

01190



Universidad Nacional Autónoma de México

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

APLICACIÓN DE INTELIGENCIA
ARTIFICIAL
EN LOS PROBLEMAS DE DIAGNÓSTICO
Y PREDICCIÓN
DE MAL COMPORTAMIENTO DE LAS
OBRAS HIDRÁULICAS

Tesis doctoral

PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
GRADO DE

DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA:
DIRECTOR:

M.EN I. VADIM LEVTCHOUK
DR. FELIPE LARA

Yastafievich

276200





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FOREWORD

The dam's construction was necessary for the development of the humanity in order to satisfy the water, irrigation and recently, electrical energy generation requirements. Possibly one of the ancient large structures built by man is the dam and the pyramid.

It is known that the Chinese, before the Christian era, already had dams of great length and they were compacting the earth with rods of wood handled by real human armies. The Hindus have been developing this type of structures starting from the year 500 A.C. They built the dam Madduk-Masur, of 33 m of height, 450 years ago; however, it was destroyed by lack of spillway. One of the first dams in Mexico was the dam Purrón, of 18 m of height, whose construction began in 750 A.C. and there were 675 ha irrigating. The Aztecs, under the leadership of Nezahualcóyotl, in 1450 D.C., made these constructions in the Valley of Mexico to be protected of floods, dividing the lakes of Texcoco and Xaltocan. In 1789 the Narrow dam of Riente was erected in Spain, of 45 m of height. Its failure in 1802 discouraged the European engineers. These types of dams were used up to nowadays in broad valleys and when the required height was relatively small. The compactation of earth was applied in Europe in the beginning of the century XIX. In England, starting from 1820 a heavy concrete or iron rollers were used. Mentioned practice was carried out in California, U.S.A., by European engineers and was applied in 1860. In the beginning of the past century there was a start of the building of the small earth dams in the United States of America, mainly in the west region, for the water supply (San Francisco).

In Mexico there were the last 40 years when it has been given a strong impulse to this line of the economic development of the country. The Hydraulic Resources Secretariat, Federal Electricity Commission and the National Water Commission have headed these works.

During these years many million of earth hectares distributed in all the territory of Mexico have been transformed to the irrigation system, something which has required the construction of more than 100 storage dams, many principal channel kilometers, laterals and of drainage and a great number of other structures. In many of the works in which exists the possibility of hydroelectric utilization there have been built plants on foot of dam.

Today, Mexico has more than 4000 dams (greater of 3 m of height), approximately 800 of them are large according to the criterion of the International Committee on Large Dams (greater of 15 m of height) and among them there is one of the highest dams in the world, the dam Manuel Moreno Torres (Chicoasén), earth structure of 260 m of height situated in a narrow cannon of the river Grijalva (1980).

In spite of the multiple benefits that brings the construction of these hydraulic works, there are the growth, with the time, of the very serious problems due to the fact that the dams are the structures of great length and of very complex mechanical behavior. Always they have the risk that their structure can reveal defects or breakdowns and they are exposed to various conditions of the environment such as large rains, strong winds and earthquakes that can cause damages to the structure and, consequently, they can affect the nearby population. One of the most serious problems are the overflows that cause the floods, what brings as consequence the human losses and the losses in the economical,

commercial and environmental infrastructure of the country (including the cost of the work, economic loss by the suspension of the irrigation, of water supply and electrical energy; damages to the communications, lost of material goods of the population; etc.).

To avoid many of these problems, or, well, for the own safety and subsistence of the structure, it is necessary to eliminate any condition or real cause that exist in the dam, that could lead to the deterioration or destruction, through a deep study of its behavior, the study of the materials that constitute it and of the environment that surrounds it, making use of inspection and evaluation team that permits by means of an analysis of the parameters the verification of the correct behavior and the physical conditions of the structure elements, to implement safety measures and to forecast. It have been used the analysis methods that provide the soil mechanics, the rock mechanics, the experimental analysis techniques of stresses, and, finally, the numerical analysis, among others.

Upon running of the years the dams age and their material are deteriorated. Precisely it is in the countries that first incurred in the dams development where the problem will be stronger.

It can serve as an example the catastrophe as the dam Malpasset (60,5 m height) in France, 2 of December 1959, when the ignorance of the suppression in the foundation of the dam provoked the failure; it took the lives of more than 400 persons. After the catastrophe of this dam the engineers revealed the importance of the drainage as an effective and indispensable means for the control of suppressions.

Upon large quantities of the water, the destruction potential of hydraulic works for infrastructure as well as for the downstream population it is meaningful. In spite of the fact that at present there is a great knowledge and techniques of analysis of the natural phenomena (such as earthquakes and overfills) and behavior of different material as well, the trend of building longer and higher dams with on-site marginal materials of very different characteristics, produces an additional insecurity factor. Lastly the breakdowns and accidents history in dams has called the attention, not only of legislators but the people of the maintenance of the dam (design, construction and operation). It has been intensified the cooperation and knowledge and experiences exchange between all the involved persons.

Historically, the review practice and solution of the technical problems related to the normal operation of the hydraulic works are based on process of storage and analysis of large quantities of information presented in a discreet (fixed data) or continuous form. Furthermore, this analysis involves the specialists and expert of various disciplines.

The water management infrastructure has been developed in MEXICO in order to take advantage and compensate the irregularity of water distribution in the country, since 50% of the volume of water resources is generated by only 20% of the surface of the country, that is located in the southeast. The above-mentioned phenomena have provoked the complex managing and the administration of the water demand. At the north of the Republic the water demands of the urban and industrial developments compete with the agricultural uses (that is bigger in time of droughts), and at the southeast there are floods that cause considerable economic damages. Consequently the dams have been built to ease these effects, to store water and to make possible various public benefits uses or to

protect of floods the urban centers that could suffer damages caused by spillage of great magnitude.

