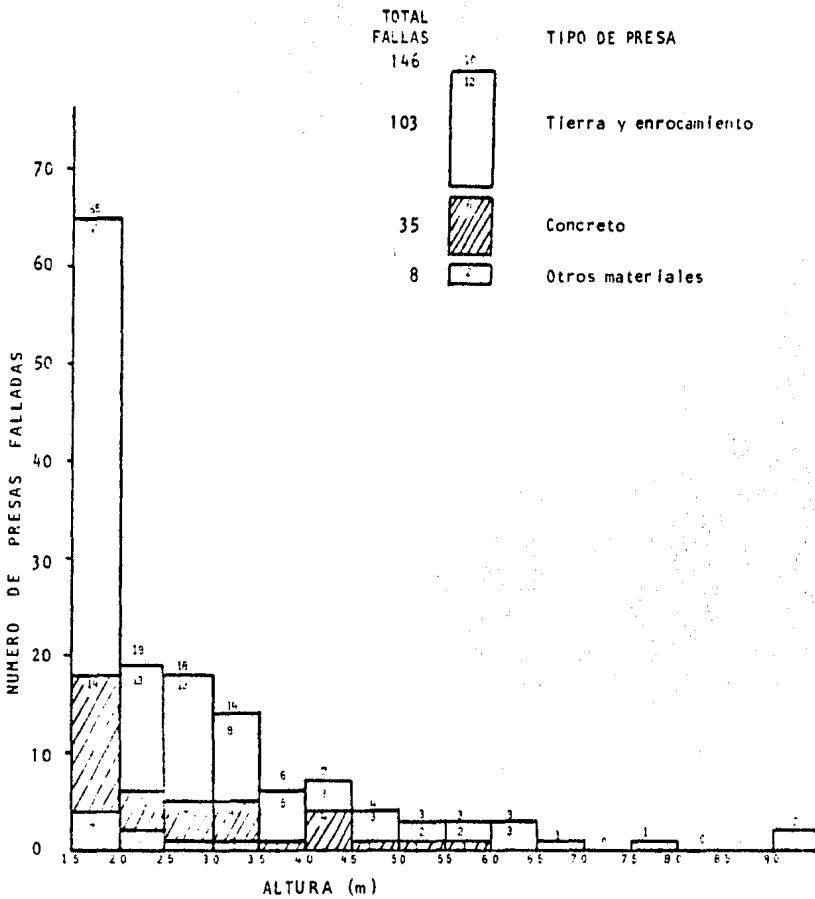


FIG 2-1 FALLAS POR ALTURA Y TIPO DE PRESAS

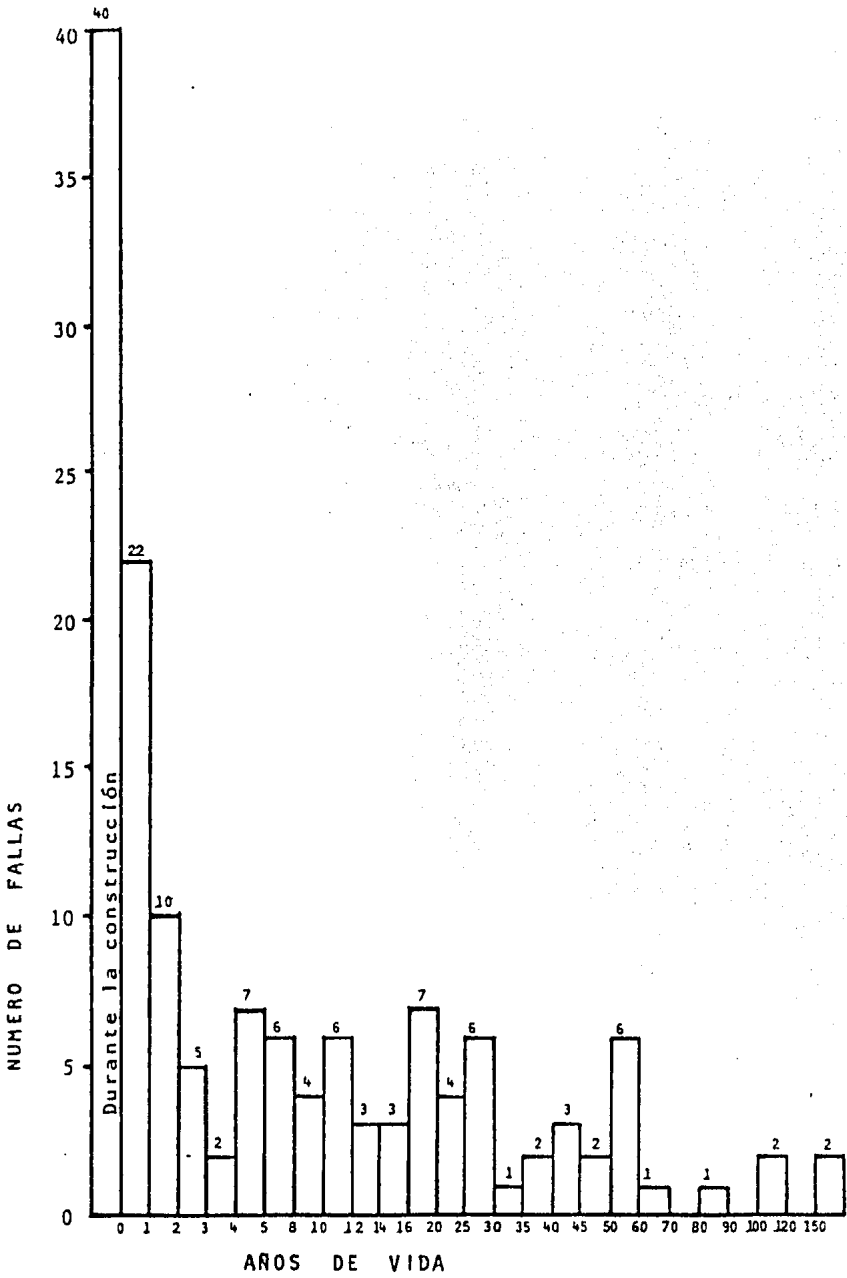


FIG 2-2 DISTRIBUCION DE PRESAS POR AÑOS DE VIDA

TABLA 2-1 RESUMEN DE LAS CAUSAS DE FALLAS EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

<i>Causas de la falla parcial o total</i>	<i>Tasa de fallas*</i>	<i>Número de fallas en México**</i>
Desbordamiento	30	2
Flujo de agua	25	2
Deslizamientos	15	2
Fugas en conductos enterrados	13	1
Erosión de taludes	5	3
Otras causas	7	3
Causas desconocidas	5	-

* Middlebrooks (ref 3)

** Marsal (ref 17)

Asimismo, interesa evaluar la magnitud de los daños para conocer a fondo la importancia de las diversas fallas. Si bien no se tiene un mecanismo explícito de levantamiento del registro, se obtuvieron datos correspondientes a los daños en distintas publicaciones regionales (refs 1, 5, 10 a 16). La evaluación de algunos daños en cuanto a muertos, personas sin hogar y costo económico se presenta en la tabla 2-2. Según Chaterjee y Biswas (ref 18), durante los últimos 20 años, los daños totales, estimados conservadoramente, son alrededor de los 1 000 millones de dólares para un poco más de 50 fallas.

A partir de todo lo anterior, no es sorprendente que existe un enorme interés por enfrentar los diversos aspectos de desastres que ocurren por la falla de presas, tanto por las diferentes entidades gubernamentales (USA, ref 9; URSS, ref 19; Nueva Zelanda, ref 20), así como por los diferentes organismos nacionales e internacionales de Ingeniería Civil y grandes presas (USCOLD, ICOLD, ASCE), y las diferentes empresas de servicio de energía eléctrica (CFE; Electricité de France EdF, ref 7; Centrais Eletricas de Sao Paulo CESP, ref 21).

Los desastres en presas deben y están siendo estudiados por las distintas ramas de la Ingeniería Civil; Mecánica de Suelos (refs 17, 19), Hidráulica, Estructuras, Mecánica de Rocas, Sísmica (ref 22), etc. Estos estudios tienden a establecer normas y reglamentación adecuadas para la seguridad en las presas.

Conforme a las necesidades de los distintos países en riego o agua potable, se incrementa la cantidad de presas; asimismo aumenta su altura por las necesidades de generación de energía eléctrica. A principios de siglo se contaban en todo el mundo,

TABLA 2-2 EVALUACION DE DANOS Y COSTO ECONOMICO POR FALLAS EN ALGUNAS PRESAS

Fecha	Presa	País	Costo daños x 10 ⁶	Muertos	Sin hogar
30-04-1802	Puentes	España		600	
1864	Sheffield	Inglaterra		250	
1874	Mill River	USA	US \$ 1.0		
1876	Lynde Brook	USA	US \$ 1.0		
31-05-1889	South Fork (Johnstown)	USA	US \$ 100	2500 a 4000	25 000
1928	Santa Paula	USA		450	
13-03-1929	Saint Francis	USA		450	
1938	Brokaw 2	USA	US \$ 0.7		
10-01-1959	Veg de Tera	España		144	
2-12-1959	Malpasset	Francia	US \$ 68	421	
25-03-1960	Oros	Brasil		1000	
03-1961	Babili Yar	URSS	US \$ 4.0	145	
07-1961	Hyokiri	Korea		250	
04-1963	Quebrada la Chapa	Colombia		250	
9-10-1963	Vajont	Italia		3000	
14-12-1963	Baldwin Hills	USA	US \$ 50	5	
1965	Mayfield	USA	US \$ 2.5		
1969	Wyoming	USA	US \$ 1.5		
6-01-1970	Pardo	Argentina	US \$ 1.5	25	
02-1972	Buffalo Creek	USA	US \$ 50	125	4 000
1976	Teton	USA	US \$ 400	11	25 000
10-1976	Bordo la Paz	México		400	
5-11-1977	Kelly Barnes	USA		39	
7-08-1978	Palagnedra	Suiza	S Fr 30		

excepto China, con 861 presas mayores de 15 metros de altura y actualmente hay alrededor de 15 000.

En México se incrementó sustancialmente la construcción de presas con la creación de la Comisión Nacional de Irrigación en 1926 (hoy SARH). En las dos últimas décadas, la Comisión Federal de Electricidad ha contribuido en la realización de estas obras con fines de generación de energía. En la tabla 2-3 se muestra una lista de las presas de almacenamiento mayores de 15m en México (ref 3). Según Torres H, en 1979 se tenían registradas en México 1 060 presas de todas dimensiones, de las cuales el 83% eran Federales y Estatales y el 17% restante de particulares (ref 5).

De esta manera, la construcción de este tipo de obras contribuye al desarrollo económico y social de un país. Sin embargo, se muestra gran cantidad de fallas en presas en todas partes del mundo, con sus consecuentes daños y pérdidas de vidas humanas. Por ejemplo, en 1965, el Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) constató que en el mundo había un promedio de 6.5 presas por año que tuvieron incidentales, de las cuales 2.5 se rompieron y 4 estaban próximas a la catástrofe.

En estudios más recientes sobre grandes presas (mayores de 15m) en todo el mundo (excepto China), ICOLD señala de las 15 000 presas, una tasa media de fallas de cualquier naturaleza cerca del 1%, esto es, 157 presas falladas (refs 7, 8). En la fig 2-3 (ref 7), se muestra que la tasa de presas falladas respecto al total decrece de 4.5% del principio del siglo al 1% actualmente.

TABLA 2-3 PRINCIPALES PRESAS DE ALMACENAMIENTO EN MEXICO

Presas	Estado	Rio	Curtina			Proposito	Año en que se terminó	
			Tipo	H*	Volumen			Capacidad
La Angostura	Chiapas	Grpalva	Tierra, grava y roca	146	4 500 000	18 200	G CA	1973
El Inhiernillo	Méx. Gro.	Balsas	Emrocamiento	145	5 500 000	12 000	G	1963
Netzahualcóyotl (Malpasos)	Chiapas	Grpalva	Materiales graduados	138.9	5 100 000	12 800	G CA	1964
El Novillo	Sonora	Yaqui	Boveda de concreto	135	262 000	3 000	G	1964
Santa Rosa	Jalisco	Santiago	Boveda de concreto	114	91 000	400	G	1963
Lopez Mateos (El Humaya)	Sinaloa	Humaya	Materiales graduados	105.5	5 490 000	2 500	R CA G	1965
Culmilla	Jalisco	Santiago	Arco gravedad	105	60 000	3.5	G	1950
Lazaro Cárdenas (El Palmito)	Durango	Nazas	Materiales graduados	95	5 300 000	3 000	R CA	1916
La Angostura	Sonora	Bavispe	Arco gravedad	92	184 000	840	R G	1942
La Soledad	Puebla	Apulco	Boveda de concreto	91	117 000	60	G	1962
Alvaro Obregon (El Oviachic)	Sonora	Yaqui	Tierra y roca	90	9 750 000	3 000	R CA G	1952
La Amistad	Coahuila	Bravo	Emrocamiento	87	6 325 000	7 000	R CA G	1966
Henro Juarez (El Marques)	Oaxaca	Tehuantepec	Materiales graduados	85.5	2 877 500	1 100	R CA	1961
Manuel Avila Camacho (Valsequillo)	Puebla	Atzacac	Tierra y roca	85	7 700 000	2 300	R G CA	1956
Miguel Hidalgo (El Mahone)	Sinaloa	Fuente	Materiales graduados	81	5 093 000	815	R CA	1948
Sanalona	Sinaloa	Tamazula	Materiales graduados	76	9 338 000	8 000	R CA G	1955
Presidente Alemán (El Temascal)	Oaxaca	Touto	Tierra y roca	76	720 000	5.3	G	1940
Cupatitzio	Michoacán	Cupatitzio	Emrocamiento	74	490 000	3 000	G G	1949
La Boquilla	Chihuahua	Conchos	Gravedad de mampostería	72	5 310 200	1 000	R CA G	1955
Ruiz Cortines (Mocúari)	Sonora	Mayo	Materiales graduados	72	5 310 500	1 17	R CA AA	1947
Rodriguez	Baja California	Tijuana	Ambrosen	71.1	1 220 870	82	R CA	1957
Guadalupe Victoria (El Tunal)	Durango	El Tunal	Materiales graduados	68.5	1 793 000	150	R CA G	1958
Tacotan	Jalisco	Avuquía	Tierra y roca	68	1 140 000	225	G	1954
El Bosque	Michoacán	Zitacuaro	Tierra y roca	67.5	2 730 000	300	R	1968
Vicente Guerrero (Palos Altos)	Guerrero	Poluilla	Emrocamiento	67	40 000	310	R CA	1941
Calles	Aguascalientes	Santiago	Arco gravedad	62	470 000	52	R CA	1942
San Ildefonso	México	Puerto	Emrocamiento	62	1 715 000	370	R CA	1967
Luis L. León (El Granero)	Chihuahua	Conchos	Emrocamiento	62	1 536 205	5 283	R	1967
Las Adjuntas	Tamaulipas	Sno la Marina	Emrocamiento	60	3 510 000	710	R CA G	1967
Jose Maria Morelos (La Villita)	Méx. Gro.	Balsas	Emrocamiento	60	1 820 515	162	R	1951
Endo	Hidalgo	Tula	Tierra y roca	58	667 350	32.3	CA-AA	1964
Chihuahua	Chihuahua	Chuviscar	Materiales graduados	57	126 300	425	R	1949
Francisco I. Madero	Chihuahua	Conchos	Contrfuertes de cabeza redonda	56	1 051 000	78.7	R	1968
Francisco Villa (El Bosque)	Durango	Pomas	Emrocamiento	56	595 950	130	R CA	1950
El Tintero	Chihuahua	Santa Maria	Tierra y roca	56	1 633 683	42.9	G	1962
Necaya	Puebla	Necaya	Rellevo hidraulico	54	691 300	45	R CA	1949
Cuauhtemoc (Santa Teresa)	Sonora	Altar	Tierra y roca	53	310 640	25	R	1939
Huachapan	Hidalgo	Arroyo Honda	Emrocamiento	51.7	1 969 931	800	R CA G	1919
Solas	Guatemala	Tejma	Tierra y roca	50	9 230 000	5 035	R CA G	1953
Falcon	Tamaulipas	Bravo	Materiales graduados	50	20 600	17	G	1963
La Venta	Guerrero	Panagayo	Gravedad de concreto	49	295 000	400	G	1917
Valle de Bravo	México	Valle de Bravo	Tierra y roca	49	5 563 681	1 680	R CA	1916
Marte R. Gomez (El Azúcar)	Tamaulipas	San Juan	Materiales graduados	48	360 000	60.8	R CA G	1919
Miguel Aleman (Excamé)	Zacatecas	Tlaltenango	Tierra y roca	47	100 000	210	G	1944
Villa Victoria	México	San José Malacatepec	Gravedad y dique de tierra	47	100 000	210	G	1944

TABLA 2-3 PRINCIPALES PRESAS DE ALMACENAMIENTO EN MEXICO (CONT)

46	El Chique	Zacatecas	Juchitán	Gravedad	47	28 071	64	R CA-G	1958
47	Las Lajas	Chihuahua	El Carmen	Entrocamiento	47	805 000	91	R	1966
48	La Soledad	Guamajuato	Santa Ana	Tierra y roca	46	280 300	2.4	AA	1955
49	Zacuirán	Michoacán	Zacuirán	Entrocamiento	40	277 636	50	R	1957
50	Coahuila	Michoacán	Grande de Morelia	Tierra	46	681 726	66.5	R CA-G-AA	1939
51	J. Ortiz de Dominguez (El Sabino)	Smalva	Alamos	Entrocamiento	44	4 978 600	607	R	1968
52	La Intermedia	Jalisco	Santiago	Gravedad de mampostería	44	70 000	1.5	G	1962
53	Josephi	Agua Calientes	Santiago	Bocanetas múltiples	44	23 100	10	R	1929
54	Cuarenta	Jalisco	Lagos	Tierra y roca	42	631 630	70	R CA	1939
55	Leolardo Reynoso (Trujillo)	Zacatecas	Los Lazos	Tierra y roca	40	476 620	75	R	1949
56	Abraham Gonzalez (Chihuahua)	Chihuahua	Papagachic	Materiales graduados	39.5	3 07 300	70	R CA	1961
57	Francisco Zarco (Las Tortolotas)	Durango	Nazas	Entrocamiento	39	969 435	418	CA	1958
58	Tamitlay	Mexico	Tepep	Entrocamiento	39	112 187	50	R	1931
59	La Colomita	Agua Calientes	La Labor	Entrocamiento	36	377 900	5.4	R	1967
60	Atelardo L. Rodriguez (Hermosillo)	Sonora	Sonora	Tierra	36	1 092 000	250	R CA	1918
61	Constitución de 1917	Oaxtecaro	Arroyo del Carrizol	Tierra y grava	35	2 314 000	65	R	1970
62	Venustiano Carranza (Don Martín)	Coahuila	Salado	Tierra y contrafuertes de cabeza redonda	35	907 000	1 385	R CA	1932
63	Valerio Trujano (Tepecoacuilco)	Guerrero	Tepecoacuilco	Materiales graduados	33.3	943 800	39	R	1964
64	Pabellón	Agua Calientes	Pabellón	Arco	33	2 300	1	R	1911
65	Alvaro Obregón (Las Palomas)	San Luis Potosí	Ataquines	Materiales graduados	33	405 000	4	R	1939
66	Reynosa	Hidalgo	Tepep	Tierra y entrocamiento	32.9	172 350	71	R CA	1926
67	La Cáñera	Guerrero	Del Oro	Materiales graduados	31.8	408 850	65	R	1964
68	Dansbo	Mexico	Coscomate	Tierra y roca	31	336 800	22.6	R	1934
69	Urepaturo	Michoacán	Tlazazalca	Tierra y roca	30	335 300	13	R CA	1964
70	Pena Blanca	Agua Calientes	Arroyo de Tepazán	Tierra y roca	30.8	123 377	3.3	R	1958
71	Huitzaco	Guerrero	Huitzaco	Tierra y roca	29.6	200 400	1.8	R	1962
72	El Cardero	Zacatecas	Aguanaval	Entrocamiento	27	65 900	4.2	R	1913
73	La Esperanza	Hidalgo	Chico de Tulancingo	Entrocamiento	25	68 100	14.3	R	1934
74	Apaxtlan	Michoacán	Apaxtlan	Tierra y roca	25	313 000	30	R	1954
75	Punta del Aguila	Guerrero	Sauceda	Materiales graduados	24.2	1 092 250	50	R	1962
76	Atanga	Mexico	Terna	Tierra y grava	24	167 800	35.3	R	1962
77	Jose Antonio Alzate (San Bernabé)	Jalisco	Calderon	Entrocamiento	24	159 100	14.3	R	1967
78	La Red	Jalisco	Abichilco	Entrocamiento	24	119 950	7.5	R	1968
79	Cuquio	Jalisco	Parícut	Tierra y roca	23.7	266 000	10.2	CA-AA	1951
80	Parícut	Chihuahua	Arroyo La Gavia	Tierra y roca	23.5	225 000	20.5	R	1965
81	Ignacio Ramirez (La Gavia)	Mexico	Arroyo Boquines	Tierra y grava	23	396 400	10	R	1966
82	Agua Calientes	Nuevo León	Arroyo de la Vega	Entrocamiento	20.5	92 730	4.3	R	1961
83	Mecua	Hidalgo	Los Gomez	Materiales graduados	20.5	859 524	10	CA-A	1951
84	El Palote	Guamajuato	Yahualica	Tierra y roca	19.9	1 818 600	40.3	CA-A	1947
85	El Estribón	Jalisco	Arroyo Los Becos	Tierra y roca	19.6	81 900	7.5	R	1969
86	Diqre Los Becos	Smalva	Zimapan	Tierra y roca	19.5	321 900	7.5	R	1966
87	Atelardo L. Rodriguez (Ticuilaco)	Michoacán	Arroyo Carratejo	Entrocamiento	18	85 500	44	R CA	1971
88	El Chamal	Tamaulipas	Ameca	Tierra y roca	18	85 500	44	R CA	1971
89	La Vega	Jalisco	Zula	Tierra y roca	15.5	121 984	30	R	1969
90	El Tule	Jalisco							

- * Altura: Diferencia de elevación, en metros, entre el punto más bajo de la cimentación y la corona, excluyendo dentellones.
 Volumen: Volumen total de la cortina, en metros cúbicos.
 Capacidad: Capacidad total del vaso, en millones de metros cúbicos.
 Propósito: R, riego; G, generación de energía, CA, control de avenidas, AA, abastecimiento de agua.

FUENTE: Marsal, Reséndiz (ref 3)

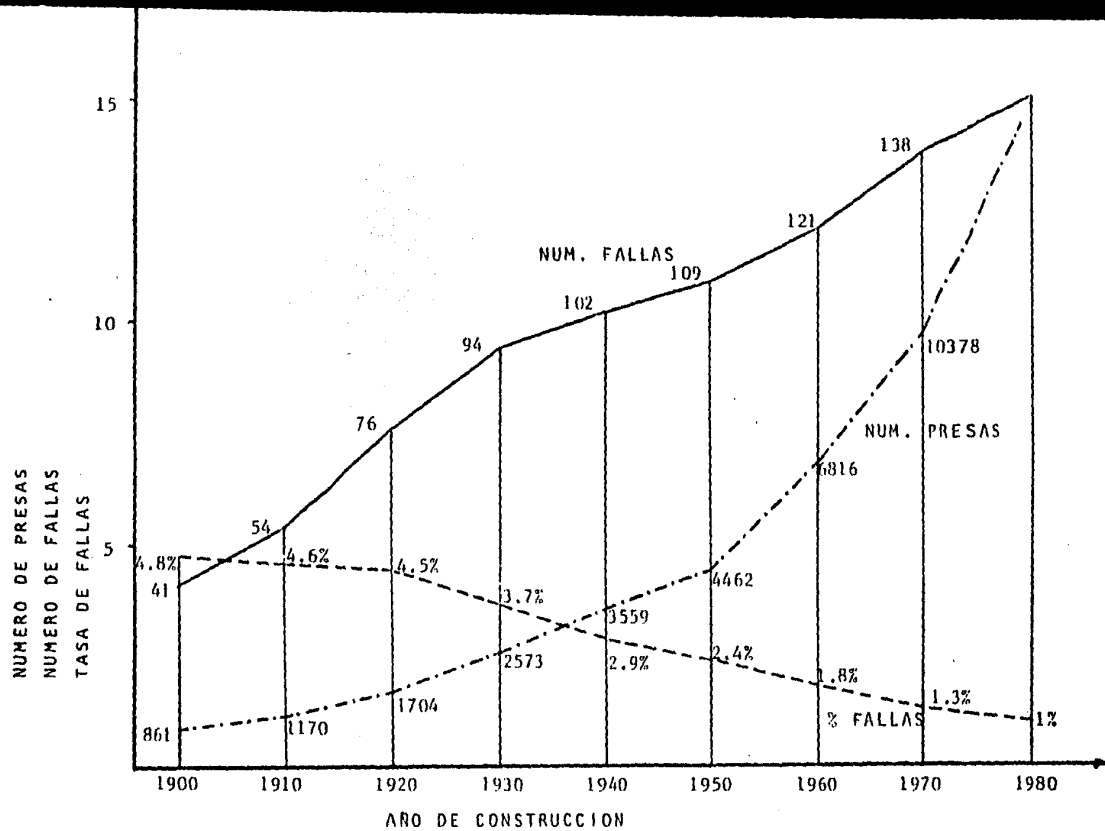


FIG 2-3 TASA DE FALLAS EN PRESAS MAYORES DE 15 METROS (EXCEPTO CHINA)

3 DESARROLLO METODOLOGICO

BASES DE LA INVESTIGACION INTERDISCIPLINARIA DE DESASTRES

En el capítulo anterior se caracterizó el fenómeno de desastres en presas como una problemática de particular interés para diversas áreas, entre las cuales, no solo se destacan las distintas ramas de la Ingeniería, sino además las enfocadas hacia los aspectos sociales o económicos. Debido a esta diversidad, se presenta la necesidad de integrar los esfuerzos de estas áreas para el estudio y control del fenómeno de desastres.

Para satisfacer esta necesidad, recientemente se estableció el campo de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres (IID), cuyas bases se describen incluyendo sus fundamentos, enfoque y marco conceptual.

Es importante señalar que la Investigación Interdisciplinaria de Desastres fue concebida para realizar el diseño del Sistema de Protección y Restablecimiento de la Ciudad de México

frente a Desastres*, SIPROR, que se encuentra actualmente en periodo de implantación. Por la vasta extensión del tema, se optó por presentar los elementos básicos de la IID, encontrando mayor ampliación sobre el tema en las referencias señaladas.

3.1 ANTECEDENTES

Las diversas ramas de la Ingeniería han mostrado un importante interés y contribución en el combate de los desastres, para la determinación e implantación de medidas de prevención y mitigación de daños, a través del análisis de los fenómenos que los producen, sus impactos y las respuestas de las estructuras.

Sin embargo, en las últimas décadas, se ha visto la insuficiencia de las medidas tradicionales para combatirlos a pesar de la existencia de muchos estudios de alta calidad, ya que por un lado, su aplicación práctica se dificulta frecuentemente, por su alto nivel de especialización y, por otro lado, por la falta de una terminología unificada y de un marco conceptual general que permita la transferencia de métodos y resultados de una a otra área.

Como resultado de esta insuficiencia, la interrelación entre las diversas ramas de la Ingeniería aunado con otras disciplinas

*Sistema administrativo integral, producto del proyecto realizado en el Instituto de Ingeniería desde Agosto de 1980, en colaboración y bajo patrocinio del Departamento del Distrito Federal, para lograr los objetivos básicos de protección y restablecimiento de la ciudad de México frente a Desastres (ref 23).

ha cobrado especial relevancia, obligando a los especialistas del área a tomar en cuenta otros aspectos que, hasta entonces, habían sido considerados sin importancia.

En este contexto, se analiza el fenómeno de desastre de una forma integral, esto es, considerando todas sus posibles consecuencias e implicaciones sobre la actividad social y económica, a diferencia de la visión parcial que proporciona cada una de las monodisciplinas por separado.

Esta visualización global se logra a través del enfoque sistémico, que permite plantear y solucionar problemas más complejos, cuando los enfoques parciales disciplinarios no son eficaces, ya que trata de estudiar los sistemas como una entidad de manera congruente con las tendencias científicas actuales de no aislar fenómenos, sino de examinarlos en su interacción. El empleo del enfoque sistémico permite analizar el fenómeno de desastres de una forma integral, que involucra tanto el estudio de sus causas y consecuencias, como las posibilidades de su control (ref 24).

3.2 BASES DEL ENFOQUE SISTEMICO

El enfoque de sistemas mira los sistemas holísticamente (como un todo); esto es, estudia éstos como una entidad más que como un conglomerado. De acuerdo con el enfoque, se entiende por sistema *un conjunto de dos o más elementos interrelacionados de cualquier especie*. Sin embargo, según (ref 25) es más importante contar con un proceso explícito de la conceptualización

del sistema, que con una definición descriptiva presentada en forma tradicional.

Se han definido dos tipos básicos de procedimientos de conceptualización:

1. Construcción por composición
2. Construcción por descomposición

El primero, basado en una orientación mecanicista, parte de los elementos y busca llegar a través de sus vínculos al sistema; el segundo se aproxima más al espíritu holístico y se dirige del sistema en su totalidad hacia sus componentes basándose en una descomposición funcional. Ambos son parciales y, entre sí, son complementarios; producen dos tipos de representaciones del sistema: compuesta (por composición) e integral (por descomposición). El concepto *sistema general* se obtiene con la composición de ambas representaciones.

a) Construcción por composición

En este procedimiento se parte del elemento y busca llegar al sistema. El principal riesgo que se corre es el no comprender la naturaleza integral del mismo, esto es, de aquellos aspectos estipulados por el papel que juega en un sistema mayor denominado *suprasistema* en el que está inmerso. Consta de tres etapas:

- Identificación del conjunto de elementos
- Descripción de las relaciones entre elementos
- Visualización del sistema, a través de la deducción de sus propiedades, mediante el estudio de sus elementos

básicos y las relaciones que los vinculan.

b) Construcción por descomposición

Este tipo de procedimiento se aproxima más al espíritu sistémico; corresponde a un movimiento cognoscitivo opuesto a la construcción anterior; en este caso, se parte del sistema hacia sus componentes y constituye una forma típica del enfoque integral.

El procedimiento se basa en la descomposición; consiste en desmembrar el sistema en subsistemas, cuyas funciones y propiedades aseguren las del sistema en su conjunto mediante una organización adecuada. Consta de dos etapas:

-Identificación de la estructura externa del sistema, lo que se establece a través de conocer el papel que el sistema juega en su suprasistema, y se logra definiendo sus objetivos y funciones totales; es importante, dentro del suprasistema, la determinación de otros sistemas al mismo nivel, los cuales se clasificarán con base en sus respectivos objetivos y funciones, así como en sus interrelaciones.

-Construcción de las estructuras interna del sistema, en particular su estructura funcional, se obtiene por una descomposición por funciones, que se presenta como un agregado hipotético de subsistemas interconectados, de tal forma que asegure el funcionamiento del sistema, por medio del cual se busca alcanzar los objetivos definidos en la etapa anterior.

Estos procedimientos se usan por la recientemente planteada Investigación Interdisciplinaria de Desastres (IID), concebida como un área cuyo principal objetivo es estudiar los desastres y plantear la organización, planes y acciones necesarias para disminuir los efectos negativos de la ocurrencia de las calamidades (ref 26).

La IID está basada en un marco conceptual cuya función principal es establecer un enfoque y terminología comunes que permitan, por un lado la comunicación entre especialistas e investigadores de las diversas áreas y la comprensión y transferencia de métodos y resultados entre ellos, y por otro permita orientar y coordinar los esfuerzos de estos expertos a la solución de problemas reales en el área de desastres.

3.3 MARCO CONCEPTUAL

La elaboración de un marco conceptual, esto es, un sistema de conceptos básicos que permite plantear los problemas y un conjunto de métodos adecuados para resolverlos, es una etapa crucial en la planeación, desarrollo y realización de cualquier estudio en general, y muy especialmente para los estudios interdisciplinarios (ref 27).

El desarrollo del marco conceptual se apoya en una forma epistemológica* llamada *paradigma*, instrumento cognoscitivo que permite diferenciar la realidad e identificar y escoger ciertos fragmentos de la misma, con el fin de definir el objeto

*La palabra epistemología, cuyo significado literal es discurso sobre la ciencia, por su función de producir el conocimiento, corresponde a la rama de la filosofía que investiga el origen, estructura, métodos y validez del conocimiento.

de estudio que, a su vez, es sustituible por un modelo en los siguientes estudios. Es así que el paradigma determina todo el proceso cognoscitivo, que busca descubrir las regularidades características de los fenómenos.

El paradigma constituye el punto fundamental del marco conceptual, ya que facilita, por un lado, la separación, clasificación y planeación de los diferentes puntos de estudio de desastres y, por otro, la comprensión e integración de los distintos estudios, así como la procuración de la adaptación de técnicas y métodos tradicionalmente desligados (fig 3-1) (ref 28).

Para elaborar el paradigma fundamental del marco conceptual de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres, es necesario señalar que tradicionalmente los desastres se han concebido como eventos que afectan los asentamientos humanos produciendo daños, tanto humanos como materiales. En múltiples ocasiones se han orientado esfuerzos a definir los desastres; sin embargo, en la mayoría de los casos se mezcla el evento que desequilibra, con los estados mismos de daño. La distinción entre los eventos perturbadores y los estados de daño constituye el punto inicial para la elaboración del paradigma.

Para definir claramente esta distinción, se llaman calamidades a los eventos que pueden provocar estados de daño, reservando el término desastre para señalar al propio estado de daños, esto es, al estado que se caracteriza por una perturbación de la actividad económica o social normal que ocasiona pérdidas extensas o graves.

De esta forma los estados de daño se consideran como un subconjunto de los posibles estados del *sistema afectable* (SA) que

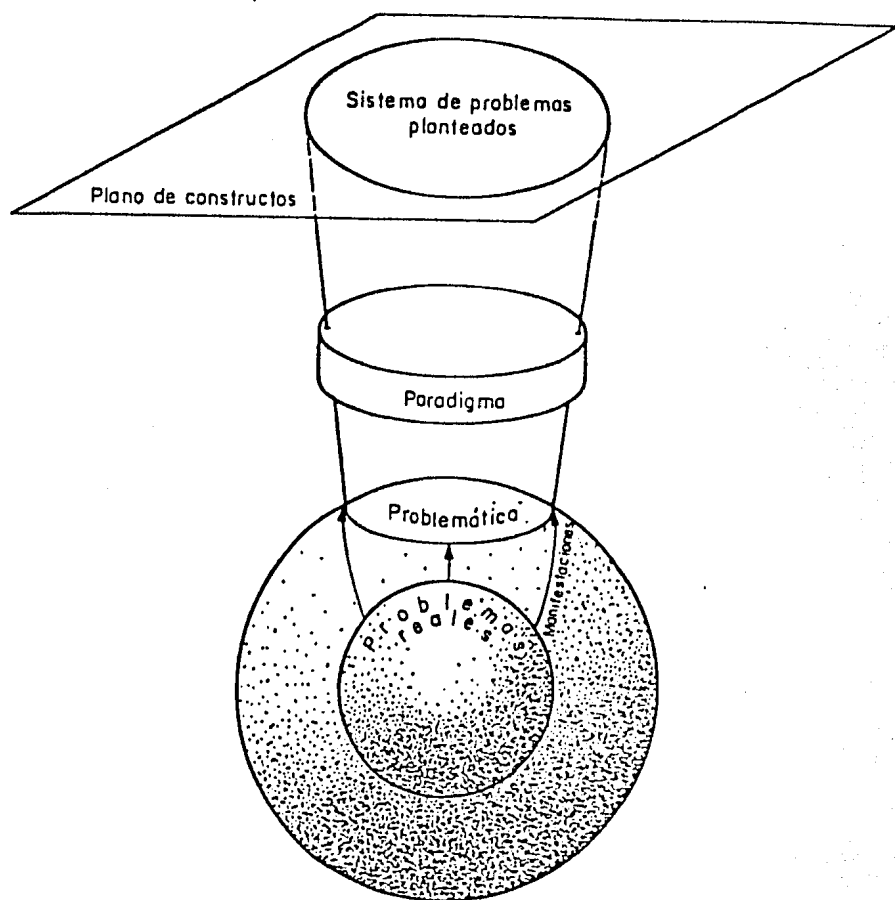


FIG 3-1 PAPEL DEL PARADIGMA EN EL PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROBLEMAS

resultan de una eventual interacción con el *sistema perturbador* (SP) (ref 29). Se define al SA como cualquier sistema integrado por el hombre y los bienes que necesita para su subsistencia y en el cual pueden materializarse los desastres ante las calamidades. Asimismo se entiende como SP al sistema capaz de originar calamidades que, al impactar al SA, puede transformar su estado normal en uno de desastre (fig 3-2).

a) Sistema perturbador

De acuerdo al marco conceptual planteado, un sistema perturbador (SP) es el sistema que es capaz de originar calamidades, esto es, los acontecimientos que pueden impactar al sistema afectable (SA) y transformar su estado normal o insuficiente en un estado de desastre, así como agravar éste.

El estudio orientado al diagnóstico y pronóstico de las calamidades y sus impactos, así como el análisis de la factibilidad de la intervención en sus mecanismos para su control, implica la necesidad de identificar, en primera instancia, las calamidades viables, incluyendo su definición y clasificación. Una tarea adicional consiste en el desarrollo, descripción y ordenamiento de las características básicas de las calamidades, con un énfasis especial sobre impactos posibles.

Para el análisis y clasificación de las calamidades es indispensable contar con sus descripciones que deben incluir, en lo posible, toda la información acerca de la calamidad, sus orígenes, desarrollo, sus manifestaciones y consecuencias.

Las calamidades son producidas en general por los mecanismos internos del SP, que funcionan como un proceso que estriba de cin

CALAMIDAD es el acontecimiento que puede impactar al sistema afectable y transformar su estado normal o deficiente en uno de desastre

DESASTRE es toda perturbación de la actividad normal que ocasione pérdidas o daños extensos o graves

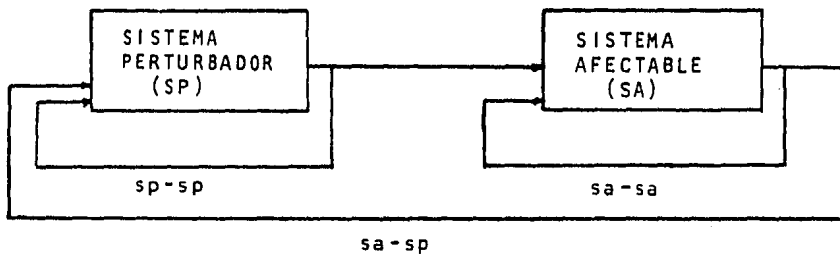


FIG 3-2 CONCEPTOS DE CALAMIDAD Y DESASTRE

co fases principales, que se presentan con distinta duración e importancia (ref 29):

- Preparación*, que consiste en la organización de las condiciones necesarias para la ocurrencia de la calamidad, esto es, en la formación del mecanismo.
- Iniciación*, que consiste en la activación o excitación del mecanismo.
- Desarrollo*, esto es, la fase de crecimiento e intensificación de la calamidad.
- Traslado*, que es la fase del transporte de los elementos impactando la calamidad.
- Producción de impactos*, esto es, la manifestación de la calamidad.

Este proceso puede ser iniciado o alterado en sus diferentes fases por una *retroalimentación*, esto es, por la canalización de una acción de la salida de un sistema a su entrada, o a la de otro que le antecede (fig 3-3). Existen tres tipos de retroalimentación:

SP-SP, es la que se dirige de la salida del SP a su entrada

SA-SP, es la que se dirige de la salida del SA a la entrada del SP

SA-SA, es la que se dirige de la salida del SA a su entrada.