One of the great challenges for the Mexican Civil Engineering, in the area of the water management, is the conservation of the existing hydraulic infrastructure in the country, so that these resources contribute to the sustainable development of Mexico.

The most important task in these activities is to provide a totally searchable flow of information through a mechanism than contains all the records on each stage of life cycle of a dam: design, construction and operation.

In many cases the necessary technologies to accomplish the diagnosis and the forecast of the wrong operation of a dam defer substantially being tried to their operation, esign or construction. For so much, the application of modern artificial intelligence technologies for diagnostic and forecast of the wrong operation of hydraulic works involves not only an economic aspect, but also an innovation aspect in the method and the technology.

In the area of the civil engineering related to the design, construction and operation of hydraulic works there exists a very specialized and very diverted knowledge, which can be economically and efficiently integrated by means of the expert systems. A well-formalized knowledge can be more beneficial than that of the traditional techniques.

The present work proposes the creation of a system or assisting technology by means of the methods and technologies already existing. The " Expert System" proposed for hydraulic works will be a tool to help the optimization of the analysis and forecast process of the wrong dams behavior, in order to undertaking the actions to follow and the repair and maintenance expenses, that will permit to help the conservation of the existing hydraulic infrastructure in the country, improving the infrastructure development in Mexico.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento al Dr. Felipe LARA por su gran ayuda al conducirme en la realización de esta tesis.

Agradezco en forma especial al Ing. Jesús Alberro A. y al Dr. Erast Gaziev quienes participaron en este trabajo por su entusiasmo y comprensión.

Doy gracias también a la gente del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma del México quienes me dieron la oportunidad de perseguir mi sueño de graduarme como Doctor en Ingeniería.

Estoy muy agradecido a MEXICO, el país que cree en mí al darme la oportunidad de seguir evolucionando como ser humano en los diferentes ámbitos de la vida.

Deseo expresar mi agradecimiento a todos con los que he trabajado durante estos años y quienes han tomado parte de mi desarrollo personal y profesional. ¡Ustedes saben quienes son agradecerles individualmente sería imposible! Muchas gracias.

Y aunque físicamente él no este aquí para ver este trabajo, le doy gracias a mi padre por mostrarme el significado real de la humildad y el heroísmo. Él me enseñó a pensar, ser tolerante y paciente. Él me enseñó la filosofía de la vida. Yo sé que en algún lugar, de algún modo, en algún sitio, Tú ya hojeas estas páginas.

Particularmente, quisiera agradecer aunado con el amor que le profeso con afecto y cariño a mi familia y con especial expresión para mi esposa Rocio Millán de Levтчouk, quién siempre me animó para llevar a cabo este trabajo, sacrificando su valioso tiempo y convivencia familiar por su amor sin fin y el apoyo constante en cualquier momento. A mi cariñosa Rocio y a mi madre, con todo el amor de esposo y el amor de hijo, la dedicación especial de mi texto.

Sé que el Dios quien me ha conducido hasta este momento de mi vida seguirá iluminando el camino.

Vadim Yevstafievich Levтчouk

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. LA PROBLEMÁTICA DE MAL FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	4
1.2. SEGURIDAD DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	12
1.3. DEMANDA Y RELEVANCIA DE SOLUCIÓN	14
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	19
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. ENFOQUES EXISTENTES	21
2.2. PROPOSICIÓN DEL CONCEPTO	25
2.3. DEFINICIONES	27
2.3.1. Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos	27
2.3.1.1. ¿ Que es Inteligencia Artificial?	28
2.3.1.2. Sistemas "Inteligentes"	29
2.3.1.3. Sistemas Expertos	31
2.3.1.4. Anatomía	33
2.3.1.4.1. Base de Conocimiento	34
2.3.1.4.2. Reglas SI - ENTONCES	34
2.3.1.4.3. Las redes semánticas	35
2.3.1.4.4. "Frames"	35
2.3.1.4.5. Memoria de Trabajo	36
2.3.1.4.6. Motor de Inferencia	36
2.3.1.4.7. Encadenamiento hacia adelante	37
2.3.1.4.8. Encadenamiento hacia atrás	37
2.3.1.4.9. Búsqueda en árbol	37
2.3.1.4.10. Interfase de Usuario	38
2.3.2. Bases de datos	39
2.3.2.1. Introducción	39
2.3.2.2. Conceptos de Base de Datos. Objetivos de una base de datos	39
2.3.2.3. El sistema de base de datos	40
2.3.2.4. Los usuarios	40
2.3.2.5. Sistema administrador de la base de datos (SABD)	41
2.3.2.6. La base de datos	41
2.3.2.7. Los modelos de datos	42
2.3.2.8. Modelo Relacional. Modelo Entidad - Relación	42
2.3.2.9. Conceptos de Entidades, Atributo, Dominio, Relación e Identificador Único	43
2.3.2.10. Diagrama de entidad - relación	44
2.3.2.11. Relación entre Entidades (Correlación entre datos)	44
3. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO PARA DIAGNÓSTICO Y PREDICCIÓN	46
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	46
3.1.1. Estudio del dominio	46
3.1.2. Identificación del problema (Formulación de concepto)	47
3.1.2.1. Introducción	47
3.1.2.2. Concepto del Sistema Experto - Diagnóstico y predicción de mal comportamiento de obras hidráulicas	48
3.1.3. Determinación de requerimientos	48
3.1.3.1. Selección de "software" y "hardware"	48

3.1.3.1.1. Introducción	48
3.1.3.1.2. Selección de "software"	50
3.1.3.1.3. Selección de equipo de cómputo	53
3.1.3.2. Equipo del trabajo	53
3.2. ELABORACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PROBLEMA (MODELO)	54
3.2.1. Ingeniería del conocimiento	54
3.2.2. Adquisición de Conocimiento	54
3.2.2.1. Introducción	54
3.2.2.2. Fuentes del conocimiento	56
3.2.2.3. Adquisición del Conocimiento	56
3.2.2.3.1. Introducción	56
3.2.2.3.2. Técnica de adquisición de conocimiento	56
3.2.2.3.2.1. Métodos manuales	57
3.2.2.3.2.2. Métodos automáticos	57
3.2.3. Representación de conocimientos	58
3.2.3.1. Introducción	58
3.2.3.2. Redes Semánticas	59
3.2.3.3. Árboles de decisión	60
3.2.3.4. Reglas de producción	60
3.2.4. Técnicas de codificación de conocimiento utilizadas	61
4. DISEÑO LÓGICO DEL SISTEMA EXPERTO	62
4.1. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO LÓGICO DE LA OBRA HIDRÁULICA	62
4.2. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DE DATOS DEL SISTEMA DE SOPORTE INFORMÁTICO.	64
4.2.1. Análisis de datos relacionado.	64
4.2.2. Estructura de datos relacionados.	66
4.3. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DEL SISTEMA EXPERTO	70
4.3.1. La base de conocimientos	70
4.3.2. El mecanismo de inferencia	71
4.3.3. La memoria de trabajo	71
4.3.4. La interfaz de usuario	72
4.3.5. El módulo de las explicaciones	72
4.4. FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA EXPERTO	72
5. DISEÑO FÍSICO DEL SISTEMA EXPERTO	73
5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE INFORMÁTICO	73
5.1.1. Introducción	73
5.1.2. Estructura y operación del Sistema de Soporte Informático	74
5.1.2.1. Módulo Presas	77
5.1.2.2. Consultas	78
5.1.2.2.1. Módulo Consultas	79
5.1.2.2.2. Grandes Presas de México	80
5.1.2.2.3. Localización Geográfica de Presas	81
5.1.2.2.4. Registros de las visitas de inspección	81
5.1.2.3. Edición de datos	82
5.1.2.3.1. Modificaciones de datos de presa	82
A. Módulo de Edición	83
B. Generalidades	84
C. Propósito	84

D. Potencial de daños	85
E. Anomalías	86
F. Embalse	87
G. Tratamientos	87
H. Hidrología	88
I. Geología	89
J. Cortina	90
K. Cimentación de Cortina	90
L. Diques	91
M. Obra de Excedencias	92
O. Obra de Toma	92
P. Otros Desfogues	93
Q. Instrumentación	94
5.1.2.3.2. Modificación de los datos del formato para informe de inspección visual	95
5.1.2.4. Creación de un nuevo registro en la base de datos (Presa Nueva)	96
5.1.2.5. Extracción de datos de la presa (micro archivo)	97
5.1.2.6. Integración de microarchivo a la base de datos	97
5.1.2.7. Impresión de informes	97
5.1.2.7.1. Impresión de Informe de Inspección Visual de Seguridad	98
5.1.2.7.2. Impresión de datos sobre la presa	98
5.1.3. Manejo de datos de inspecciones	99
5.1.3.1. Llenado manual de los formatos	99
5.1.3.2. Generación del informe de inspección	99
5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO	100
5.2.1. Introducción	100
5.2.2. Tablas de signos y síntomas de fallas (manifestaciones).	100
5.2.3. Árboles de fallas	106
5.2.4. Interfase del usuario de SEDP	119
5.3. PROCESO DE DIAGNÓSTICO	126
5.4. PROCESO DE PRONÓSTICO	128
6. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA FINAL	130
7. VALIDACIÓN Y PRUEBAS	131
7.1. PRUEBAS DE ESCRITORIO DE SSI	131
7.2. PRUEBAS DE SEDP	135
7.2.1. Diagnóstico	135
7.2.1.1. Diagnóstico de la presa de tierra y enrocamiento El Batán	135
7.2.1.2. Diagnóstico de la presa de concreto Huites (Luis Donald Colosio).	143
7.2.1.3. Conclusiones de los ejemplos de diagnóstico.	169
7.2.2. Pronóstico	169
7.2.2.1. Ejemplo de pronóstico: presa La Boquilla, Chihuahua.	169
8. CONCLUSIONES	177
9. BENEFICIOS	181
10. PROBLEMAS Y LIMITACIONES	183
11. SUGERENCIAS DE AMPLIACIÓN	183

APÉNDICES	184
APÉNDICE A (Modelo relacional de datos sobre la presa)	185
A.1. Etapa DISEÑO	186
A.2. Etapa CONSTRUCCIÓN	195
A.3. Etapa OPERACIÓN	202
APÉNDICE B (LISTAS DE DEFICIENCIAS / MANIFESTACIONES)	210
B.1. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIÓN	211
B.2. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS DE EMBALSE	212
B.3. MANIFESTACIONES de DEFICIENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO del VERTEDOR	213
B.4. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS DE COMPORTAMIENTO DE CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO	214
B.5. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO	215
B.6. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS de CORTINA DE CONCRETO	216
APÉNDICE C	221
GLOSARIO DE TÉRMINOS RELACIONADOS CON OBRAS HIDRÁULICAS	221
BIBLIOGRAFÍA	231

**“...The universe is not only stranger than we imagine,
it is stranger than we can imagine...”**

J.B.S. Haldane

1. INTRODUCCIÓN

La construcción de presas siempre ha sido necesaria para el desarrollo de la humanidad con el fin de satisfacer las exigencias de agua potable, para riego y recientemente, para la generación de energía eléctrica. Posiblemente unas de las grandes estructuras más antiguas construidas por el hombre es la presa y la pirámide.