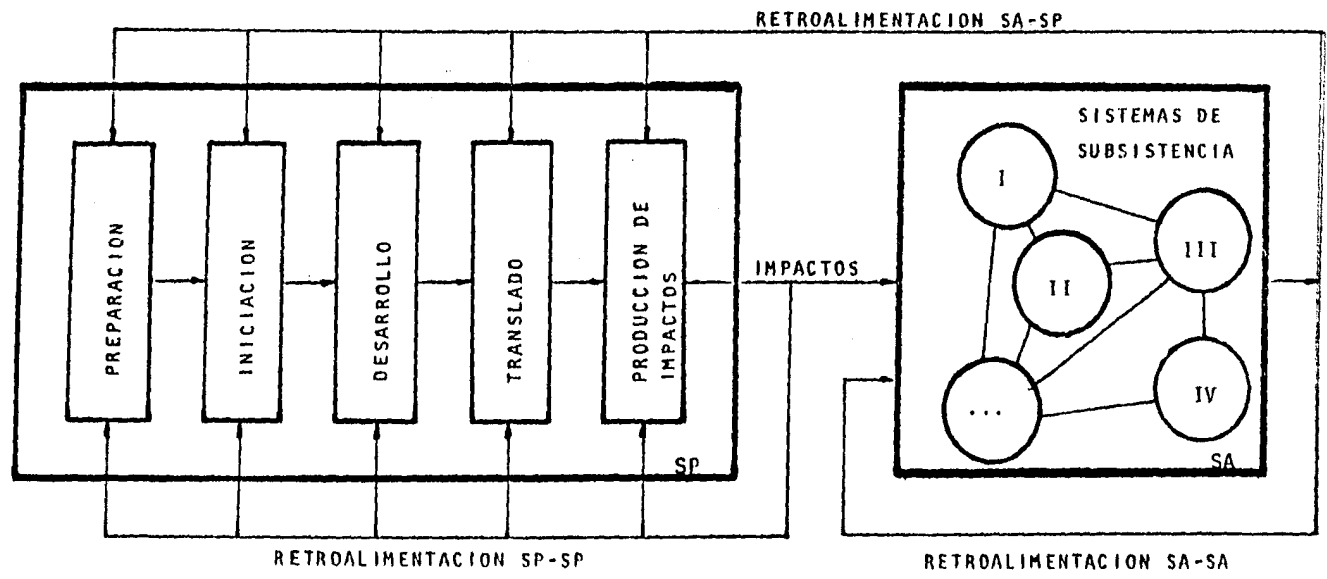


FIG 3-3 ESTRUCTURA E INTERRELACIONES DEL SISTEMA PERTURBADOR Y AFECTABLE

Esta distinción en el modo de la producción de las calamidades permite clasificar por el *tipo de su producción* en:

-*Calamidades directas*, que son resultados exclusivamente del mecanismo interno del SP

-*Calamidades encadenadas*, que son resultados de la participación de una o varias retroalimentaciones.

b) Sistema afectable

Como se mencionó, un sistema afectable es cualquier sistema integrado por el hombre y los elementos que necesita para su subsistencia, en el cual pueden materializarse los desastres ante una perturbación. Esto es, un sistema afectable puede ser cualquier comunidad humana con sus medios de subsistencia o un área productiva.

El *desastre* es un evento en tiempo y espacio, resultado del impacto de la(s) calamidad(es), que se identifica por *daños* de distintos tipos: *humanos, materiales, productivos, ecológicos y sociales*. Estos convierten a la población en una situación de incapacidad y como resultado necesita protección, alimentos, ropa, abrigo, atención médica, etc. (fig 3-4).

-Daños humanos son los que sufren los individuos en su integridad física, como son lesiones y muerte.

-Daños materiales son los daños físicos que se causan a los bienes materiales, tales como infraestructuras, estructuras, enseres, valores, etc.

-Daños productivos son los que se ocasionan en la producción de bienes o generación de servicios, por ejemplo, falta de producción de alimentos, falta de generación de energía eléctrica, etc.

-Daños ecológicos son los causados al equilibrio ecológico como pueden ser contaminación, desforestación, etc.

-Daños sociales son los que sufre la sociedad, en forma de interrupción de todas o algunas de sus funciones esenciales.

El *estado de un sistema* es una característica global que está determinada por el conjunto de valores en que se encuentran en un momento dado los parámetros relevantes para su funcionamiento, 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* (fig 3-5).

El área de estados normales corresponde a todos los estados en que el sistema tiene un *funcionamiento normal* estable, esto es, cuando el funcionamiento del sistema garantiza el logro de sus finalidades.

El área de estados insuficientes engloba todos aquellos en que el sistema tiene un funcionamiento normal, pero presenta una alteración no significativa, esto puede ser producido por agentes internos (vejez, deterioro, etc) o por agentes externos (falta de suministro, impacto, etc).

El área de estados de desastre reúne a los estados en que el funcionamiento del sistema falla, esto es, cuando se presenta

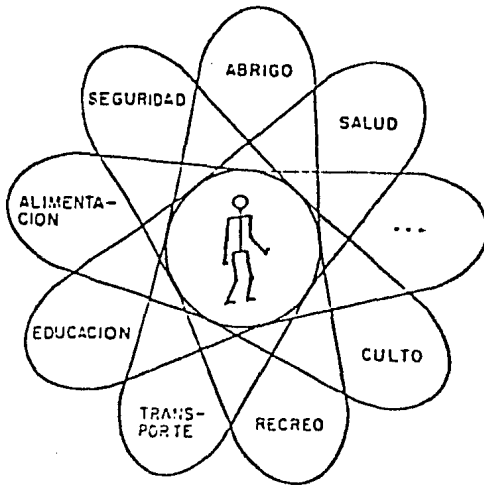
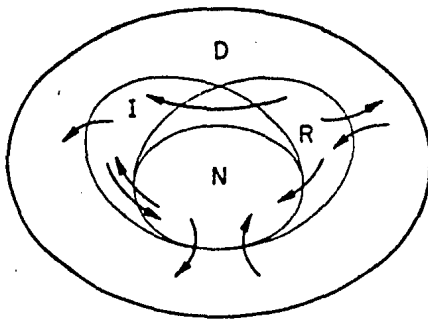


FIG 3-4 NECESIDADES Y SATISFACTORES DE LOS INDIVIDUOS



AREAS DE ESTADOS

- N normales
- I insuficientes
- D de desastre
- R de retorno

FIG 3-5 AREAS DE ESTADO DE UN SISTEMA Y SUS TRANSICIONES

una alteración significativa y con tendencia a crecer.

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 de su funcionamiento normal.

Para determinar en qué área 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.

Ahora bien, la visualización realizada bajo el enfoque sistémico de los dos sistemas involucrados (afectable y perturbador) y sus interrelaciones, constituye la base inicial o primera aproximación del paradigma fundamental del marco conceptual.

A partir de su carácter preliminar, el análisis del paradigma propuesto permite la posibilidad de tratar de reducir la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de los desastres, por medio de dos tipos fundamentales de actividades, que tienden a evitar, tanto la producción de las calamidades por el SP, como que el SA alcance un estado de desastre:

- Aquellas que inciden sobre la producción de calamidades por parte del SP, a través del control de sus mecanismos, se agrupan en el objetivo de *prevención*.
- Las que se oponen a que el SA alcance un estado desastroso, aminorando la intensidad de los daños en el SA,

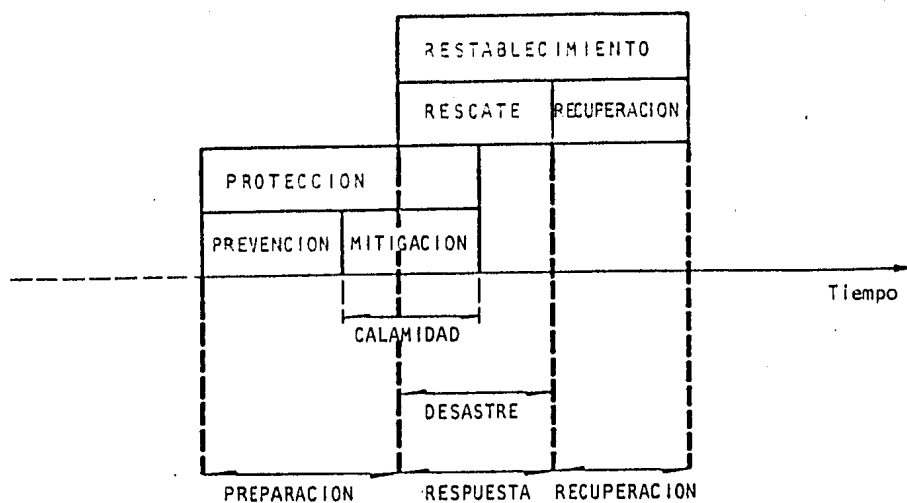
forman el objetivo de *mitigación*

Los objetivos de prevención y mitigación se engloban en forma natural en un objetivo más general llamado *protección*. Sin embargo, la protección no es el único objetivo a lograr en caso de desastre, ya que frecuentemente, por razones de carácter socioeconómico, político o tecnológico, no puede evitarse la ocurrencia de calamidades, ni lograrse la reducción de los daños, ante lo cual, la única disyuntiva es enfrentar los desastres. De esta forma, surge la necesidad de definir dos objetivos además:

- El *rescate* que busca salvar vidas humanas y bienes materiales del SA, impedir la extensión del estado desastroso y limitar el grado de los daños; y
- La *recuperación*, que pretende la reconstrucción y el mejoramiento del SA después del desastre.

El rescate y la recuperación conforman el objetivo global de *restablecimiento*. La ocurrencia en el tiempo de cada una de las distintas etapas en relación con sus objetivos, se muestran en la fig 3-6.

Para cumplir con los objetivos de protección y restablecimien-



- Prevención: impedir o disminuir la ocurrencia de calamidades
- Mitigación: disminuir los efectos de impactos por calamidades
- Rescate: salvar vidas y bienes, rehabilitar servicios vitales de apoyo
- Recuperación: reconstruir y mejorar el sistema afectable

FIG 3-6 OBJETIVOS DE PROTECCION Y RESTABLECIMIENTO EN EL TIEMPO

to, es necesario contar con un sistema de gestión, que se responsabilice por la realización de las actividades necesarias para garantizar la salvaguarda de los asentamientos humanos y áreas productivas frente a desastres. Este sistema, de tipo administrativo, a partir de la información sobre el estado de los sistemas perturbador y afectable, debe planificar y ejecutar las acciones pertinentes para lograr los objetivos señalados (fig 3-7).

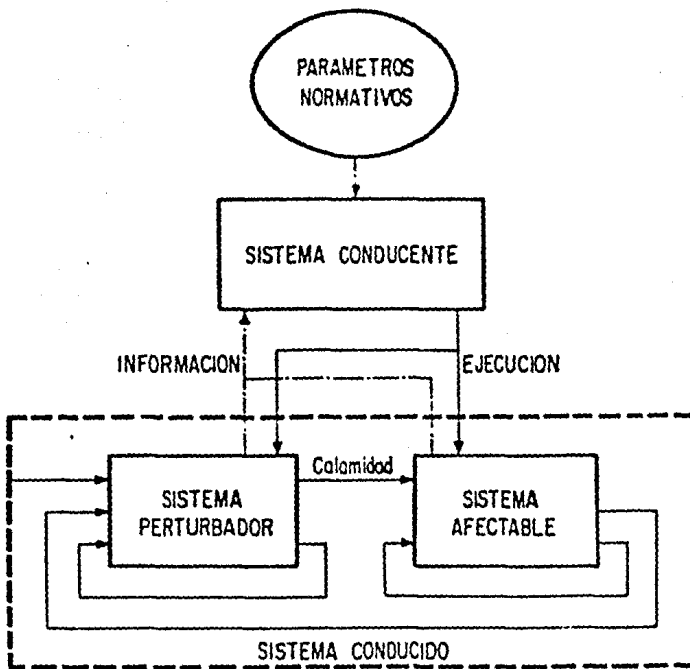


FIG 3-7 PAPEL DEL SISTEMA DE GESTION

II. ELABORACION DE PLANES Y PROCEDIMIENTOS:

MÉTODOS DE PROTECCION Y RESCATE

Presentado el marco conceptual de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres y definidos los objetivos de protección y rescate, es necesario contar tanto con un conjunto de planes y procedimientos, como un organismo gestor para su realización, que permitan garantizar el logro de estos objetivos.

Para la elaboración de los planes es indispensable disponer de una metodología adecuada y este capítulo se dedica a su descripción, así como a ilustrar su empleo en la elaboración de un plan global, que contemple todas las actividades necesarias antes, durante y después del desastre. De acuerdo con los lineamientos

de planeación, que se fundamentan más adelante, la estructura del capítulo se desarrolla según la fig 4-1.

- Elaboración de estudios sobre el riesgo de falla y vulnerabilidad
- Definición de las medidas de protección y rescate correspondientes
- Diseño del organismo responsable por la ejecución de las medidas identificadas
- Definición de los lineamientos generales de planeación de contingencias, que brinda las pautas para la formulación y concretización de los planes
- Determinación de las estructuras del Plan Global en forma de planes parciales y específicos, para integrar y organizar las medidas previstas.

4.1 CAUSAS DE FALLA Y EVALUACION DE CONSECUENCIAS

La planeación y realización de las medidas de protección contra calamidades, así como de las actividades de rescate y recuperación, dependen inicialmente de la posibilidad de prever la ocurrencia de fallas y consecuentemente, evaluar los daños probables ocasionados por las mismas.

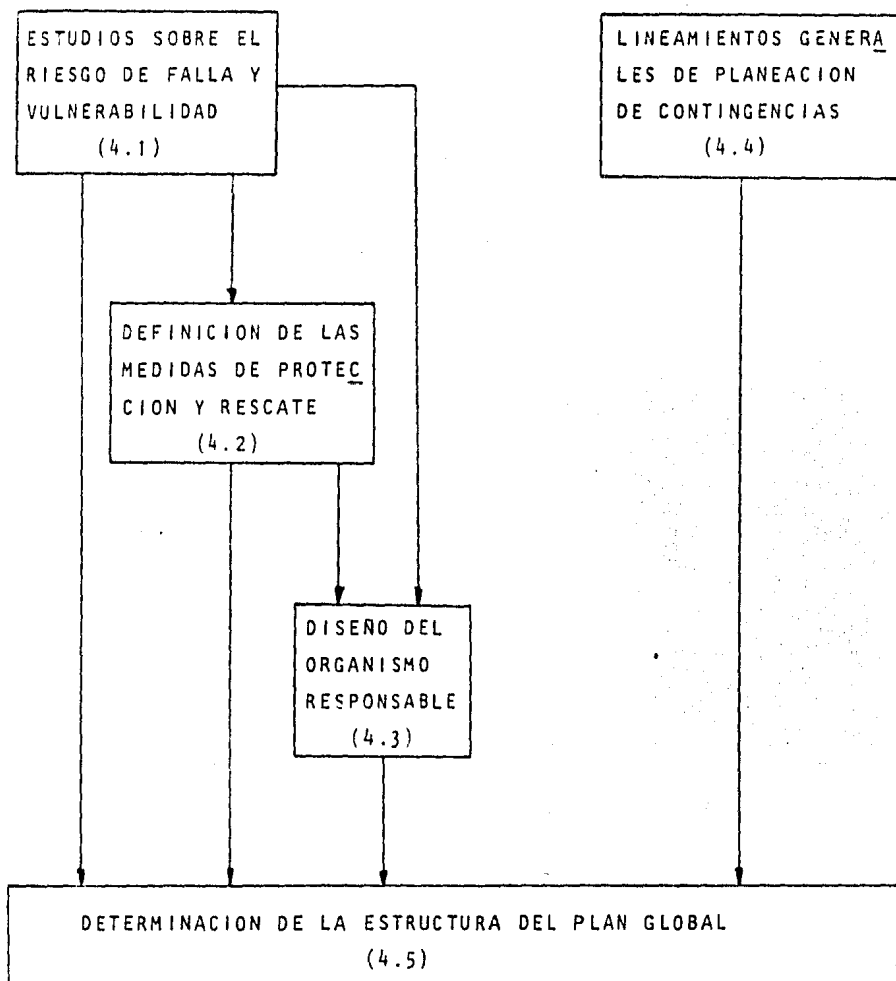


FIG 4-1 ESTRUCTURA DEL CAPITULO 4

Para realizar esta tarea, se adapta un método conocido como esquema "Causa-Efecto" (ref 30), que permite hacer un análisis de la seguridad en sistemas complejos de una forma sistemática.

Según este esquema. (fig 4-2), a partir de la definición explícita de la falla en estudio o evento máximo, se analiza en primera instancia el sistema perturbador, determinando todas las posibles calamidades y evaluando su factibilidad de ocurrencia, así como construyendo los llamados Arbol de Fallas General y Arbol de Fallas Reducido; a partir de este análisis, se evalúan los daños probables sobre el sistema afectable elaborando el Arbol de Consecuencias.

De esta manera, la identificación y el análisis de las posibles causas de falla permite especificar con antelación las acciones tendientes a minimizar el peligro. Asimismo, con la identificación y análisis de los posibles daños se pueden planear las acciones tendientes a minimizar los efectos de los impactos de una eventual falla.

a) Arbol de Fallas

El objetivo de este método (ref 31), es la conceptualización de las condiciones o estados del sistema y sus relaciones que pueden resultar en un evento indeseado. El análisis parte de la

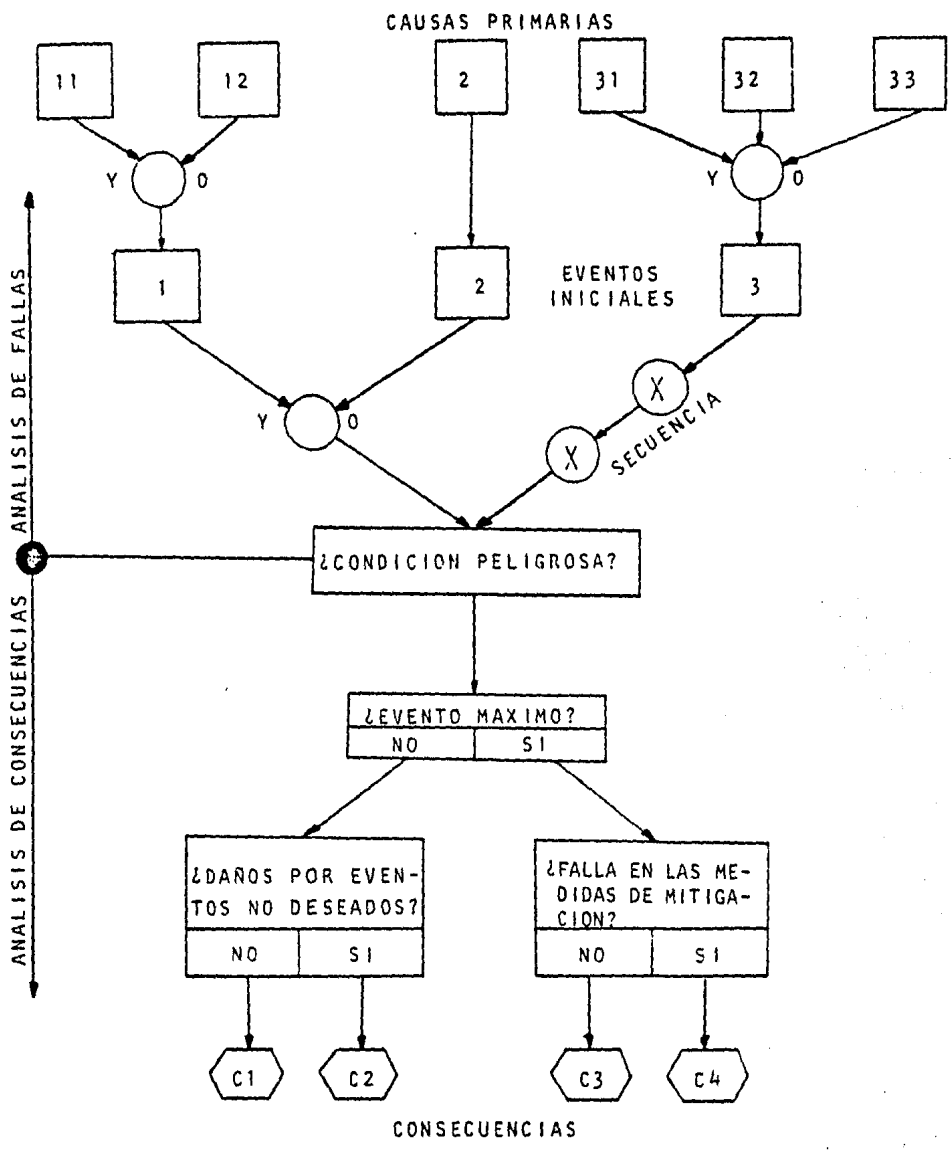


FIG 4-2 ESQUEMA CAUSA-EFECTO

descripción y comprensión del funcionamiento del sistema, con el fin de definir explícitamente el evento máximo o falla y buscar las combinaciones posibles de estados y eventos, tanto normales como extraordinarios, que pueden ocasionar el desastre.