Se sabe que los chinos, antes de la era cristiana, ya tenían bordos de gran longitud y compactaban la tierra con varas de carrizo manejadas por verdaderos ejércitos humanos. Los hindúes desarrollaron este tipo de obra desde el año 500 A.C. y construyeron la presa Madduk-Masur, de 33 m de altura, hace 450 años; sin embargo, se destruyó por carencia de vertedor. Una de las primeras presas conocidas en México fue la presa Purrón, de 18 m de altura, cuya construcción comenzó en 750 A.C. y regaba 675 ha. Los aztecas, bajo la dirección de Nezahualcóyotl, en 1450 D.C., hicieron estas construcciones en el Valle de México para protegerse de inundaciones, siendo el albaradón que dividía los lagos de Texcoco y Xaltocan, una de estas estructuras. En 1789 quedó terminada la presa Estrecho de Riente, en España, de 45 m de altura; su falla en 1802 desalentó a los ingenieros europeos, que hasta época reciente sólo recurrían a este tipo de presas en valles anchos y cuando la altura requerida era relativamente pequeña. La compactación de tierra fue aplicada en Europa a principios del siglo XIX. En Inglaterra, hacia 1820, se usaron rebaños de ovejas; posteriormente rodillos pesados de concreto o fierro. Dicha práctica fue llevada a California, E.U.A., por ingenieros europeos y aplicada en 1860. A principios del siglo pasado se empezaron a construir pequeñas presas de tierra en los Estados Unidos de América, principalmente en la región oeste, para el abastecimiento de agua (San Francisco). En realidad, se popularizan estas construcciones con la expansión del riego.

En México la construcción de obras hidráulicas no tuvo continuidad desde la época precolombina, sin embargo es en los últimos 40 años cuando se ha dado un fuerte impulso a este renglón del desarrollo económico del país. Estas obras han estado a cargo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Nacional del Agua.

Se puede decir que los beneficios de estas obras son: proporcionar riego para fines agrícolas mediante el desvío del agua de una corriente así como dotar de la energía eléctrica y del agua potable para el consumo de las grandes ciudades (tanto para los usos industriales como para el uso de la población) entre otros. En algunos países, se utilizan para la regulación del flujo de ríos y así evitar inundaciones en predios o poblados, para crear lagos artificiales y/o elevar el nivel de una corriente de agua para hacerla navegable, etc.

En México (1926), el Gobierno Federal creó la Comisión Federal de Irrigación con el fin primordial de desarrollar el riego en gran escala, como parte fundamental de una rigurosa política que aumentó la producción agrícola, para satisfacer las necesidades alimenticias de una creciente población; en 1947 aquella institución se transformó en la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Durante estos años se han transformado al sistema de riego muchos millones de hectáreas de terrenos distribuidos en todo el territorio de México, lo cual ha requerido la construcción de más de 100 presas de almacenamiento, otras tantas derivadoras, muchos kilómetros de canales principales, laterales y de drenes y un gran número de otras estructuras. En muchas de las obras en donde existe la posibilidad de aprovechamiento hidroeléctrico se han construido plantas a pie de presa.

En la actualidad cada presa es un complejo hidráulico que en su conjunto persigue varios propósitos contemplados desde su diseño, para de esta forma satisfacer las necesidades que demanda la creciente población. Al mismo tiempo cabe mencionar que una presa es el resultado de un estudio general, en el que intervienen: las características del río; la geología de la región; la existencia de sitios apropiados para crear el embalse y cimentar la obra; las necesidades de energía de la región; o bien de poblaciones que se deben proteger o dotar de agua.

Hoy en día, México cuenta con más de 4000 presas (mayores de 3 m de altura), de las cuales aproximadamente 800 son presas grandes de acuerdo al criterio del Comité Internacional de Grandes Presas (mayores de 15 m de altura) y entre ellas está una de las presas más altas en el mundo, la presa Manuel Moreno Torres (Chicoasén), estructura térrea de 260 m de altura alojada en un cañón estrecho del río Grijalva (1980).

A pesar de los múltiples beneficios que trae consigo la construcción de éstas obras hidráulicas, crean, con el tiempo, problemas muy serios debido a que son estructuras de gran longevidad y de comportamiento mecánico muy complejo. Siempre tienen latente el riesgo de que en su estructura se presenten fallas o averías y están expuestas a diversas condiciones del medio ambiente como grandes lluvias, vientos fuertes y temblores que pueden ocasionar daños a la obra y, por consiguiente, pueden afectar a las poblaciones cercanas. Uno de los más graves problemas son los desbordamientos que ocasionan las inundaciones, lo que trae como consecuencia pérdidas humanas y pérdidas en la infraestructura económica, comercial y ambiental del país (incluyendo el costo de la obra misma, pérdidas económicas por la suspensión del riego, de abastecimiento del agua y de energía eléctrica; daños a las vías de comunicación, pérdidas de bienes materiales de la población; etc.).

Para evitar muchos de estos problemas, o bien para la propia seguridad y subsistencia de la obra, es necesario eliminar cualquier condición o causa real que exista en la presa, que pueda llevar a su deterioro o destrucción, mediante un estudio profundo de su comportamiento, de los materiales que la constituyen y del medio ambiente que la rodea, haciendo uso de equipo de inspección y evaluación que permita verificar por medio de un análisis de los parámetros, el comportamiento correcto y las condiciones físicas en las que se encuentran los elementos de dichas estructuras, para implementar medidas de seguridad y de pronóstico. Por ello se ha recurrido a los métodos de análisis que proporciona la mecánica de suelos, la mecánica de rocas, las técnicas de análisis experimental de esfuerzos, y, por último, el análisis numérico, entre otros.

1.1. La problemática de mal funcionamiento de las obras hidráulicas

Las presas son estructuras ingenieriles especializadas, en la mayoría de los casos formadas con materiales locales, remotamente localizadas y construidas para adaptarse a condiciones naturales.

Una presa es un complejo de estructuras que tiene por objeto contener el agua en el embalse con dos fines, alternativos o simultáneos, según los casos:

- Formar un depósito que retenga los excedentes temporales de agua para suministrar un suplemento de aporte durante los periodos de escasez, o para amortiguar las puntas de las crecidas,
- Elevar el nivel del agua que pueda así derivarse por una conducción para la producción de energía eléctrica, el riego o el abastecimiento de agua potable.

El empuje hidrostático es, como regla, de gran magnitud y muy superior a las sobrecargas que soportan otras construcciones civiles (muelles, puentes, edificios, etc.). La obra hidráulica y sobre todo la presa es, por tanto, una estructura especialmente exigente en lo relativo a resistencia y estabilidad. El agua además no actúa solamente como carga, sino que penetra por cualquier intersticio, creando no solo problemas de impermeabilidad, sino incluso de presiones internas que ocasionan sobrecargas de gran intensidad y desfavorablemente situadas, tanto en la cortina como en su cimentación.

Precisamente por eso, uno de los factores más importantes que determina la seguridad de una presa es la resistencia del cuerpo de la cortina y de su cimentación al flujo de filtración, esto es especialmente importante para el comportamiento de las cortinas de tierra y enrocamiento durante su operación.

Las construcciones principales son aquellas cuya avería puede provocar un paro completo del funcionamiento de la obra así como daños económicos y sociales importantes. La cortina pertenece a éstas.

En atención al material empleado para la construcción, las cortinas pueden ser o de tierra y enrocamiento o de concreto. Actualmente existen también viejas cortinas de mampostería.

La gran mayoría de las cortinas construidas en el mundo (83%) son de materiales graduados y, dentro de este tipo genérico, el 94 % son de tierra. Siguen las de gravedad de concreto, con el 11% del total; los otros tipos son francamente minoritarios y algunos marginales.

El número, altura y longitud de las presas ha ido aumentando sin cesar, al igual que la magnitud de los problemas técnicos que esto conlleva, y la necesidad de construir nuevas presas en sitios que no reúnen condiciones tan favorables. Por esto es que las variables locales en donde se construye la obra influyen significativamente en su comportamiento y en el diseño que depende de las peculiaridades de cada caso, más que de las semejanzas con otras estructuras del mismo género.

Los materiales que componen una presa varían sus propiedades de resistencia, módulo e impermeabilidad según el lugar donde se encuentran, según las cargas estáticas o dinámicas que soportan y según su edad.

En muchos casos no son homogéneos y se desconoce el estado de esfuerzos e influencia del tiempo. Las discontinuidades e imperfecciones son difíciles de representar en los modelos. No se conocen precisamente las respuestas sísmicas de los materiales reales que componen una presa. Al modelar la estructura es difícil prever la influencia de factores tales como la plastificación, la microfracturación, la fricción en las discontinuidades del macizo rocoso o en la interfase roca-concreto y la distribución de ondas sísmicas. También se desconoce en muchos casos la interacción presa-embalse. Es difícil de modelar la compresibilidad del agua, la topografía del cañón con una masa de agua cercana en vibración, o la vibración del fondo. Las cargas térmicas cíclicas y las reacciones químicas, en conjunto con la geometría irregular del cañón, son a menudo causas de fracturas o apertura de juntas bajo las cargas de operación. También las imperfecciones en la construcción de las juntas influyen en la seguridad.

Existen varios estudios de averías de grandes presas, con altura mayor de 15m (Safety, 1983; Kalustián, 1988, Seguridad, 1994).

Un resumen de los resultados obtenidos por Comisión Internacional de Grandes Presas) sobre las fallas y averías de presas con altura mayor de 15 m se presenta en la Tabla 1-1 (Safety, 1983).

Tabla 1-1

Causas	Tipo de presa								
	Concreto		Materiales graduados		Otros tipos		Todos tipos		
	F	A	F	A	F	A	F	A	F&A
Rebosamiento	6	3	18	7	3		27	10	37
Erosión	3		14	17			17	17	34
Deterioro de taludes				13				13	13
Tubificación en la presa			23	14			23	14	37
Tubificación en la cimentación	5	6	11	43	1		17	49	66
Deslizamiento	2		5	28			7	28	35
Deformación		2	3	29	3		6	31	37
Deterioro		6	2	3			2	9	11
Sismo				3				3	3
Construcción defectuosa	2			3			2	3	5
Falla de compuertas	1	2	1	3			2	5	7
TOTAL	19	19	77	163	7		103	182	285

También se puede estimar la influencia de varios factores sobre las fallas y averías extrayendo datos de esta tabla y presentándolos en forma de diagrama (Ver Figura 1-1).