A partir de la definición del evento máximo se identifican los diferentes tipos o modos de falla. Una vez definidos los modos de falla, se procede a determinar los eventos y/o estados que pueden ocasionar la ocurrencia de algunos de estos tipos de falla. Para realizar esta identificación se asocia a cada modo de falla la modificación o alteración física que la caracteriza.

Es así que en el conjunto total de eventos del Arbol de Fallas, se distinguen tres tipos:

- *Eventos iniciales*, que son solamente eventos causales, por ejemplo vientos.
- *Eventos terminales*, que son únicamente eventos consecuentes, en este caso el evento máximo o falla.
- *Eventos intermedios*, que tienen dos papeles; son eventos causales en relación con eventos posteriores y consecuentes para eventos anteriores; por ejemplo oleaje, que es consecuente de viento y, a su vez, es causal de sobrepaso.

De esta manera, se determinan todas las posibles causas del evento máximo analizando a su vez cada una de éstas hasta un nivel adecuado de desagregación. El producto de este análisis constituye el árbol de fallas, el cual se desarrolla en dos niveles o aproximaciones:

- *Arbol de Fallas General*, que incluye todas las causas potenciales de falla
- *Arbol de Fallas Reducido*, que conserva solamente las causas consideradas factibles, dadas las condiciones geográficas de estado y diseño del sistema en estudio.

b) Arbol de Consecuencias

El objetivo de este método es conceptualizar todos los daños que puedan suceder a partir del evento máximo o falla del bordo. Esto se alcanza por medio de un análisis del comportamiento y descripción de la avenida máxima, que permite determinar el grado de impacto y los efectos sobre los diferentes elementos del sistema afectable.

A partir de un estudio reciente (ref 32), se identifican los diferentes tipos o modos de daño, entendidos como los efectos de los impactos causados por la salida del agua. Se distinguen pa

ra la inundación cinco tipos principales de daños: daños humanos, materiales, ecológicos, productivos y sociales. A continuación se definen los daños mencionados e identifican explícitamente sus tipos y grados.

-*Daños humanos*, son los perjuicios que sufren los individuos en su integridad física. Se distinguen los siguientes daños humanos:

.Lesiones, perturbación causada en los órganos del cuerpo, como contusión o heridas

+heridas, lesión penetrante producida en un cuerpo vivo por un choque

+Contusión, magulladura producida por un cuerpo contudente

.Muerte, cesación definitiva de la vida.

-*Daños materiales*, son los daños físicos que se causan a los bienes materiales, tales como infraestructura, estructura, equipos, enseres, valores, etc. Se consideran diferentes grados del daño:

.Daño nulo, es cuando el elemento no queda afectado por los impactos

.Daño leve, es cuando no se afecta de manera sensible el funcionamiento del elemento

.Daño parcial, es cuando el elemento no cumple su función completamente, pero aún no la ha suspendido, es decir, está en malas condiciones.

.Daño total, corresponde a la destrucción del elemento o a su falla total.

-Daños *ecológicos*, son los causados al equilibrio ecológico, por ejemplo, contaminación, deforestación, etc. Se identifican, los mismos grados de impacto que en los daños materiales.

-Daños *productivos*, son los que se ocasionan en la producción de bienes o generación de servicios, como, por ejemplo, la falta de suministro de energía eléctrica, etc.

-Daños *sociales* son los que sufre el hombre, la familia y la comunidad en forma de todas o algunas de sus funciones sociales esenciales.

Una vez definidas las causas de falla, sus consecuencias y el escenario de desastre se determinan las medidas de prevención, mitigación y rescate pertinentes.

4.2 MEDIDAS DE PROTECCION Y RESCATE

En base al desarrollo metodológico del capítulo anterior, el propio marco conceptual establece los objetivos básicos de protección del sistema afectable frente a las calamidades, así como los objetivos de restablecimiento para enfrentar los desastres.

Es importante señalar que de los objetivos de restablecimiento; rescate y recuperación, el segundo cae fuera del alcance de estudio, por lo que el análisis y determinación de las medidas pertinentes se limitan a los aspectos de protección (en su forma general) y rescate.

La definición del conjunto de medidas de protección y rescate necesarias para, por un lado garantizar la salvaguarda de personas frente a una eventual falla, así como minimizar los consecuentes daños materiales, y por otro, prevenir las probables causas de falla y mitigar sus impactos, está basada en el análi

sis de ambos árboles de fallas y consecuencias, consecuentemente.

a) Medidas de protección

A través de la identificación de los eventos que corresponden a cada una de las cadenas "causa-efecto" del Arbol de Fallas Reducido, y elaborando modelos sobre su comportamiento o, bien, avocando a los expertos en las distintas áreas (Hidráulica, Mecánica de Suelos, Sistemas, etc.), se determina el conjunto de las medidas posibles de protección que sirve para interrumpir el mecanismo de la interrelación "causa-efecto"

De esta manera, la definición de estas medidas se logra a través de la siguiente secuencia del análisis:

- Se identifica cada una de las relaciones (cadenas) que constituyen la la. parte del diagrama causa-efecto.
- Se analiza el mecanismo particular de producción del efecto en cada cadena.
- Se determina la posible intervención al mecanismo para interrumpir o aminorar esta relación

-Se definen las medidas factibles para realizar la inter
vención.

La identificación sistemática de las relaciones causa-efecto se realiza conforme al Arbol de Fallas Reducido.

El estudio del mecanismo de la relación causa-efecto, implica la necesidad de contar con un modelo o avocar a los expertos (ref32) que, según su juicio y experiencia, pueden sugerir las mejores opciones o alternativas para determinar, a fin de cuentas, las intervenciones factibles tecnológica y económicamente.

Para la elaboración del modelo del mecanismo de producción del efecto, así como para proporcionar los expertos un procedimien
to sistemático para su análisis, de acuerdo con un estudio anterior (ref 32) se adaptaron cinco fases que se desarrollan, generalmente, desde la ocurrencia de la causa hasta la realiza
ción del efecto (fig 4.3)

- *Preparación*, se refiere a la integración de las condiciones para la ocurrencia de la causa.

- *Iniciación*, consiste en la ocurrencia de la causa.

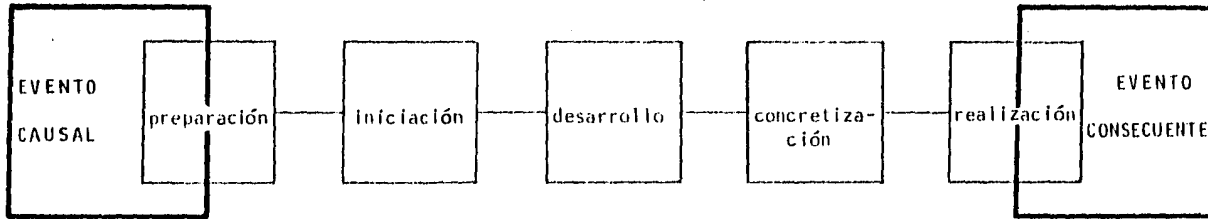


FIG 4-3 PROCESO DE PRODUCCION DEL EFECTO

- Desarrollo, se refiere a la interacción entre el evento causal y el evento consecuente
- Concretización, esto es, la excitación de los mecanismos propios del efecto
- Realización, que consiste en la ocurrencia del efecto propiamente dicho.

Estas fases se presentan con distinta duración e importancia dependiendo de la relación "causa-efecto", y sirven como lineamientos en la búsqueda de las medidas de protección adecuadas para cada una de las cadenas.

b) Medidas de rescate

Una vez definidos los lineamientos generales de la determinación de las medidas de protección ante una eventual falla, es necesario desarrollar de manera similar, lo referente al rescate.

En este sentido, el concepto de rescate, en general, se refiere a todas las actividades orientadas a reducir las pérdidas de vida y de bienes y el sufrimiento humano frente a un evento

destrutivo, así como la extensión del estado desastroso. Para lograr estos objetivos se destacan tres conjuntos de medidas básicas:

-Evacuación, que consiste en el desalojo rápido o paulatino de personas y/o bienes de las áreas de desastre o expuestas a un riesgo inminente. Es así que se definen dos tipos principales de evacuación, de acuerdo a su periodo de realización; el primero antes del desastre, y el segundo después del mismo.

-Rescate propio, orientado a la realización de acciones de emergencia, como la búsqueda de personas, primeros auxilios y atención médica de emergencia, con el fin de evitar la extensión y/o ampliación de los daños.

-Rehabilitación, como una actividad orientada a concluir la atención del desastre, así como iniciar la fase normal de recuperación.

Ahora bien, la realización de estas medidas de protección y rescate requiere contar con una organización específicamente orientada que, además, cuente con los planes y procedimientos adecuados

para actuar tanto antes como durante y después de la emergencia. Esta responsabilidad deberá recaer en el Organismo de Protección y Rescate (OPR), cuyas funciones y procedimientos se definen a continuación.

4.3 ORGANISMO DE PROTECCION Y RESCATE

El Organismo de Protección y Rescate (OPR) es un organismo administrativo responsable por actuar y realizar todas las actividades necesarias antes, durante y después de las emergencias, con el fin de garantizar la salvaguarda de todos aquellos susceptibles de ser afectados en su integridad física o pertenencias por un desastre.

En este sentido, el OPR debe buscar cumplir con los objetivos de protección y rescate en tres etapas del tiempo:

- Antes del desastre, cuando se dedica a prevenir la ocurrencia de las posibles causas de desastre y a ejecutar las obras y acciones orientadas a mitigar el impacto de una eventual calamidad, así como a preparar los procedimientos, equipo, materiales y personal requerido para brindar el rescate en caso de emergencia.

-Durante el desastre cuando se dedica fundamentalmente al rescate de seres humanos y bienes y a impedir la extensión del estado de desastre.

-Después del desastre, cuando se orienta a rehabilitar los servicios indispensables y a apoyar la recuperación y mejoramiento de la situación normal.

Para alcanzar estos objetivos, el Organo de Protección y Rescate debe cumplir con las siguientes funciones básicas:

-Detectar, monitorear y pronosticar la ocurrencia de todos los eventos que pueden ocasionar la falla.

-Evaluar el estado y condiciones de funcionamiento de la estructura.

-Definir, diseñar y ejecutar o coordinar, en su caso, la realización de las obras y acciones de prevención y mitigación pertinentes.

-Estimar y preparar las condiciones y requerimientos en personal, equipo y otros recursos para realizar la pro-

tección y el rescate.

-Elaborar y ejecutar los planes de protección y rescate.

-Estimar los daños, obtener los recursos, dirigir las actividades de rehabilitación de los servicios indispensables y apoyar la siguiente recuperación de la Central.

Un aspecto fundamental en el diseño de este órgano lo constituye la definición de sus procedimientos operativos para situaciones extraordinarias, entendidas como el conjunto de procedimientos de toma de decisiones, que organiza de forma normativa los flujos de información, de supervisión, de coordinación y/o ejecución de las acciones pertinentes de protección y rescate.

En este sentido, los procedimientos operativos son el conjunto de acciones programados que deben ser realizados siempre, en forma rutinaria, cuando se presentan ciertas condiciones o eventos.

4.4 LINEAMIENTOS DE PLANEACION

Para el desarrollo de los planes de protección y rescate, que indudablemente debe ser realizado por los mismos organismos res

ponsables por su ejecución, en este caso el OPR, es necesario contar con lineamientos generales y una metodología de elaboración de los planes.

Es importante señalar que el plan es un instrumento que proporciona un marco de referencia y criterios, para apoyar a los tomadores de decisiones y ejecutores, en situaciones específicas, para definir, seleccionar y realizar las acciones de cambios inmediatas, mediatas y a largo plazo más adecuadas al cumplimiento de los objetivos.

A partir de estas consideraciones, la metodología del desarrollo de planes de contingencia se concibe como una adaptación del esquema general del proceso de planeación (ref 33), en cuya estructura se distinguen cuatro etapas (fig 4.4):

- Diagnóstico*, cuyo objetivo es plantear los problemas actuales y futuros, a través del análisis de la discrepancia entre el estado actual y el deseado, así como de sus proyecciones.

- Prescripción*, que se dedica a la creación y selección de las soluciones más adecuadas.

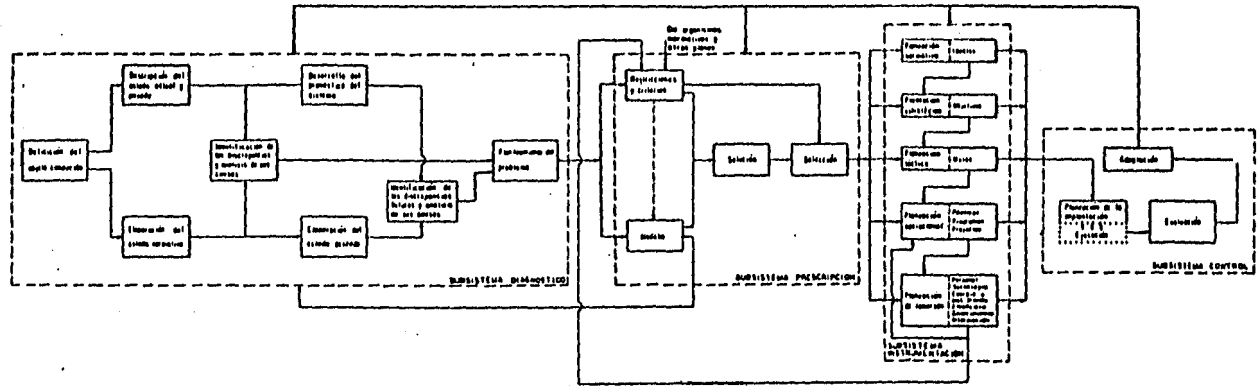


FIG 4-4 ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE PLANEACION

-*Instrumentación*, que transforma las soluciones en objetivos, políticas y programas del plan.

-*Control*, que evalúa la implantación de los programas y sus resultados a fin de realizar ajustes y adaptaciones para mejorar el plan.

De acuerdo con la filosofía moderna de planeación, la elaboración de planes no debe pretender dar como resultado un producto último, ya que ésto conduciría a un enorme gasto de tiempo y esfuerzo para lograr finalmente un plan que de todas maneras no sería perfecto y muchas veces resulta obsoleto. Es por ésto que en la adaptación de este esquema general, para el caso de la planeación de contingencias, se toma como propósito buscar un plan de primera aproximación, susceptible de ser mejorado y adaptado de acuerdo a las experiencias posteriores.

Ahora bien, a partir de este planteamiento, la adaptación del esquema general a los planes de protección y rescate se realiza de la siguiente forma:

- a) La etapa de diagnóstico se interpreta como la identificación de las posibles causas y efectos del caso en

análisis, así como la definición de los posibles escenarios y situaciones de emergencia.

- b) La etapa de prescripción se interpreta como la especificación de las alternativas de acción para intervenir tanto en la ocurrencia de las causas, como en las consecuencias.
- c) La etapa de instrumentación se interpreta como el planteamiento de los objetivos y metas para realizar las alternativas de acción definidas para cada una de las causas y consecuencias consideradas, así como la definición de las responsabilidades y actividades, tanto de los tomadores de decisiones como de los ejecutores del plan.
- d) Finalmente, la etapa de control se interpreta como la revisión y actualización del plan, que debe ser realizada periódicamente, mejorándolo de acuerdo con las experiencias obtenidas y las nuevas condiciones.

4.5 ESTRUCTURA DEL PLAN GLOBAL

De acuerdo a lo planteado en el inciso anterior, se requiere

contar con un instrumento que norme y organice todas las actividades que deben ser desarrolladas tanto antes como durante y después de una eventual falla; este instrumento, llamado 'Plan Global de Protección y Rescate', logra estos objetivos.

En primera instancia, es importante señalar que se destacan dos diferentes situaciones; normal y extraordinaria. La última, por las presiones del momento y las necesidades de tomar las acciones inmediatas, precipitadas, estipula la importancia de contar con planes operativos a diferencia de la situación normal que requiere de planes indicativos.

Es así que el Plan Global de Protección y Rescate se compone por diferentes planes determinados por las situaciones específicas:

- Planes operativos, que corresponden a la situación extraordinaria y tienen que identificar en forma simple y explícita las actividades correspondientes a realizar, así como los responsables y recursos indispensables de apoyo. Asimismo estos planes tienen que especificar los medios de comunicación y señalamiento.

- Planes indicativos, que corresponden a la situación normal, tienen que especificar los objetivos, políticas y estrate-

gias, así como los programas para lograr las metas correspondientes.

Es así que los planes operativos se presentan en formatos específicos y concretos que permiten su fácil acceso y agilidad en su empleo. Entre diferentes elementos a elaborar, se destacan los siguientes: (ref 34)

- Definir la situación a la cuál corresponde el plan
- Precisar los objetivos y las actividades para lograrlos
- Señalar los responsables para realizar cada una de las actividades
- Especificar explícitamente las formas de comunicación para avisos, órdenes y coordinación
- Enumerar los recursos indispensables para realizar las actividades
- Contener la información relevante, precisa y oportuna para ejecutar el plan.

5 APLICACION

EL BORDO DEL ESTANQUE DE RIO ESCONDIDO, COAH

En el presente capítulo se aplica lo anteriormente expuesto so
bre los desastres en presas, bajo el enfoque sistémico, concre
tizando para el caso particular del bordo del estanque de la
Central Termoeléctrica Río Escondido, Coah.

Es importante señalar que si bien el bordo no entra en términos
de una presa, puede considerarse como tal por dos razones funda
mentales:

- Cumple con algunos de los objetivos funcionales de las
presas, como el de contención del agua.

- Presenta las mismas características estructurales de una
presa de tierra y enrocamiento.

El desarrollo del capítulo se inicia con la identificación de la

situación actual del estanque, a partir de la cual se analizan las probables causas de falla del bordo, así como las posibles consecuencias de la misma, con base en las cuales se definen las medidas de protección y rescate pertinentes, para finalmente plantear, en términos generales, los lineamientos de la formulación de planes.

5.1 SITUACION ACTUAL DEL ESTANQUE

La identificación de la problemática actual del estanque de Río Escondido en lo que respecta a su seguridad, requiere conocer las características generales del bordo y la Central, así como de su situación y estado actual.

a) Descripción de la Central

La central termoeléctrica José López Portillo (Río Escondido), está ubicada a 31 km al suroeste de la ciudad de Piedras Negras, Coah, en el municipio del mismo nombre, inmediata a la carretera federal No. 57 México-Piedras Negras y es atravesada por la línea troncal del ferrocarril Monterrey-Monclova-Piedras Negras, (fig 5-1). Sus coordenadas geográficas son: 28°28'N de latitud y 100°41'W de longitud. La altura sobre el nivel del mar es de 305m; la temperatura varía entre 44°C y de menos 13°C; la precipitación pluvial media anual es de 520 mm.