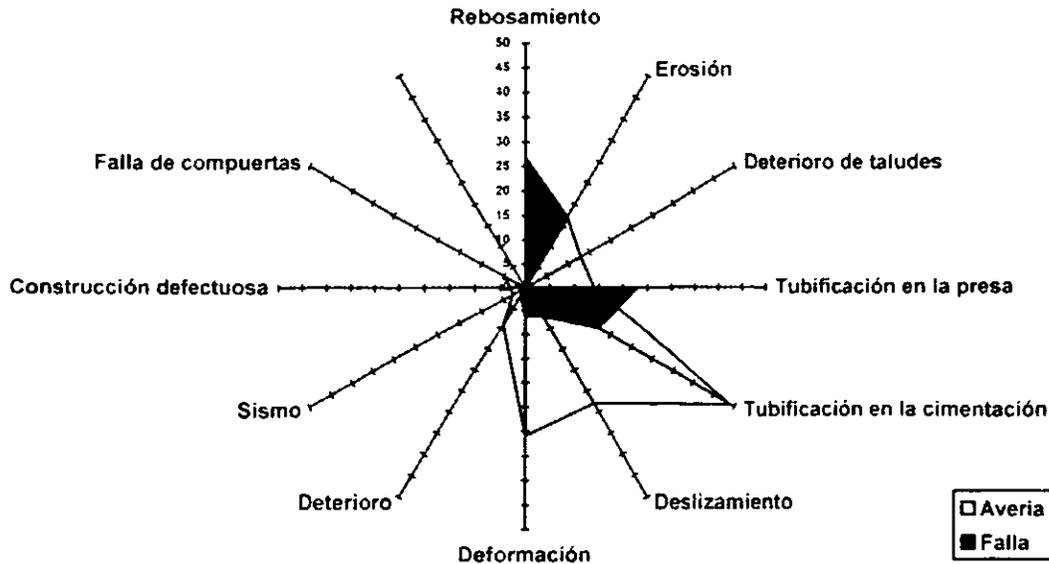


Figura 1-1. Causas de fallas y averías de grandes presas

A pesar de que no todas las causas son claramente definidas (por ejemplo "Construcción defectuosa"), se puede notar que la causa que provocó la mayor cantidad de daños es la tubificación provocada por la filtración en la cimentación y en el cuerpo de la cortina (39 % destrucciones y 36 % del total de las averías). El reboamiento del agua en la cima de la cortina causó aproximadamente 26 % de las destrucciones registradas, lo que representa 13 % de todos los incidentes. La razón principal del reboamiento fue la capacidad inadecuada de los vertedores. Otras fuentes también indican una situación parecida (Sithamparampillai, 1987). Estos resultados de Sithamparampillai aparecen en la Figura 1-2.

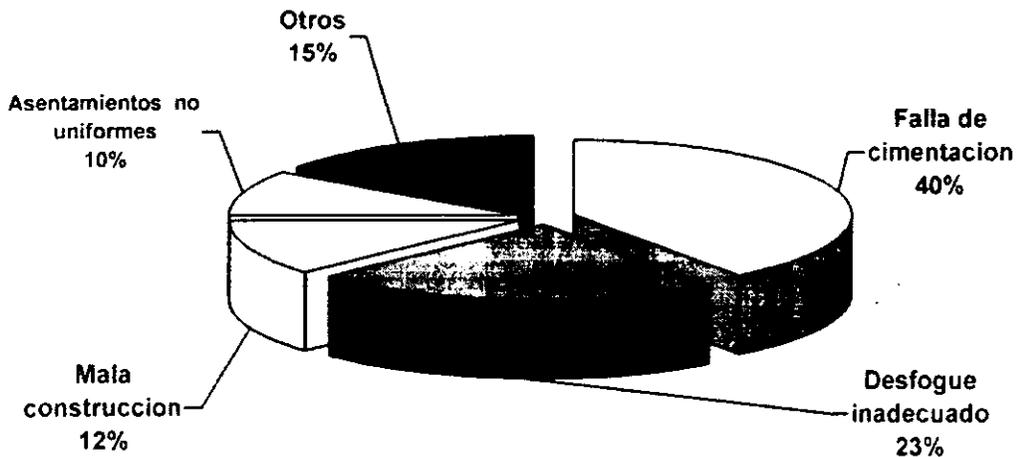


Figura 1-2. Fallas y averías de grandes presas

Se puede mencionar que la falla provocada por la tubificación de la presa Tetón, en los E.E.U.U en 1976, causó pérdidas económicas que equivalen a 1000 millones de USD.

La categoría "Deslizamiento" engloba los casos de deslizamiento (o, mas bien, problemas de inestabilidad) por la cimentación o inestabilidad de los taludes de la presa y de las laderas.

Para una cortina de concreto el punto más débil es su cimentación. Muy rara vez las características mecánicas de las cimentaciones rocosas de 204 cortinas de concreto construidas en nuestro siglo, coinciden con los requerimientos del diseño, como resultado, hay fallas en las presas. La estadística de las fallas de presas de concreto se presenta en la Tabla 1-2 (Kalustián, 1988).

Tabla 1-2

Grado de daño	Acciones exteriores				
	Presión hidrostática	Avenidas	Sismos	Otras acciones	Total
Fallas de cortina	8	3	-	-	11
Deterioro de cortina	154	26	5	8	193
Total de casos	162	29	5	8	204

Hay que precisar que las averías ocurren a menudo durante el primer llenado del vaso y en el transcurso los primeros 5 años de operación. Después, durante un periodo bastante largo las presas funcionan con una frecuencia reducida de averías, y al pasar unos cuantos decenios, la frecuencia de averías (pero, no de destrucciones) aumenta por el envejecimiento de la presa, aunque algunas destrucciones se produjeron después de 100 años de un servicio satisfactorio. En México se cuenta con varios ejemplos de presas destruidas al cabo de más de 40 años por tubificación tales como Dique Laguna y Santa Ana.