La termoeléctrica se interconectará al sistema eléctrico NOINE, División Golfo Norte, para satisfacer la creciente demanda de la zona, que es una de las de mayor dinámica económica en el país. Cuenta con una capacidad total de generación de 1'200 000 kw en cuatro unidades, y una generación anual posible de 8'000 000 000 kwh. Como combustible se utiliza carbón sub-bituminoso de flama

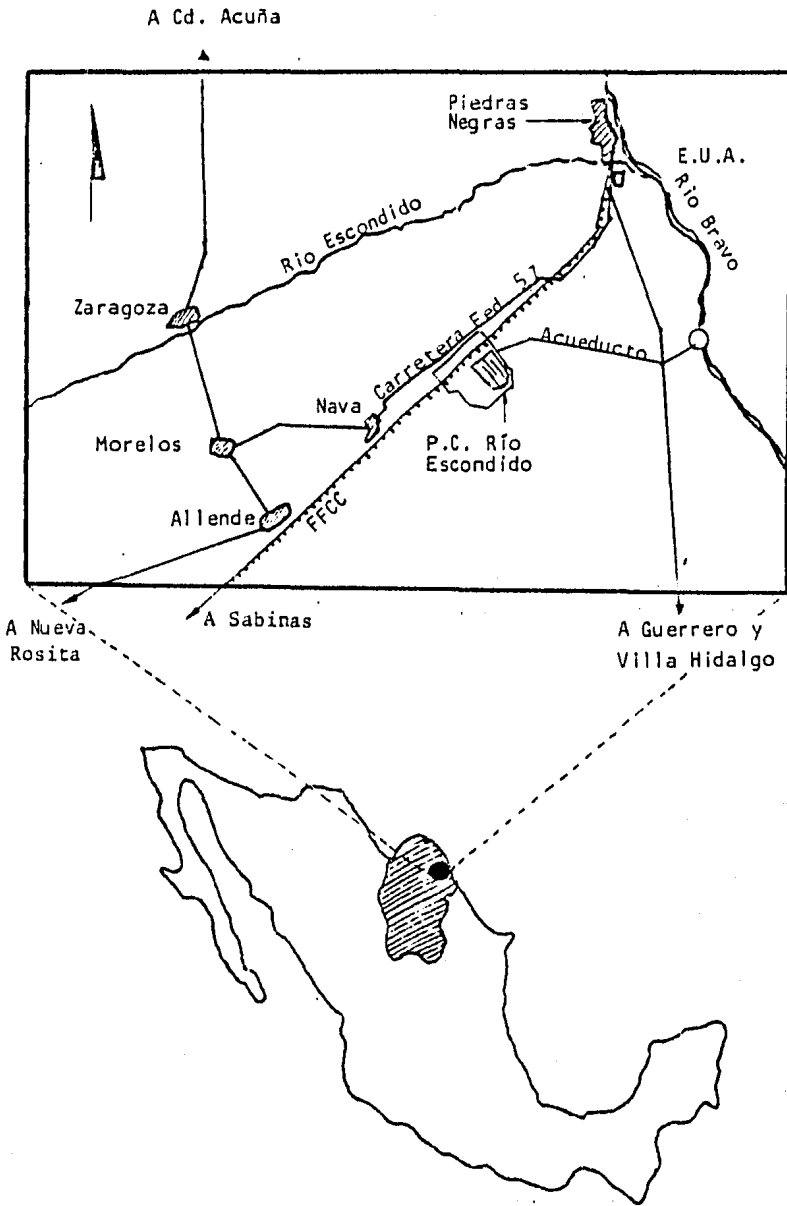


FIG 5-1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA CENTRAL

larga, no coquizable, extraído de tajos y minas subterráneas próximas a la planta.

El manejo del carbón combustible opera mediante dos bandas transportadoras que se descargan en tres pilas de almacenamiento, de donde se extrae para conducirlo a la estación de molienda y de ahí a los sitios de alimentación de las unidades generadoras, especiales para las condiciones de la combustión del carbón.

Para enfriar el agua de condensación del vapor que escapa de las unidades de generación, se cuenta con un estanque artificial, construido sobre 300 hectáreas y alimentado por un acueducto proveniente del Río Bravo y de la mina No. 2 de Micare. En casos extremos este estanque hará posible operar la Central durante varios meses sin agregar agua de repuesto.

El estanque está limitado por un bordo perimetral de 13 km de longitud y altura media de 8m sobre la superficie del terreno natural; el tirante medio de operación del estanque es de 6m, de tal forma que la altura media del bordo libre es de 2m de acuerdo al diseño, contando con una capacidad total de almacenamiento de 18'000 000m³. Para su mejor operación de enfriamiento, el estanque está dividido en dos cuerpos separados que pueden ser utilizados independientemente o en conjunto, por un dique central y dos deflectores (fig 5-2).

El material predominante en la construcción del bordo es arcilla local, poco cementada con alto contenido de agua, homogenei

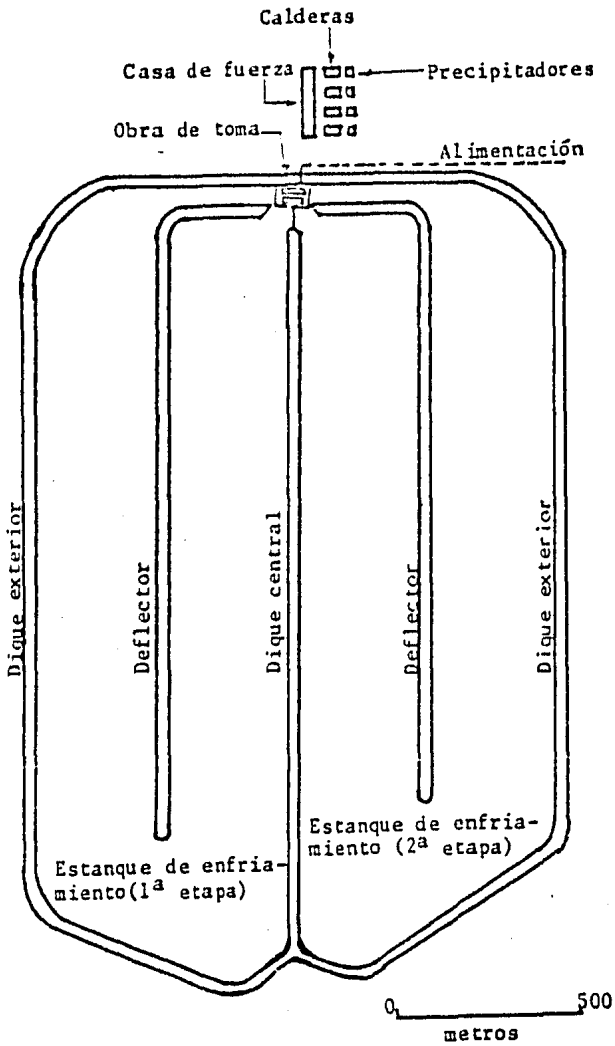


FIG 5-2 ESTANQUE DE ENFRIAMIENTO

zada antes de su aplicación. Cuenta con un filtro central de arena, como protección frente a eventuales filtraciones o agrietamientos en los diques central y exterior. La protección de los taludes frente a la erosión por oleaje, incluye una capa de grava graduada sobre la arcilla y recubierta por una pared de enrocamiento en el talud aguas arriba y de una alfombra de pasto sobre el talud aguas abajo (fig 5-3).

b) Estado actual del estanque

A partir de la descripción general de la Central se analizan los principales problemas de seguridad y salvaguarda en el estanque frente a una falla eventual, a través de conocer la situación y estado actual del bordo.

En base a visitas de campo y a la información disponible, se detectan los siguientes aspectos relevantes para la evaluación de la seguridad del estanque:

-El enrocamiento existente es sensiblemente menor al diseñado (750 kg) (ref 35), estimándose de un peso medio menor a los 50 kg, debido a que en su etapa constructiva se usaron los bancos de roca del área, inadecuados para el enrocamiento de diseño.

-Debido al oleaje provocado por los vientos extraordinarios del mes de marzo de 1983, se originaron daños en el enrocamiento de las cabeceras sur-oriente que dejaron, en algunos puntos, la arcilla del bordo directamente expuesta al embalse de las olas. Por tal motivo, en las zonas dañadas, se está sustituyendo el enrocamiento con gaviones de peso aproximado de 900 kg.

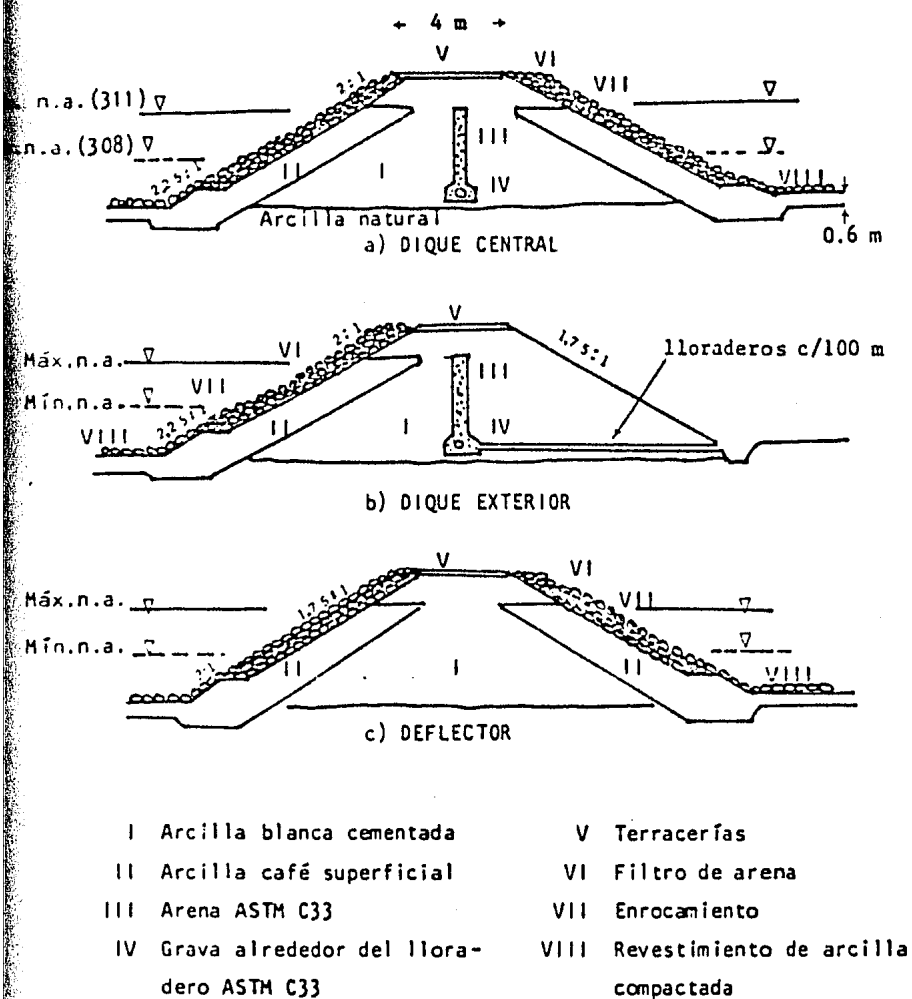


FIG 5-3 ESTRUCTURA DEL ESTANQUE

- Existen pequeñas filtraciones del estanque en los pozos de visita 22 y 23, aproximadamente de 20 lts/hr, de cantidad muy inferior a la tolerada por el diseño (150 lts/hr).
- La estación meteorológica local se encuentra fuera de servicio, aparentemente desde hace varios meses, y su operación no ha sido regular desde su instalación debido a problemas técnicos y de organización.
- El personal previsto para la operación normal de la planta no incluye un equipo dedicado al mantenimiento del bordo, por lo que la reparación del enrocamiento dañado está siendo realizada por personal de construcción, lo cual resulta importante en el futuro, cuando la construcción de la Central sea terminada, ya que el mantenimiento y eventual reparación del bordo es fundamental para preservarlo en las condiciones adecuadas de seguridad.
- El nivel usual de operación del estanque es menor del máximo previsto en el diseño, lo que aumenta el bordo libre hasta 3 metros como promedio.
- Las compuertas de vaciado del estanque están colocadas de tal forma que las válvulas de apertura y cierre se encuentran en el mismo nivel que la salida del agua, por lo que en caso de un vaciado, por ejemplo, por reparación del bordo quedarían inundadas, dificultando el cierre posterior.

-En el programa normal de operación y mantenimiento de la Central no se incluye ningún tipo de preparación para la realización de las medidas de prevención y mitigación frente a fenómenos extraordinarios, ni se previeron las medidas de rescate y rehabilitación frente a una eventual falla, lo que podría amplificar fuertemente cualquier accidente o falla. Esta carencia es común en el diseño y construcción de las grandes obras de ingeniería en el mundo y se encuentra mencionada en diversa literatura (ref 18).

Con base en todo lo anterior, es claro que el problema de seguridad en el estanque de Río Escondido estriba en la falta de un conjunto adecuado de medidas para enfrentar con éxito las calamidades y sus consecuencias.

En este contexto, se presenta la necesidad de determinar el conjunto de medidas de protección y rescate necesarias para, por un lado garantizar la salvaguarda del personal de la Central frente a una eventual falla del bordo del estanque, así como minimizar los consecuentes daños materiales, y por otro, prevenir las probables causas de falla y mitigar sus impactos.

La definición del conjunto de medidas de prevención y rescate deberá estar basada en la evaluación explícita de las posibles causas de falla, así como de sus probables daños.

5.2 CAUSAS DE FALLA DEL BORDO

La identificación y análisis de las posibles causas de falla del bordo se realiza utilizando el método de árbol de fallas, descrito en el capítulo anterior, en dos niveles o aproximaciones:

-El Arbol de Fallas General (AFG), que incluye todas las causas potenciales de falla del bordo.

-El Arbol de Fallas Reducido (AFR), que conserva solamente las causas consideradas "factibles", dadas las condiciones geográficas y de estado y diseño del bordo.

A partir del Arbol de Fallas General, se estudian y analizan todas las causas con el fin de determinar su probabilidad de ocurrencia y sus probables dinámicas de desarrollo. Así se destacan las causas factibles y se construye el Arbol de Fallas Reducido, que presenta una síntesis de las diferentes probabilidades de falla y permite evaluar el peligro global de ocurrencia del evento máximo, esto es, la falla del bordo.

5.2.1 ARBOL DE FALLAS GENERAL

Se identifican dos diferentes tipos o modos de falla, entendidos como la forma de expresión o manifestación de la salida del agua.

-A través del bordo, cuando la permeabilidad del bordo es fuertemente disminuida, permitiendo el paso de grandes volúmenes de agua.

-Sobre el bordo, cuando el nivel de agua en el estanque supera la altura del bordo en uno o más puntos*

*Es conveniente hacer notar que la falla del bordo implica la presencia de un flujo de agua, por lo cual el simple sobrepaso, por ejemplo, por oleaje no constituye una falla.

Al primer modo de falla (a través del bordo) se asocia el fenómeno de infiltración y para el segundo (sobre el bordo), el de modificación geométrica.

1. Falla por infiltración

La falla del bordo por infiltración se presenta cuando existe un flujo substancial y continuo a través del bordo, poniendo en peligro su estabilidad, o bien cuando el flujo es de tal magnitud que permite concluir que el bordo no cumple su función de contener el agua del estanque.

Se identificaron tres causas fundamentales que pueden ocasionar la falla del bordo por infiltración:

-*Tubificación*, cuando se presentan conductos o tubos a través del bordo, que permiten el paso de grandes volúmenes de agua.

-*Agrietamiento*, cuando ocurren fisuras que atraviesan el bordo, tanto transversales como longitudinales, permitiendo la circulación de flujos en la parte exterior del bordo.

-*Filtración en la cimentación*, cuando bajo el bordo el nivel de permeabilidad de la cimentación es tal que permite el flujo de agua de magnitud mayor a la tolerada.

Cada uno de estos fenómenos se analizó: buscando las causas primarias que lo ocasionan, los resultados se muestran en la fig 5-4 correspondiente a la rama del árbol de fallas por infiltración.

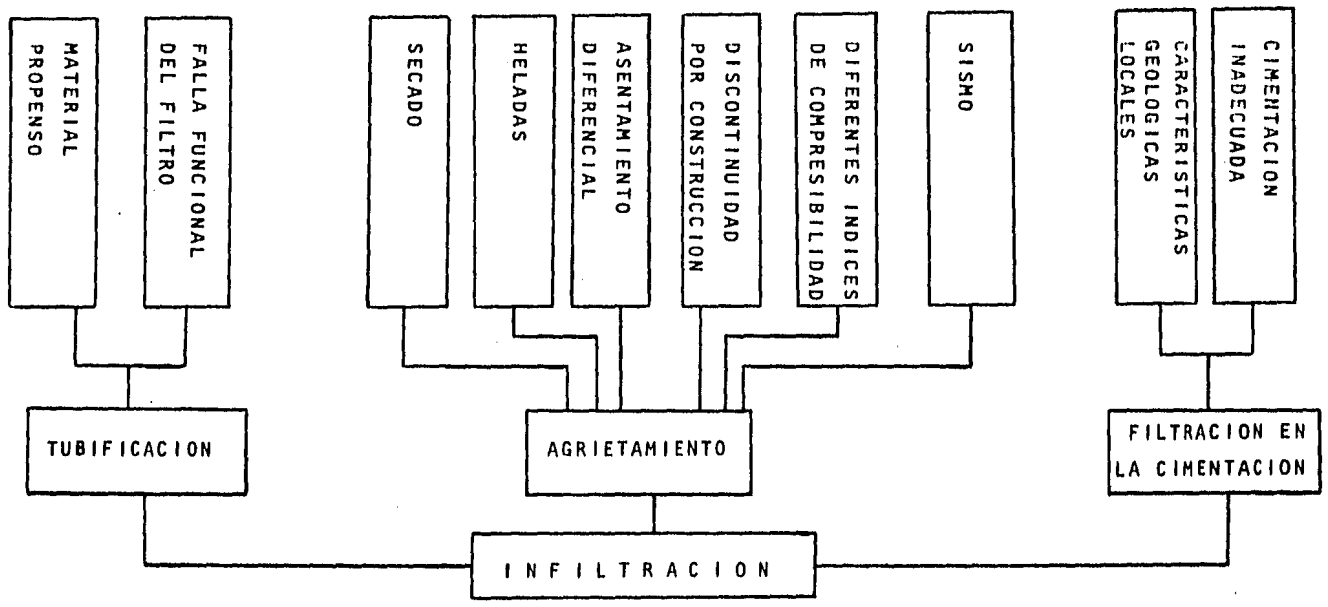


FIG 5-4 POSIBLES CAUSAS DE FALLA POR INFILTRACION

2. Falla por modificación geométrica

La falla del bordo por modificación geométrica se presenta cuando la altura del bordo libre se pierde, permitiendo por tanto que el nivel del agua sobrepase la altura de la cortina en uno o más puntos. El paso del agua sobre el bordo provoca una fuerte erosión, que desgasta la totalidad del bordo en pocas horas.

Esta pérdida del bordo libre puede ser ocasionada por cinco causas fundamentales:

- Deslizamiento del talud*, esto es, cuando uno o ambos taludes del bordo pierden su estabilidad y se colapsan, provocando una disminución de la altura total del bordo.
- Hundimiento*, cuando en la base del bordo se presenta una falla que ocasiona el desplome o hundimiento del bordo, en una altura superior a la del bordo libre.
- Erosión*, cuando la parte superior del bordo es destruida o arrastrada, provocando ya sea directamente el paso del agua o bien un adelgazamiento del bordo de tal magnitud que no resista los embates del agua.
- Sabotaje*, cuando el bordo sufre una alteración malintencionada con el fin expreso de provocar falla en su estructura o funcionamiento.
- Modificación del diseño*, cuando el diseño original del bordo sufre cambio durante la construcción en su forma o proporciones, (sea intencional o no), provocando, por

ejemplo, una disminución de la altura del bordo.

A la vez, cada uno de estos fenómenos es ocasionado por la ocurrencia de uno o varios eventos. El desglose completo de las causas que potencialmente pueden provocar una modificación de la geometría del bordo se muestra en la fig 5-5, integrándose con la rama de infiltración, constituyendo el Arbol de Fallas General (fig 5-6).

5.2.2 ARBOL DE FALLAS REDUCIDO

El Arbol de Fallas General construido, contiene todas las posibles causas de falla de bordos, sin contemplar las características geográficas, de diseño, construcción, etc, del bordo en estudio. Ahora bien es necesario realizar un análisis del árbol, considerando el caso particular del estanque de Río Escondido, Coah, para eliminar aquellos eventos o estados que se consideren no factibles, esto es, con una probabilidad marginal.

Para evaluar la factibilidad de ocurrencia de las diferentes causas de falla, es necesario analizar, por un lado, su mecanismo que opera en cada caso específico, y por otro, las características relevantes de diseño, construcción y estado actual del bordo.

1. Infiltración

La infiltración a través del bordo puede ocasionarle considerables alteraciones físicas o estar encadenada a otros modos

de falla, de tal manera, que por separado, o en conjunto, provoque la destrucción total del bordo. Por tal causa, es de vital importancia mantener el caudal infiltrado dentro del rango tolerable con el mantenimiento y operación adecuados según lo previsto en el diseño de la obra, que incluyó la colocación de conductos y filtros especiales*, así como sistemas de monitoreo que permiten detectar el flujo y conocer sus causas.

A continuación se describe un análisis de la infiltración incluyendo los aspectos de tubificación, agrietamiento y filtración en la cimentación:

- a) *Tubificación.* Se entiende por tubificación la erosión interna que produce la formación de tubos o conductos dando como consecuencia la infiltración o flujo de agua a través del bordo.

Para que se produzca la tubificación es necesario dos condiciones simultáneamente:

- Que el cuerpo de la cortina sea construido con material susceptible a tubificación, tal como ciertas arcillas, limos no plásticos, arenas finas o polvos de roca (fig 5-7).
- No exista un filtro protector central, o bien que este tenga una falla funcional.

En el caso de Río Escondido, con suelos no susceptibles a tubificación, se tiene la existencia de un filtro protector central. Por lo cual, se considera prácticamente nula la ocurrencia de falla por esta causa.

*Los filtros son la mejor protección conocida contra la erosión interna debido a la infiltración por el flujo de agua.

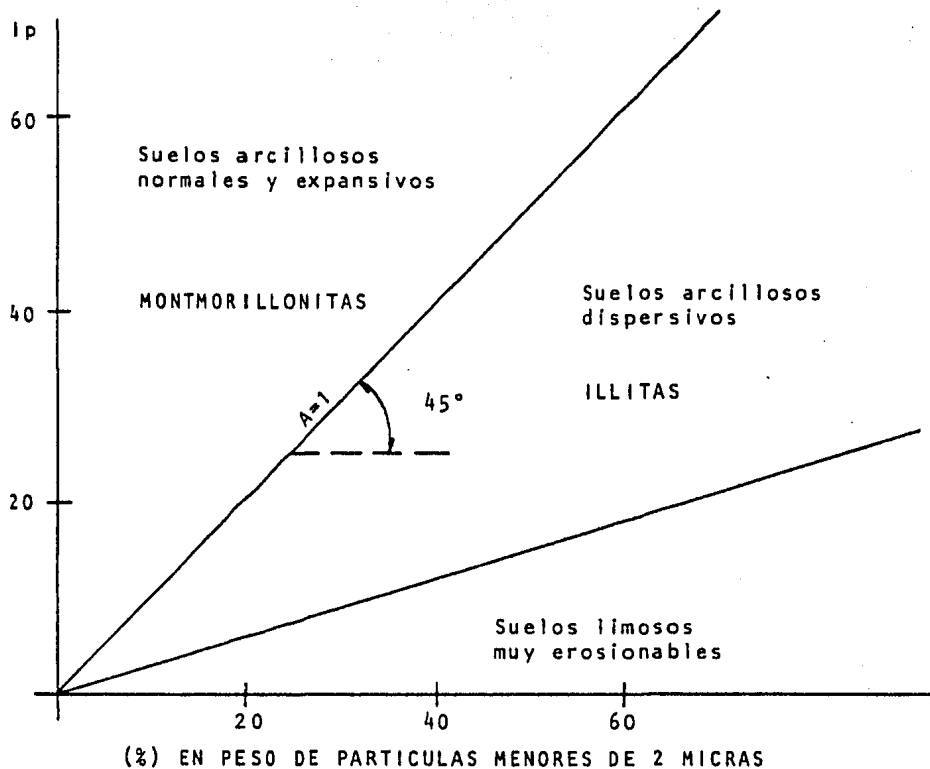


FIG 5-7 ACTIVIDAD DE LOS SUELOS CONSTITUTIVOS DE PRESAS HOMOGENEAS QUE HAN SUFRIDO TUBIFICACION

FUENTE: Rousselon (ref 36)

- b) *Agrietamiento*. La existencia de grietas y fisuras es una causa principal de roturas y accidentes serios en bordos y presas, por lo tanto, el estudio de las infiltraciones por agrietamiento se considera, tradicionalmente, como uno de los aspectos fundamentales en la prevención de fallas.

El secado puede provocar agrietamiento tanto durante la construcción como en la operación. Durante la construcción del bordo de Río Escondido, hubo secado que provocó pequeñas grietas y fisuras dando como consecuencia una infiltración marginal a través del bordo.

La función del estanque de enfriamiento implica la necesidad de mantener siempre el tirante por sobre el nivel de funcionamiento normal, lo que disminuye sensiblemente la posibilidad de ocurrencia de agrietamiento por esta causa. Aún más, en Río Escondido se tienen capas de arena y grava en el fondo y los laterales que conservarían, en caso de vaciado temporal, la humedad necesaria para evitar agrietamiento. De lo anterior resulta que la probabilidad de falla por secado durante la operación es prácticamente nula.

Las *heladas prolongadas* son otro fenómeno que puede ocasionar agrietamiento. Cuando el agua se congela en un vacío del suelo por su expansión actúa como una cuña separando las partículas sólidas y aumentando el volumen de vacíos; de tal forma que a su regreso al estado líquido, las arcillas no recuperan su volumen

original, constituyendo así las consecuentes fisuras.

Por la ubicación geográfica del estanque, las temperaturas llegan hasta -13°C , pero la importancia de este fenómeno es mínima por su corta duración de algunas horas, por lo cual el agrietamiento por heladas es poco factible.

Otro mecanismo importante de agrietamiento, es el *asentamiento diferencial*, que puede ser producido por compresión del terraplén mismo en suelos de alta compresibilidad o por sismo. La ocurrencia de falla por asentamiento diferencial, en el caso de Río Escondido, es poco factible ya que por un lado no se tienen suelos blandos, de baja compresibilidad, que puedan deformarse y producir asentamientos y por otro se trata de una zona no sísmica.

La *discontinuidad entre planos constructivos*, esto es, contactos defectuosos tanto de las diferentes capas como entre el bordo y el suelo, también pueden provocar agrietamiento por medio de dos mecanismos principales. El primero causado por el deslizamiento entre capas o de la recarga cuando el bordo está en proceso de construcción; el segundo debido a los diferentes índices de compresibilidad.

En los bordos o presas con sección homogénea, esto es construidas casi exclusivamente con tierra com-

pactada, la existencia de planos de discontinuidad es más probable.

Dado que el bordo de Río Escondido está constituido por una sección homogénea con filtros, se considera necesario estudiar este mecanismo de falla, por lo que se incluye en el árbol de fallas reducido.

Por otra parte la presencia de *diferentes índices de compresibilidad* puede ser ocasionada por la falta de homogeneidad en el nivel de humedad en las arcillas.

En el caso del bordo de Río Escondido, durante la construcción se uniformizó el nivel de humedad de las arcillas con riegos sistemáticos lo que permitió, por un lado mantener un índice de compresibilidad relativamente homogéneo, y por otro, evitar los movimientos que ocurren por saturación al llenar el embalse; de tal forma que la probabilidad de falla por este motivo es prácticamente nula.

En la misma rama de las causas del agrietamiento se encuentra también el sismo. En general, los sismos son tomados en cuenta tanto en el diseño como en la construcción de presas y bordos. Ahora bien, el bordo de Río Escondido está ubicado en una zona no sísmica, según se aprecia en la fig 5-8, por lo que se considera nula la probabilidad de falla por sismo.

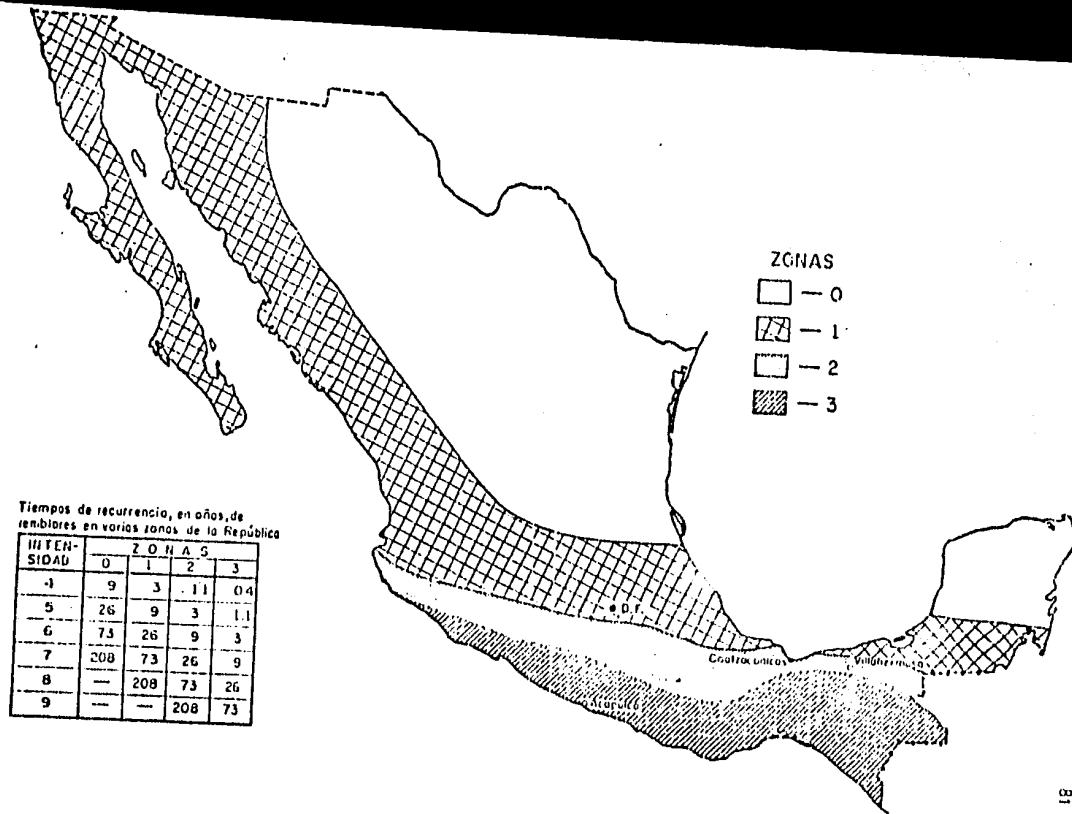


FIG 5-8 REGIONALIZACION SISMICA DEL PAIS
FUENTE: Marsal (ref 37)

A partir del análisis anterior, se descartaron las causas cuya probabilidad de provocar agrietamiento fue considerada prácticamente nula; por lo que el árbol de fallas para este evento queda reducido únicamente a discontinuidad por construcción.

- c) *Filtración en la cimentación.* Otra forma de falla por infiltración es la filtración misma a través de la cimentación; lo que puede ocurrir cuando existen características geológicas propicias y no se construya una cimentación adecuada.

A través de los estudios de diseño del subsuelo en Río Escondido, se observó que éste tiene un coeficiente de permeabilidad muy alto, por lo que se usaron, en la cimentación, suelos caliches, que disminuyen la permeabilidad empero no la evitan totalmente.

En vista de lo anterior, la filtración en la cimentación se considera como probable, conservándose, por tanto en la rama de infiltración del árbol de fallas reducido (fig 5-9).

2. Modificación de la geometría

La falla por modificación a la geometría del bordo, está definida como la ocurrencia de alteraciones físicas de la cortina, que ocasionan el paso del agua por sobre el nivel resultante en la cresta del bordo. Se diferencia del caso de infiltración, en que en éste, si bien ocurre una falla funcional de la cortina, no se presenta una modificación física exterior apreciable.

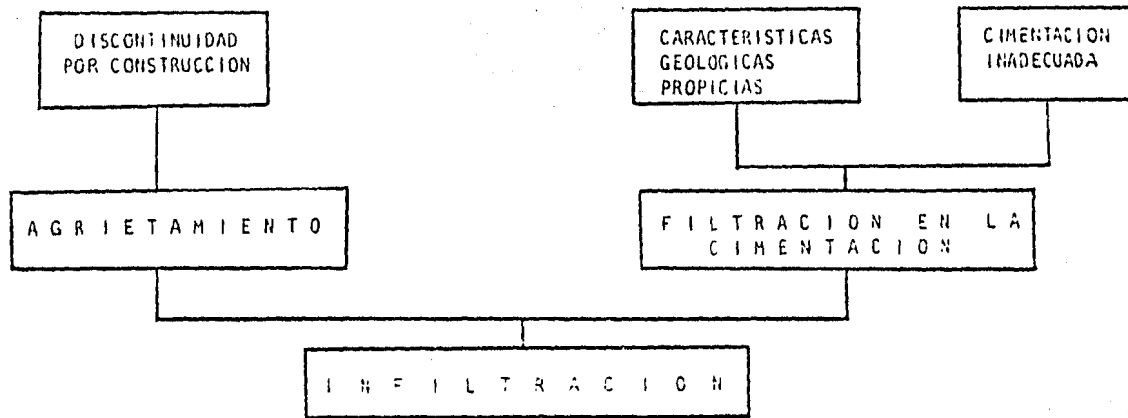


FIG 5-9 RAMA DE INFILTRACION DEL ARBOL DE FALLAS REDUCIDO

A continuación se analizan los eventos que pueden modificar la geometría del bordo siguiendo el mismo criterio utilizado en el inciso anterior. De acuerdo al árbol de fallas los eventos a considerar son: deslizamiento del talud, hundimiento, erosión, sabotaje y modificación al diseño.

- a) *Deslizamiento de talud.* El deslizamiento en uno o ambos taludes, implica tanto una modificación geométrica del bordo como un debilitamiento en la porción remanente, de tal forma, que por sí mismo o con la erosión directa del agua puede provocar la destrucción del bordo.

El deslizamiento de talud es debido a la distorsión por cortante que ocurre cuando el valor medio de los esfuerzos cortantes iguala la resistencia media disponible (ref 38), y puede ser ocasionada por tres causas: sismo, compactación no adecuada y cimentación inapropiada.

Se considera al *sismo* una de las causas más importantes que ocasionan deslizamiento de talud. Sin embargo, como se analizó para el agrietamiento, debido a las condiciones geográficas del bordo del Río Escondido, ubicado en una zona no sísmica, la probabilidad de falla por sismo es prácticamente nula.

Se señala la falla por *compactación no adecuada* como mecanismo para provocar un deslizamiento de talud cuando, durante el diseño y/o la construcción no se toma

en cuenta los siguientes factores: la estabilidad requerida de acuerdo a la cohesión de los materiales arcillosos; el ángulo necesario de fricción en los enrocamientos y el factor de seguridad adecuado para la condición de trabajo (ref39).

En el caso del bordo de Río Escondido, se realizó un buen diseño que consideró todos los requisitos mínimos de seguridad para la estabilidad de los taludes, sin embargo se tuvieron problemas durante la construcción aguas arriba del bordo que, finalmente fueron superados. Por lo cual, la probabilidad de deslizamiento de talud por compactación inapropiada es prácticamente nula.

La *cimentación no adecuada* es otro evento que puede producir deslizamiento de talud cuando en una presa homogénea cimentada sobre suelos blandos ocurre un empuje hidrostático por la presión del agua infiltrada (del embalse o de lluvia) ocasionando una distorsión al corte.

El bordo de Río Escondido se encuentra asentado sobre suelos caliches de baja compresibilidad, que aseguran una buena cimentación, por lo cual la probabilidad de una falla por este motivo es prácticamente nula.

De lo anterior resulta que la falla por deslizamiento de talud para cualquiera de los mecanismos mencionados tiene una probabilidad de ocurrencia marginal, por lo que no se señala en el árbol de fallas reducido.

- b) *Hundimiento*. El hundimiento o asentamiento diferencial en uno o varios puntos, modifica la geometría del bordo por los desplazamientos verticales relativos entre la cortina y el estanque.

La falla por hundimiento es debida a las características del suelo y subsuelo sobre el que se encuentra asentada el bordo y sus causas principales son: fallas geológicas locales, sismo, cimentación no adecuada y karsticidad local.

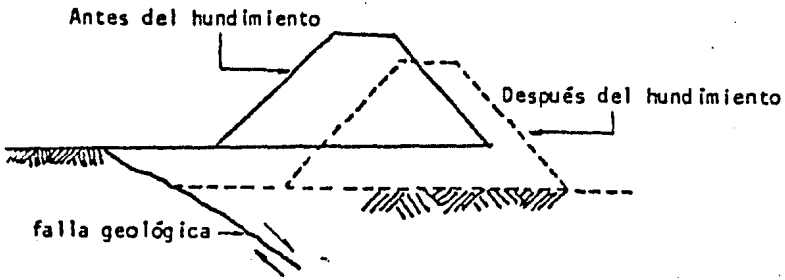
Las *Fallas Geológicas* son causa de asentamiento diferencial tanto cuando éstas cortan el vaso (fig 5-10) como cuando son activas, horizontales y superficiales.

Se conoce la existencia de fallas geológicas locales en Río Escondido, pero éstas son profundas, antiguas e inactivas, de tal forma que la probabilidad de hundimiento por este motivo es prácticamente nula.

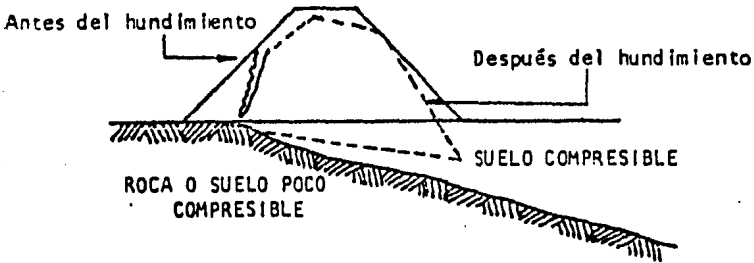
El *sismo* es otra causa que puede provocar asentamientos por compresión volumétrica de la cortina y de la cimentación. Como se analizó anteriormente la probabilidad de falla por este motivo es prácticamente nula.

La *Karsticidad local* es la última de las causas señaladas que pueden provocar hundimiento; que en general, sucede en forma repentina, al ejercer la estructura por su peso propio una fuerte presión sobre el techo de cavernas mayores.

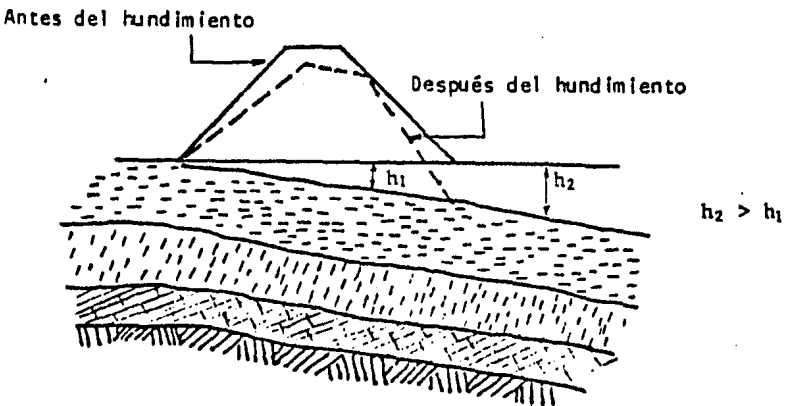
En el caso de Río Escondido, los estudios geotécnicos



A) HUNDIMIENTO POR FALLAS GEOLÓGICAS LOCALES



B) HUNDIMIENTO POR HETEROGENEIDADES DEL SUELO



C) HUNDIMIENTO POR CAPAS DE DIFERENTE ESPESOR

FIG 5-10 CAUSAS DE HUNDIMIENTO POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

señalaron karsticidad local, pero de tan pequeñas proporciones que no se considera que provoque hundimiento. Es así que la probabilidad de hundimiento por éste y los demás eventos es considerada prácticamente nula.

- c) *Erosión*. Se entiende por erosión del bordo el desgaste de las superficies expuestas a la acción directa del agua y viento llegando a producir un adelgazamiento de tal magnitud que propicie o permita el paso del agua (por pérdida del bordo libre) o el desplome de una parte del bordo (por debilitamiento local).