Al correr de los años las presas envejecen y sus materiales se deterioran. Precisamente es en los países que primero incurrieron en el desarrollo de presas donde el problema será más agudo. Según ICOLD los escenarios principales de envejecimiento y fallas consecuentes de las presas son las siguientes:

Tabla 1-3

Presas de concreto y mampostería	Cimentación (Masa rocosa)	Pérdida de resistencia bajo cargas permanentes o repetitivas Erosión y desolación Envejecimiento de pantalla de drenaje e impermeabilización Reacciones químicas que provocan expansión
	Cortina	Creep y contracción Degradación por reacciones de materiales con ambiente Pérdida de resistencia bajo cargas permanentes o repetitivas Pérdida de resistencia por congelamiento y descongelamiento
	Otros	Envejecimiento de juntas de construcción Envejecimiento de caras aguas arriba Envejecimiento de estructuras preforzadas
Obras de excedencia	Cimentación, estructura y equipo (Masa rocosa, suelo, concreto, acero y otros materiales)	Tubificación local Erosión por abrasivos Erosión por cavitación y disipación de energía Obstrucción por sólidos de flujo Problemas con compuertas y equipo electromecánico Flujo excesivo
Presas de tierra y enrocamiento	Cimentación (tierra o masa rocosa)	Deformación Pérdida de resistencia, aumento de subpresión y cambio de estado de esfuerzos Erosión interna Degradación de cimentación
	Cortina (materiales graduados)	Deformación Pérdida de resistencia Aumento de presión de poros Erosión interna Degradación de materiales graduados Erosión de superficie
	Otros	Fugas a través de cara de concreto Cambio de permeabilidad Pérdida de adhesión entre estructuras de concreto y materiales graduados Envejecimiento de materiales sintéticos

El envejecimiento de las presas plantea varios problemas, además de su deterioro:

1. Cada presa ha sido proyectada y construida según los conocimientos de la época. La experiencia ha enseñado que algunos de estos eran imperfectos. Algunas presas consideradas suficientemente seguras hace cincuenta años (incluso menos) pueden plantear dudas de acuerdo con el estado de arte actual.
2. Por el hecho de haber transcurrido unos años desde su erección, la presa puede haber sufrido deterioro en sus materiales, o incluso averías. Como toda obra envejece sus condiciones resistentes pueden verse menguadas por los mismos materiales e incluso por un cambio en las sollicitaciones (grietas), presiones intersticiales, sismos, etc.).
3. El cauce aguas abajo de la presa puede haber cambiado substancialmente, lo que puede afectar la estabilidad de las obras de desagüe o de la presa misma.
4. Las condiciones en el territorio aguas abajo de la presa también pueden haber cambiado (nuevos poblados, fábricas, cultivos, etc.). Esa componente del valor puede haber llegado a ser tan importante que obligue por sí sola a una reconsideración de la seguridad existente.

La mayoría de las averías en presas de tierra o enrocamiento fue provocada por:

- filtración en el cuerpo de la cortina y/o su cimentación con la consecuente tubificación del material;
- degradación química de la cimentación o en los apoyos de la presa;
- erosión de la cortina cuando el agua rebasa la cresta;
- resistencia inadecuada del suelo de cimentación, particularmente al saturarse;
- estabilidad inadecuada de los taludes de la cortina.

La mayoría de las averías en presas de concreto fue provocada por:

- carga hidrostática durante el llenado del embalse o durante una avenida excepcional;
- alta filtración o alta subpresión en la base de la presa o en sus apoyos;
- resistencia inadecuada del material de cimentación, sobre todo al cortante;
- heterogeneidad de la deformabilidad de la cimentación;
- erosión del cause aguas abajo por flujo superficial.

Puede servir como un ejemplo la catástrofe de la presa bóveda Malpasset (H=60,5m) en Francia, el 2 de Diciembre de 1959, cuando el desconocimiento de la subpresión en la cimentación de la presa provocó la ruptura de la misma, lo que costó la vida a más de 400 personas. Después de la catástrofe de esta presa los ingenieros se percataron de la importancia del drenaje como un medio indispensable y eficaz para el control de subpresiones.

Las causas principales de falla para las laderas de embalse y los apoyos son: su estructura geológica; sus características físicas y mecánicas; la saturación del macizo; y, las velocidades de vaciado del embalse.

El deslizamiento más grande en la historia de la construcción de presas fue el provocado en el embalse de la presa de arco Vaiont en Italia ($H= 200$ m), cuando al pasar tres años de la construcción de la presa (el 9 de Octubre de 1963)la montaña Mont Toc en la margen izquierda del embalse se deslizó;creando una ola de 100 metros de altura sobre la cresta de la presa y destruyó la ciudad de Longarone, situada a 2 kilómetros aguas abajo de la presa causando la muerte de 2600 personas. La cortina de arco no sufrió daños de consideración.

Concluyendo se puede decir que los factores principales que influyen en la seguridad de una presa son:

- Estabilidad de taludes
- Esguimientos imprevistos
- Operación del embalse
- Existencia de agentes agresivos (tiempo, agua, viento, etc.)
- Calidad del diseño estructural
- Calidad de las cimentaciones
- Calidad de las obras de excedencia
- Calidad del mantenimiento
- Volumen del embalse
- Obras de toma
- Tipo de la presa
- Sismicidad
- Existencia de documentos sobre diseño y construcción de la obra hidráulica
- Existencia del sistema de monitoreo
- Nivel de filtraciones
- Presencia de deformaciones
- Nivel de deterioro de caras o taludes
- Erosión del pie de aguas abajo

Todos estos factores dependen mucho de la “edad” de la obra hidráulica, es decir, del tiempo que tiene de haber sido construídas.