La erosión puede suceder en general sobre la corona y ambos taludes por el sobrepaso del agua del estanque; sobre el talud agua abajo por la acción de la lluvia y/o viento y sobre el enrocamiento del talud aguas arriba por el oleaje del embalse.

El *sobrepaso* es causa de erosión cuando se presenta un flujo importante de agua sobre el nivel de la corona provocando un desgaste tanto de la parte superior del bordo como de ambos taludes.

El sobrepaso puede deberse a una *mala operación* del estanque de enfriamiento con un llenado en exceso, tanto de una sección cuando por mantenimiento tenga que vaciarse un lado sobre otro, como de la totalidad del estanque cuando en el caso de renovación sea necesario la toma externa de agua. Si bien se considerará esta situación de forma explícita en las reco

mendaciones finales, no amerita su conservación en el árbol de fallas reducido.

La erosión por sobrepaso puede ocurrir asimismo por oleaje intenso y prolongado cuando la altura de las olas sea superior a la del bordo libre, desgastando así tanto la corona como ambos taludes. Las causas primarias que pueden provocar el oleaje son viento, sabotaje o sismo.

La evidencia de vientos superiores a los utilizados para el diseño del bordo, acaecidos en marzo de 1983 (que ocasionaron pequeñas fallas en el enrocamiento), provocó que este fenómeno se considerara de primordial importancia, por lo que se recurrió a estudios más profundos.

Estos estudios fueron realizados en el Instituto de Ingeniería; siendo que sus resultados indican que para un periodo de retorno de 100 años (comúnmente usado en este tipo de estructuras donde existe gran riesgo de pérdidas de vidas y daños materiales (ref 30) se espera un viento de 210 km/h, por lo cual se procedió a evaluar la magnitud de las olas producidas.

A partir de esto, se realizó la determinación del oleaje para los datos de vientos obtenidos señalando que para una velocidad de viento de 210 km/hr se produce una altura de ola de 4m, lo cual sobrepasa 2m por encima de la cresta del bordo.

Por lo anterior resulta evidente que el oleaje por

viento es una de las causas más probables de sobre paso y consecuentemente de falla del bordo, por lo cual se conserva en el árbol de fallas reducido.

Se considera el sabotaje como causa del oleaje, ya que la detonación de explosivos dentro del estanque generaría una serie de oscilaciones de tal amplitud que no solo desbordarían el embalse, sino que podría llevarse el bordo consigo. Ahora bien, dado que la eventualidad de una acción en este sentido no es po sible descartarla, se señala el sabotaje como probable.

Se presenta el sismo como causa de sobrepaso, sin embargo, como se indicó en incisos anteriores, por no ser zona sísmica, se considera como una probabilidad marginal.

Otra causa de erosión es la que provocan los agentes meteorológicos como lluvia, granizo, nieve y vientos en el talud aguas abajo. Si bien en la zona de inte rés estos fenómenos son considerables, y podrían ero sionar el talud si no se tiene una protección adecua da, en el caso del bordo del Río Escondido, se han tomado medidas preventivas sembrando plantas y pasto por medio de redes de retención, por lo cual no se considera en el árbol de fallas reducido.

El oleaje intenso y prolongado es causa directa de erosión en el talud aguas arriba cuando no se tiene un enrocamiento adecuado que lo proteja, de tal for

ma que llegue a debilitar el bordo provocando su falla.

La presencia de olas menores a la altura del bordo libre puede ocurrir por la acción del sismo, sabotaje y viento, que como se señaló en sobrepaso, se indican estos dos últimos como probables, permaneciendo en el árbol de fallas reducido.

Asimismo, la presencia de un enrocamiento inadecuado, para soportar el oleaje, puede deberse a la construcción o diseño inadecuados, a un mantenimiento insuficiente contra el desgaste natural o a una falta de vigilancia contro robo y perjuicio del enrocamiento.

En el caso de Río Escondido, el diseño del enrocamiento consideró el oleaje correspondiente a una velocidad de viento menor a la existente, además que para la construcción se empleó un tamaño menor de las pie
dras para el enrocamiento. Actualmente se substituyó el enrocamiento original por gaviones que cumplen con los requisitos originales de diseño. Lo anterior obliga a conservar la construcción o diseño inadecuados y el mantenimiento inapropiado del enrocamiento en el árbol de fallas reducido.

Por otra parte, el enrocamiento puede verse también afectado por la falta de vigilancia regular, lo que

permitiría el uso de las piedras del enrocamiento para fines ajenos; sin embargo, la solución en este caso deberá ser orientada a mejorar el personal de seguridad, por lo que solamente se consideraron en las recomendaciones finales.

Con base en lo anterior permanece el árbol de fallas reducido la erosión tanto por sobrepaso debido al oleaje inducido por viento y sabotaje como por oleaje directo (así mismo por sabotaje y viento) sobre un enrocamiento insuficiente debido a construcción o diseño inadecuados y/o mantenimiento inapropiado.

- d) *Sabotaje.* Se considera el sabotaje como causa directa para provocar modificación a la geometría del bordo cuando con propósitos subversivos se ocasionen fallas en su estructura o funcionamiento.

La factibilidad de una acción de esta naturaleza está siempre presente, y puede tomar formas muy variadas, por ejemplo, con el empleo de un retroexcavadora se puede derrumbar el bordo, en cuestión de horas.

Queda como probable, por tanto, el sabotaje como causa de modificación de la geometría, conservándose así en el árbol de fallas reducido.

- e) *Modificación al diseño.* Otra causa de modificación de la geometría es la alteración misma al diseño original en su forma o en cualquiera de sus proporciones, pudiendo repercutir tanto en la disminución del bordo libre como en un debilitamiento de la estructura.

Con el establecimiento de un sistema de administración eficiente para probar las órdenes de trabajo resulta innecesario conservar esta causa dentro del Arbol de Fallas Reducido, si bien se considerará de forma explícita en recomendaciones finales.

En la fig 5-11 se muestran las causas de falla probables por modificación a la geometría, que se integra con la rama de infiltración, constituyendo el Arbol de Fallas Reducido (fig 5-12).

5.3 CONSECUENCIAS POR LA FALLA DEL BORDO

Con la determinación de las causas factibles se estiman los daños probables producidos por la falla del bordo, a través de elaborar la segunda parte del método de 'causa-efecto', esto es, la determinación del Arbol de Consecuencias o Daños.

El objetivo de la elaboración del Arbol de Consecuencias es evaluar los máximos daños probables, para lo cual es necesario de terminar, en primera instancia, todos los eventos y estados de daños probables por el impacto de la calamidad, construyéndose el *Arbol de Consecuencias General*. A partir del cual se elabora el *Arbol de Consecuencias Reducido*, que conserva exclusivamente los daños factibles dadas las condiciones de los edificios, ubicación del personal y topografía del sector.

La magnitud e importancia de los daños ocasionados por la falla depende de la ubicación de ésta en el bordo del estanque. Considerando que la causa más probable de falla del bordo, conforme el análisis realizado en el inciso anterior, es el oleaje por viento, teniéndose los vientos máximos con direcciones longitudinales al bordo, resulta claro que las partes del bordo más

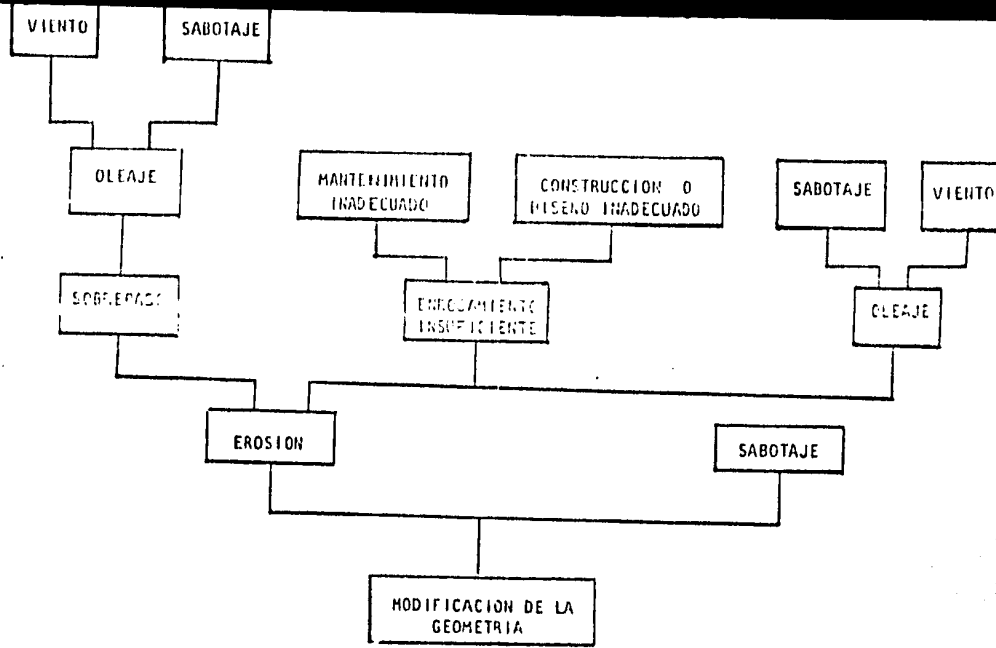


FIG 5-11 RAMA DE MODIFICACION A LA GEOMETRIA DEL ARBOL DE FALLAS REDUCIDO

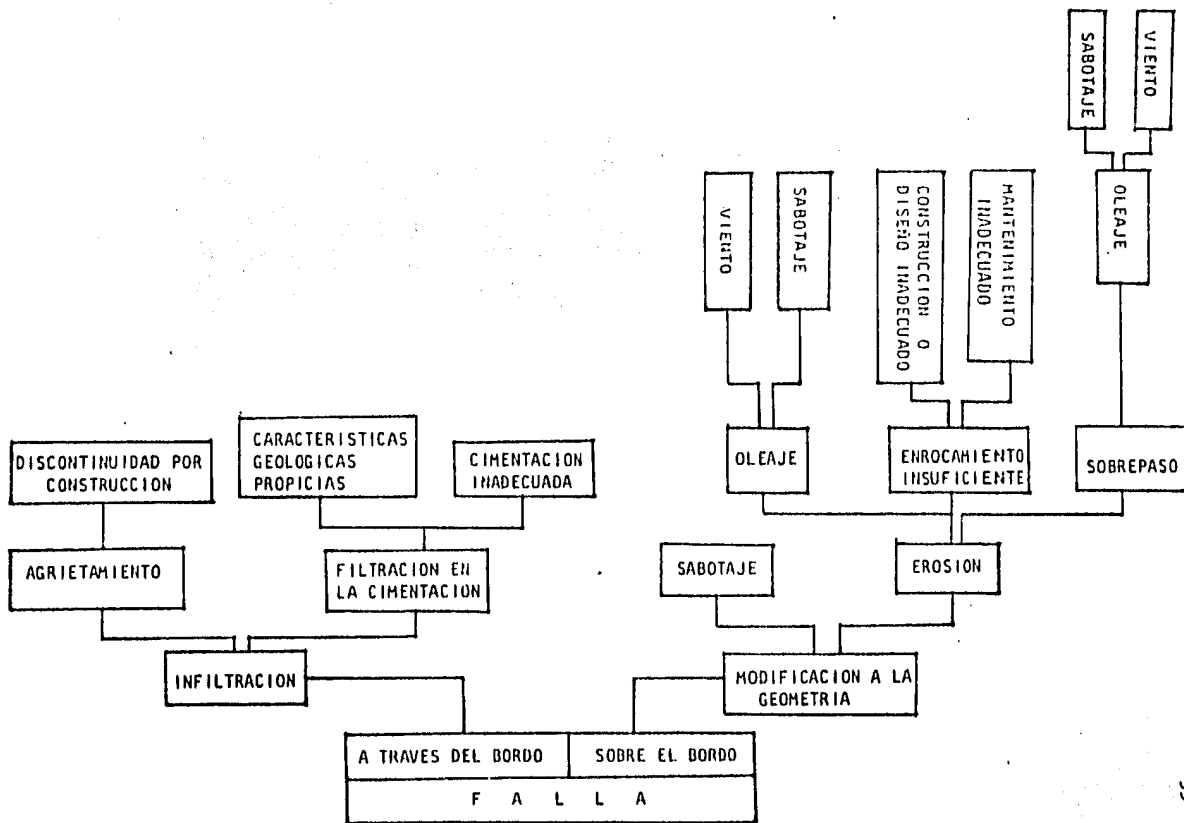


FIG 5-12 ARBOL DE FALLAS REDUCIDO

vulnerables a la falla son las cabeceras norte y sur.

En la fig 5-13, se muestra el Arbol de Consecuencias General, iniciándose a partir de la falla del bordo que provoca la inundación y el vaciado del estanque. Estos se ramifican en el tipo de daños específicos que pueden ocurrir, que a su vez se identifican, de una manera concreta, por los daños a los diferentes elementos (personal, edificios, talleres, etc).

Ahora bien, construido el Arbol de Consecuencias General, que contiene todos los posibles daños sin contemplar las características topográficas, geográficas del sitio, ni la descripción de la avenida, se procede a elaborar el Arbol de Consecuencias Reducido. El objetivo de este último es mostrar todos los daños factibles, que permitirán elaborar las medidas de protección y rescate.

Para evaluar la factibilidad de ocurrencia de los diferentes daños es necesario por un lado, conocer la forma, desarrollo y otras características hidráulicas de la avenida y, por otro, recurrir al método de escenarios para determinar los daños en cada sector y en cada elemento que lo compone.

La descripción de la avenida resultante, se realizó en el Instituto de Ingeniería simulando diferentes alternativas de evolución de abertura del bordo, de las cuales se selecciona una variante, para la elaboración de un escenario de desastre, que a su vez, permite cuantificar los diversos tipos de daño.

Ahora bien, el escenario de desastre comprende la descripción de los eventos y estados que se suceden a través del tiempo,

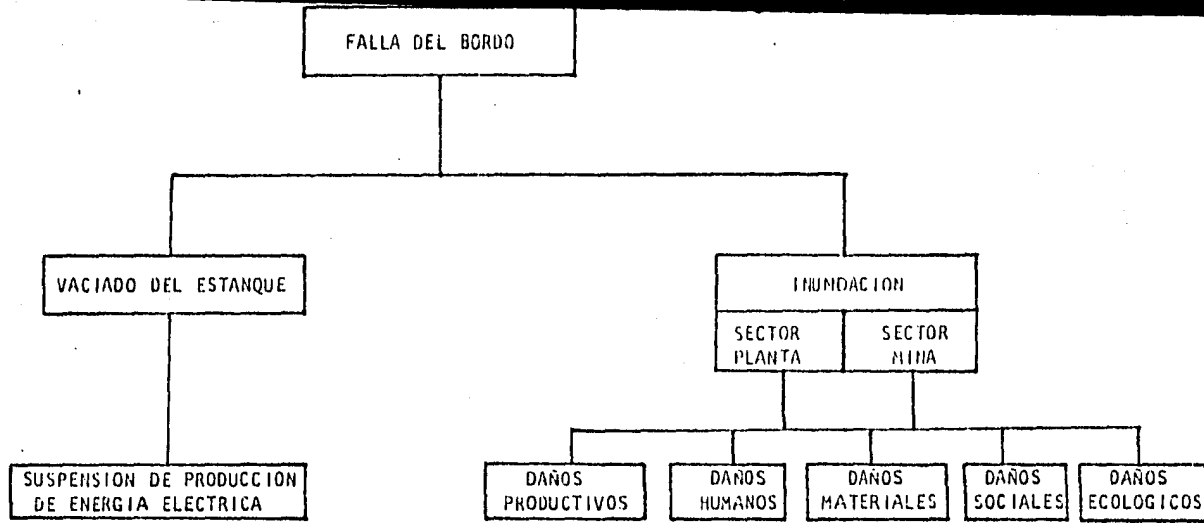


FIG 5-13 ARBOL DE CONSECUENCIAS GENERAL

permitiendo la visión global y generalizada de la dinámica de desarrollo de un posible desastre, necesaria para planear con anticipación tanto las acciones tendientes a prevenir y disminuir los impactos y los efectos sobre la Central, como el rescate y la recuperación.

5.4 MEDIDAS DE PROTECCION Y RESCATE

A partir de la definición explícita del evento máximo (en este caso la falla del bordo), se analizó, en primera instancia, el sistema perturbador, determinando todas las posibles calamidades y evaluando su factibilidad de ocurrencia, construyendo los llamados Arbol de Fallas General y Arbol de Fallas Reducido (inciso 5.2); a partir de este análisis, se evaluaron los daños probables sobre el sistema afectable elaborando el Arbol de Consecuencias.

Ahora bien, la identificación de las medidas de protección se realiza, según se indicó en el capítulo anterior, analizando la posibilidad de intervenir en el mecanismo particular de producción del efecto en cada cadena, para interrumpir o aminorar esta relación.

Por ejemplo, en el caso de la cadena "enrocamiento insuficiente y oleaje-erosión", se presentan las siguientes posibilidades de intervención, según las fases del mecanismo.

-Preparación, que en este caso se limita a la presencia de enrocamiento inadecuado para el oleaje máximo factible y, por tanto, la intervención se dedica al mejoramiento del enrocamiento.

- Iniciación, que se refiere a la ocurrencia del oleaje y la intervención busca impedir o disminuir éste.
- Desarrollo, esto es, la intervención oleaje-enrocamiento por tanto la intervención busca aislar el enrocamiento del oleaje.
- Concretización, que es la mecánica propia de disgregación del enrocamiento, las medidas deberán orientarse a evitar esto, por adecuada colocación geométrica con el uso de gaviones por ejemplo.
- Realización, que se refiere a la ocurrencia de erosión en el bordo, donde las medidas se orientan a evitar ésta, por ejemplo, reforzando el material.

El uso sistemático de este procedimiento, esto es, la visualización del mecanismo de producción del efecto, -a través de sus cinco fases, permite orientar la búsqueda de las otras medidas de protección.

En la tabla 5-1, se dan en forma organizada las medidas de protección que corresponde a los diferentes cortes del diagrama "causa-efecto" de la fig 5-14. La estructura de la tabla consta de dos columnas básicas que identifican las causas y los efectos, respectivamente. Entre ellas se ubica una tercera, donde se describen las medidas pertinentes.

Una vez definidas las medidas de protección ante la falla del bordo es necesario desarrollar de manera similar, lo referente al rescate.

TABLA 5-1 MEDIDAS DE PROTECCION

CAUSA	MEDIDAS DE PROTECCION	No ¹	EFECTO
VIENTO	Plantación de árboles ¹ Colocación de balsas flotantes	1	OLEAJE
OLEAJE	Colocación de balsas flotantes sujetas en la proximidad del bordo ² Disminución del nivel del agua (caso extremo) Elevación del nivel de corona con sacos ³ Instalación de deflectores de pared curva o recurvada ⁴	2	SOBREPASO
ORG. Y PLANEACION INSUFICIENTES	Procedimientos de mantenimiento preventivo	3	MANTENIMIENTO INADECUADO
MANTENIMIENTO INADECUADO	Procedimientos de mantenimiento correctivo	4	ENROCAMIENTO INSUFICIENTE
CONST. O DISEÑO INADECUADOS			
ENROCAMIENTO INSUFICIENTE Y OLFUJE	Colocación de paneles de madera o lámina, anclados en el talud aguas arriba ² Lanzado de mortero o concreto sobre el enrocamiento ¹ Colocación de sacos sobre el enrocamiento ²	5	EROSION
SOBREPASO	Mantenimiento del pasto en el talud aguas abajo Pavimentación de la corona ¹ Disminución del nivel del agua	6	
ENTORNO SOCIO-ECONOMICO Y POLITICO (EN GENERAL)	Implantación de normas y reglamentos de seguridad Uso de dispositivos de seguridad Mantenimiento de vigilancia	7	SABOTAJE
SABOTAJE			
EROSION	Colocación de sacos en las partes dañadas del bordo	8	MODIFICACION A LA GEOMETRIA
DISCONTINUIDAD POR CONSTRUCCION	Recompactación del terraplén con rodillos "patas de cabra"	9	AGRIETAMIENTO
CARACTERISTICAS GEOLOGICAS	Injectado de mortero o resinas	10	
CIMENTACION INADECUADA	Instalación de lonas impermeables en el talud aguas arriba y base del bordo	11	FILTRACION EN LA CIMENTACION
AGRIETAMIENTO	Excavación de trincheras (en el contorno de las grietas), rellenando y compactando Colocación de anclajes transversales a las grietas Injectado de mortero o resinas Instalación de lonas impermeables en el talud aguas arriba	12	INFILTRACION
FILTRACION EN LA CIMENTACION	Injectado de mortero o resinas Instalación de lonas impermeables en el talud aguas arriba y base del bordo	13	
INFILTRACION	Volado de materiales sobre el talud aguas arriba Injectado de mortero o resinas Colocación de lonas impermeables	14	FALLA
MODIFICACION A LA GEOMETRIA	Volado de materiales en las zonas propensas al daño inminente Colocación de sacos en las partes del bordo propensas al daño inminente	15	
FALLA	Excavación de trincheras paralelas al bordo Instalación de pilas de sacos paralelas al bordo ³ Construcción de canales desviadores ⁴	16	AVENIDA

1 El número corresponde al corte en cada una de las cadenas de la figura 5-14
2 En las cabeceras Norte y Sur (Sectores Planta y Mina)
3 En la cabecera Norte (Sector Planta)
4 En la cabecera Sur (Sector Mina)

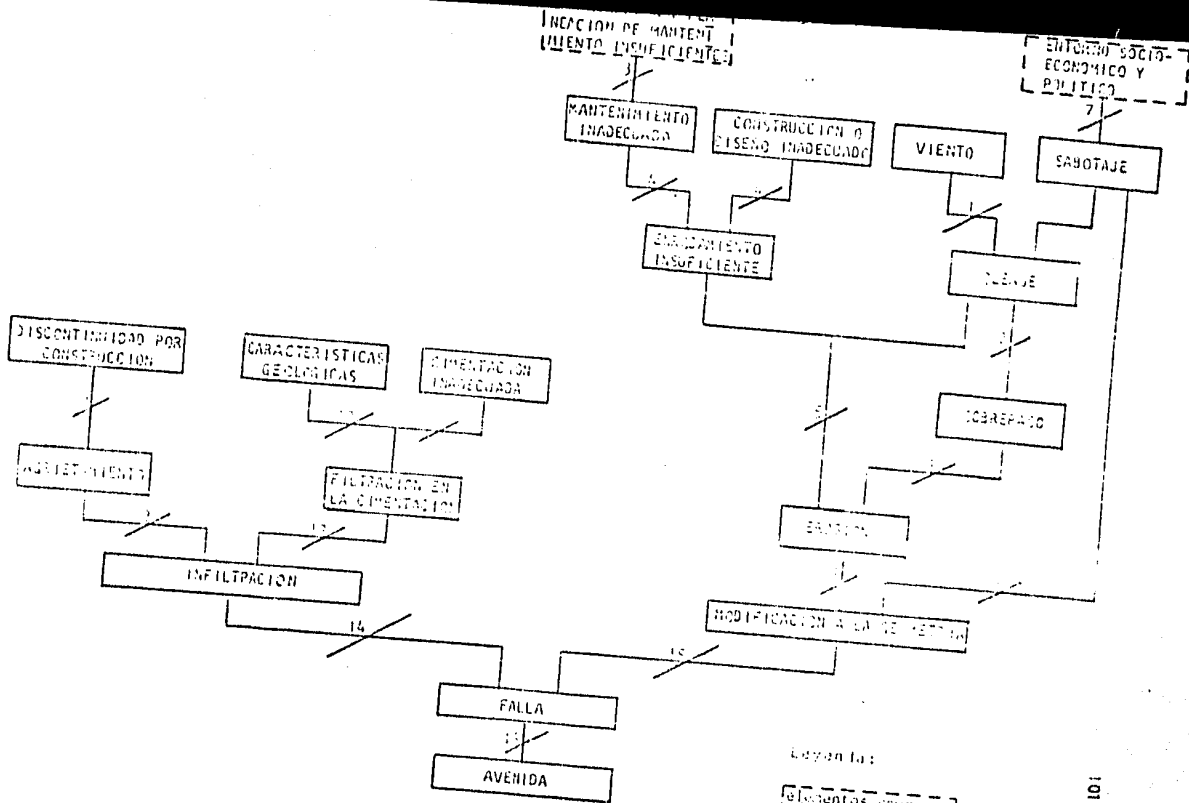


FIG 5-14 DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

En este sentido resulta fundamental señalar la diferencia que existe entre el concepto de rescate y el de atención de emergencias; mientras que el primero se limita a salvaguardar al personal y los bienes en caso de desastre, el segundo incluye todas las actividades de la etapa de emergencia orientadas a reducir las pérdidas de vida y de bienes y el sufrimiento humano frente a un evento destructivo, así como la extensión del estado desastroso. Es así que el rescate debe ser considerado como un aspecto de la atención de emergencia, cuyo alcance es mucho más general.

Ahora bien, en la atención de emergencias, para el caso específico del estanque de Río Escondido, Coah, cobran especial relevancia los aspectos de evacuación, rescate y rehabilitación.

Se entiende por evacuación el desalojo rápido o paulatino de personas y/o bienes de las áreas de desastre o expuestas a un riesgo inminente.

El rescate del bordo y la Central se refiere al conjunto de actividades orientadas a evitar o disminuir los daños en las instalaciones y equipo fijo en los principios de la situación de emergencia e incluye todas las acciones de índole rectificativa que se realizan ante la ocurrencia de la falla del bordo y por este son algunas medidas de protección que se extienden a esta etapa.

Por otro lado, el objetivo de las medidas de rehabilitación es restablecer el funcionamiento de los servicios básicos indispensables de la Central, para garantizar la disponibilidad de medios, tanto para control de los efectos no inmediatos de la

falla del bordo como de los daños consecuentes de la inundación.

Definidas las posibles medidas de protección y rescate, es necesario agruparlas y ordenarlas en planes correspondientes, para su ejecución inmediata según se requiera.

5.5 FORMULACION DE PLANES

El objetivo fundamental de salvaguarda de la Central de Río Escondido frente a la eventual falla del bordo de su estanque requiere contar con la definición explícita de las actividades a realizar, así como con la organización adecuada para su ejecución.

Este objetivo se logra con la elaboración de un plan que contemple todas las actividades necesarias antes, durante y después del desastre. En este sentido, el plan es un instrumento que sirve para los tomadores de decisiones y ejecutores en situaciones específicas para definir y realizar acciones necesarias.

Se destacan dos diferentes situaciones; normal y extraordinaria de las cuales la última, por las presiones del momento y las necesidades de tomar las acciones inmediatas, precipitadas, estipula la necesidad de contar con planes operativos a diferencia de la situación normal que requiere de planes indicativos.

Los planes operativos tienen que identificar en forma simple y

Explicita las actividades correspondientes a realizar, así como los responsables y los recursos indispensables de apoyo. A diferencia de estos, los indicativos tienen que especificar los objetivos, políticas y estrategias, así como los programas para lograr las metas correspondientes.

A partir de estos planteamientos, el instrumento llamado *Plan Global de Protección y Rescate*, integra todas las actividades que deben ser desarrolladas tanto antes como durante y después de una eventual falla del bordo para la salvaguarda de éste y la Central.

El Plan Global está compuesto por un *Plan General de Respuesta*, de carácter operativo, y de un *Plan General de Preparativos* de carácter indicativo. A su vez, el primero está compuesto por dos planes:

- Plan de atención de emergencias*, que contempla todas las acciones a realizar durante la situación de emergencia.
- Plan de medidas correctivas*, que prevé las actividades de protección durante una situación de pre-emergencia, para evitar que ésta se agrave y provoque una situación de emergencia.

Asimismo, el Plan General de Preparativos se integra con dos planes; el *Plan de medidas anticipativas*, conformado por programas cuya realización es continua y cuya intensidad depende de los recursos disponibles; y el *Plan de preparación para respuesta*, que contempla la realización de todas las acciones necesarias, durante la situación normal, para facilitar y organizar la ejecución de las medidas correctivas y de atención de emergencias.

Adicionalmente a los dos Planes Generales mencionados, para la ejecución oportuna de las medidas pertinentes, es necesario contar con un *Plan de Identificación de Situaciones Extraordinarias* que contempla la verificación y monitoreo tanto del estado del bordo y el medio ambiente en situación normal, como en la de pre-emergencia.

En la fig 5-15, se presenta la estructura del Plan Global con un mayor nivel de detalle.

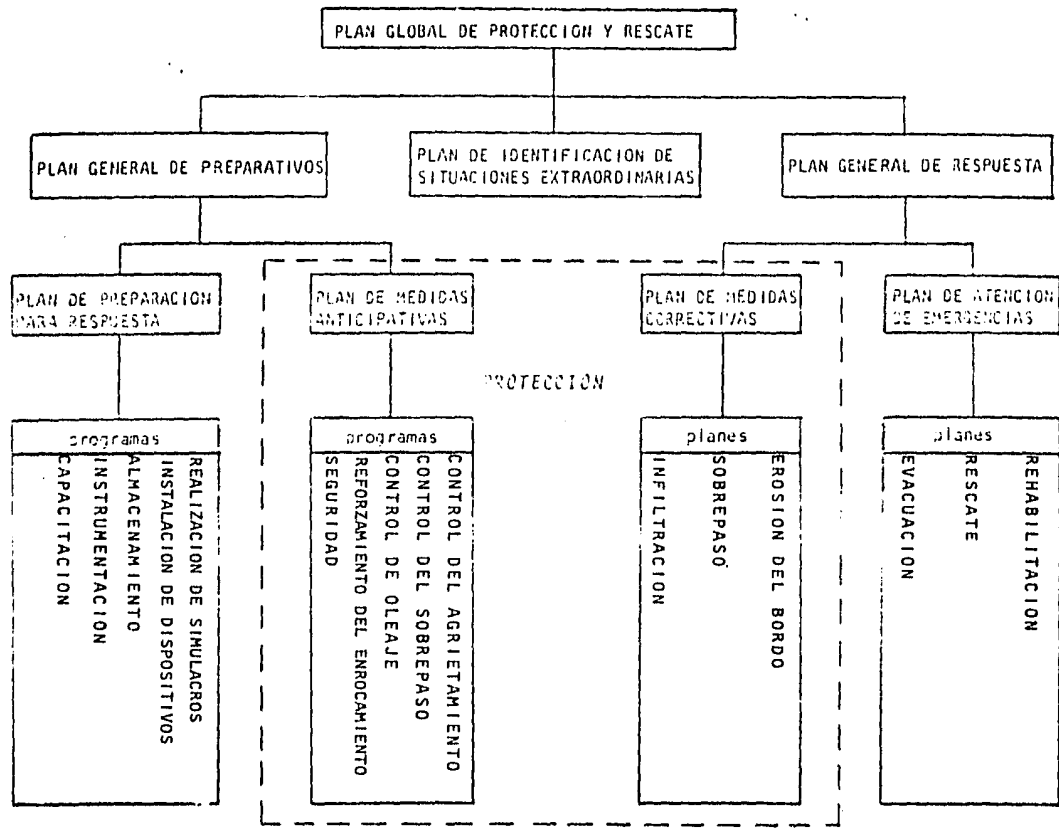


FIG 5-15 ESTRUCTURA DEL PLAN GLOBAL DE PROTECCION Y RESCATE

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la experiencia que proporcionó el participar por más de un año, en calidad de becario del Instituto de Ingeniería, en el proyecto "Medidas de Protección y Rescate frente a la Falla del Bordo del Estanque Río Escondido, Coah", y del rico conocimiento adquirido, a través del esfuerzo de investigación desarrollado, se presentó un campo nuevo y prometedor para enfrentar los desastres, ocasionados por las fallas en presas, antes, durante y después de su ocurrencia.

En este sentido, en primera instancia, se expuso la problemática sobre fallas en las diversas presas en todo el mundo, justificando plenamente la necesidad de contar con una metodología general que, por un lado, permita la transferencia e integración de los métodos específicos de diferentes áreas, y por otro facilite la creación de nuevos métodos para la toma de decisiones en el proceso de salvaguarda de los asentamientos humanos frente a desastres, en general, y de las obras hidráulicas, en particular.

Se describió el desarrollo metodológico utilizado en el con texto de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres, que establece un marco teórico, considerado a través del en foque sistémico, y terminología adecuada para la protección y rescate de los sistemas afectados ante un fenómeno destruc tivo. En esta metodología se identificaron tres dimensiones fundamentales:

- Estudio del evento perturbador, esto es, de la calamidad.
- Estudio del sistema expuesto a la calamidad, esto es, del sistema afectable.
- Evaluación de la interrelación, esto es, de los resul tados probables de los impactos de la calamidad en el sistema expuesto.

Se interpretó y adaptó esta metodología para el caso específi co de desastres en presas, a fin de determinar las medidas de protección y rescate ante su eventual falla. De esta manera, se propuso el empleo del diagrama "causa-efecto", que permite identificar y ponderar las posibles causas de falla y estimar las posibles consecuencias.

Se presentó un resumen de la aplicación del procedimiento desa rrollado, concretado para el caso del bordo del Estanque de Río Escondido, Coah, donde se permitió detectar algunas fallas en la construcción del bordo del estanque, que si bien estrictamente no representan un error propiamente dicho, desde el punto de vista de la seguridad del estanque lo coloca en una situación no satisfactoria. Tal es el caso, por ejemplo, del

enrocamiento original, que resulta claramente insuficiente para resistir el oleaje.

Asimismo definieron y evaluaron las medidas factibles de protección, esto es, de intervención para impedir la ocurrencia de la falla; así como de rescate, esto es, actuar para minimizar las pérdidas y los daños frente a un eventual desastre. Se realizó la estructuración de estas medidas, sentando las bases para la elaboración de los planes correspondientes.

Siguiendo los lineamientos generales de planeación, se definió la estructura y contenido del Plan Global de Protección y Rescate, hasta llegar al nivel de programas concretos en situaciones normales y planes operativos en situaciones extraordinarias.

El procedimiento desarrollado fue realizado en lo general y especificado para el caso del estanque de Río Escondido, por lo que se considera que este procedimiento es válido y su aplicación a diferentes casos sólo requiere ajustarlo y concretarlo conforme a las características propias del caso en estudio.

REFERENCIAS

1. American Society of Civil Engineers (ASCE), *Safety of Small Dams*, Engineering Foundation Conference, Henniker, New Hampshire, August, 1974.
2. Casal Vernard E, *El mundo de las grandes presas*, Revista de Obras Públicas, Núm. 2952, Madrid, abril 1961.
3. Marsal R. J., Reséndiz D., *Presas de tierra y enrocamiento*, Ed. Limusa, México, 1979.
4. Varshney R.S., Raheem M.A., *Concrete dam disasters and remedies*, Indian Journal of Power & River Valley Development, July 1971.
5. Torres Herrera F, *Consideraciones sobre seguridad de presas de México*, Revista Ingeniería, Núm 3, Universidad Nacional Autónoma de México, 1979
6. Dussault J. G., Marche C., Quach T.T., Carballada L., *L'étude du comportement des ondes de rupture de barrage: une donnée essentielle pour les mesures de protection civile*, 40 International Congress on Large Dams, ICOLD, Q.52-R.12, Rio de Janeiro, Brasil, mayo 1982.
7. Serafín J.L., *Safety of dams judged from failures*, Water Power & Dam Construction, December 1981.
8. Marinier G., *Seguridad de presas en operación*, 40 Congreso Internacional de Grandes Presas, ICOLD, G.R.-Q.52, Río de Janeiro, Brasil, mayo 1982.

9. ASCE/USCOLD, *Lessons from Dam Incidents, USA*, American Society of Civil Engineers, 1975.
10. Davies W., *Buffalo Creek Dam disaster: why it happened*, Civil Engineering-ASCE, July 1973.
11. Robinson R., *The aftermath of the Kelly Barnes Dam failure*, American Society of Agricultural Engineers, Michigan Chicago, Illinois, December 1978.
12. Golze A., ASCE F, *Model law to improve dam safety*, Civil Engineering-ASCE, Mar 1971.
13. Johnson W., *Inspecting dam construction*, Civil Engineering-ASCE, November 1980.
14. Johnson W., Bauer S., Delley P., Trucco G., *The overtopping of the Palagnedra dam*, Water Power & Dam Construction, January 1983.
15. Millman A., Rokach A., *Dams, the high and the mighty*, Science Digest, Vol 90, No. 5, May 1982.
16. Terán A., Gelman O., Macías S., *Sistema de Protección y Restablecimiento de la ciudad de México frente a Desastres*, SIPROR, Tercera etapa, Vol. 3, anexo S; Peligro hidrometeorológico, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, octubre 1982.
17. Marsal R. J., *Reflexiones sobre el diseño de estructuras térreas*, Quinta Conferencia Nabor Carrillo, Morelia, Méx., Noviembre 1980.

18. Chaterjee S., Biswas A., *The human dimensions of dam safety*, Water Power, January 1972.
19. Sokilov I.B., Rosanov N.S. et al, *Ruptures et accidents aux barrages et recherches sur leur sécurité*, 13 Congreso Internacional de Grandes Presas, ICOLD, Q.49-R.36, New Delhi, 1979.
20. NCE International, *New Zealand faults shake profession*, March, 1983.
21. *Brazilian dam failures: a preliminary report*, Water Power & Dam Construction, October 1977.
22. Reséndiz D., Rosenblueth E., Mendoza E., *Diseño sísmico de presas de tierra y enrocamiento, estado del arte*, Instituto de Ingeniería, No. 300, abril 1972.
23. Gelman O, Macías S. *Sistema de Protección y Restablecimiento de la ciudad de México frente a Desastre*, Ingeniería, Vol LIII, No. 2, 1983.
24. Gelman O, Macías S, *Aplicación del enfoque sistémico para el estudio interdisciplinario de desastres*, Extended Abstracts of the 1983 World Conference on Systems, Caracas, Venezuela, Julio 1983.
25. Gelman O, Negroe G. 'Planeación como un proceso de conducción', *Revista de la Académica Nacional de Ingeniería*, Vol 1, No 4, 1982.
26. Gelman O, Macías S, *La Ingeniería Sísmica en el Marco de la Investigación Interdisciplinaria de Desastres*,

Memorias del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Noviembre 1983.

27. Gelman O, Macías S, *Elaboración de un marco conceptual para el estudio interdisciplinario de desastres*, Instituto de Sociología Internazionale, Gorizia Italia, Quaderno 82-6, 1982.
28. 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.
29. Gelman O, Macías S, et al, *Sistema de protección y restablecimiento de la ciudad de México frente a desastres*, SIPROR, Vol 2, Primera etapa, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1982.
30. Gruetter F., Shnitter N.J., *Analytical Risk Assessment for Dams*, Commission Internationales des Grandes Barrages, Río de Janeiro, 1982.
31. Barlow R.E., Lambert H.E., *Reliability and fault tree Analysis, System Reliability and Safety Assessment*, Philadelphia, 1975.
32. Gelman O., Macías S., *Desastres y su pronóstico*, Boletín No. 69, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas, México, 1983.
33. Gelman O., Negroe G., *Papel de la planeación en el proceso de conducción*, Boletín No. 61, Instituto Mexicano de Planeación y Operación de Sistemas, México, 1981.

34. Gelman O., Macías S., *Metodología para la elaboración de planes de emergencia*, Cuaderno No. 83-2, Institute of International Sociology, Italy, 1983.
35. Auvinet G., *Diseño Riprap Bordes*, Clasificación RE/79-1, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio 1979.
36. Rousselon F. M., *Primera experiencia en México con arcillas dispersivas*, Plan Nacional de Obras de riego para el desarrollo rural, SRH, mayo 1974.
37. Marsal R.J., *Presas pequeñas, notas sobre diseño y construcción*, Informe No. 300, Instituto de Ingeniería, UNAM, enero 1974.
38. Juárez B.E., Rico R.A., *Mecánica de suelos*, Tomo 2, Editorial Limusa, México, 1982.
39. Gelman O., Macías S., Sierra G., Medina L., Lozoya J., *Medidas de protección y rescate frente a la falla del bordo del estanque Río Escondido, Coah, Vol. 3*, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, Julio 1984.
40. Rascón O., Brito R., *Determinación de las velocidades para diseño eólico de estructuras en la ciudad de México*, Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, agosto 1982.