Al almacenar grandes cantidades del agua, el potencial de destrucción de obras hidráulicas tanto para infraestructura como para la población aguas abajo es significativo. A pesar de que en la actualidad se posee un mayor conocimiento de los fenómenos naturales (tales como terremotos y desbordamientos) del comportamiento de diferentes materiales y técnicas de análisis, la tendencia de construir presas más largas y altas, en sitios marginales, con materiales de características muy diferentes, produce un factor de inseguridad adicional. Últimamente la historia de averías y accidentes en presas ha llamado la atención, no sólo de legisladores sino de los encargados de las inspecciones, durante toda la vida de la presa (diseño, construcción y operación). Se ha intensificado la cooperación e intercambio de conocimientos y experiencias entre todas las personas involucradas.

Históricamente, la práctica de revisión y solución de los problemas técnicos relacionados con el funcionamiento normal de las obras hidráulicas se basa en procesos de almacenamiento y análisis de grandes cantidades de información presentada en forma

discreta (datos fijos) o en forma continua. Además, este análisis involucra a especialistas y expertos de diversas disciplinas.

Puede afirmarse que ha existido una escuela de especialistas en materia de presas, que cobró auge en las décadas sesenta y setenta; sin embargo, las experiencias adquiridas no han sido suficientemente transferidas a las nuevas generaciones. Lo anterior ha sido propiciado, en parte, por una oferta educativa concentrada en el diseño de obras más que en el mantenimiento, conservación y la seguridad de las obras hidráulicas y, por otra parte, por la carencia de conocimientos sistemáticos sobre la materia.

Tomando en cuenta lo anterior, la calidad de la información sobre las presas en México es deficiente. Por ejemplo, en muchos casos no se conoce precisamente el daño potencial asociado a las presas, y solo en algunos casos se deduce que éste es alto. Se estima que 700 presas de México tienen más de 30 años de haber iniciado su operación y 400 tienen entre 20 y 30 años. Los criterios de diseño y construcción utilizados en éstas datan de varias décadas por lo que, y a la luz de la información más reciente sobre el comportamiento de las presas, los registros hidrológicos y los avances tecnológicos, resulta conveniente su revisión. En estas presas no se cuenta con una información integral de las acciones de conservación y mantenimiento; no existe la información bien estructurada sobre el diseño, construcción en operación. En varios casos por lo antigüedad se extraviaron parte de los planos o croquis y memorias técnicas.

Actualmente muchas presas en operación se encuentran cercanas a condiciones problemáticas, mientras que otras se aproximan al término de su vida útil. Aproximadamente 500 de éstas requieren un análisis detallado de su comportamiento con participación de expertos y especialistas de diversas disciplinas. Esto implica tener la información relacionada en forma integral estructurada. Por otra parte los recursos financieros para desarrollar nuevos proyectos son cada vez más escasos y los lapsos para resolver dichos problemas son cada vez más cortos.

A pesar de que las presas en la actualidad cuentan con instrumentación muy sofisticada para medir hasta diminutos cambios de parámetros de monitoreo, la evaluación precisa de seguridad de las presas sigue siendo tarea difícil. Todavía existen muchos problemas por resolver.

La eliminación total de defectos e imperfecciones no es posible en la etapa de construcción de una presa. Además, el diseño también puede contener errores. Las presas pueden ser víctimas de imperfecciones internas y externas como presiones excesivas, filtraciones, deformaciones, etc. En muchos casos el síndrome puede ser casi indetectable, sin embargo las consecuencias de no intervenir pueden ser desastrosas. Para el médico cada paciente representa una vida humana; por otro lado, la "enfermedad" no tratada de una presa puede poner a peligro la vida de muchas personas. La evaluación de la seguridad de presas requiere mucha responsabilidad.

1.2. Seguridad de las obras hidráulicas

De acuerdo con lo ya expuesto se concluye que las obras hidráulicas son estructuras con comportamiento muy complejo; la estadística de fallas de grandes presas comprueba esto. En el presente siglo se tienen registradas poco más de 200 fallas de presas a nivel mundial, que han cobrado miles de vidas humanas y ocasionado grandes pérdidas económicas. Por ejemplo, en la década de los años setenta se presentaron fallas en la presa Teton de la Unión Americana, que causaron daños por miles de millones de dólares, la muerte de más de un centenar de personas y afectaciones a más de 7,000 habitantes.

Son varias las presas grandes en México que se encuentran localizadas en las proximidades de centros urbanos y cuya falla tendría efectos devastadores.

En la siguiente tabla se puede ver las fallas más significativas de varias presas y las correlativas pérdidas humanas.

Tabla 1-4

Presa	País	Tipo	Altura m	Capacidad 10 ⁶ mil m ³	Año de falla	Pérdidas de vidas	Pérdidas económicas
Puentes	España	C/G	52.4	52	1802	680	
Sheffield	Gran Bretaña	TE	28.9	3	1864	238	
El Habra	Argelia	C/G	43	30	1871		
El Habra	Argelia	C/G	43	30	1881	209	
Bouzey	Francia	C/G	20	7	1884		
Sauth Fork	EE UU	TE	21.9	18.5	1889	2209	15 mill. USD
Bouzey	Francia	C/G	20	7	1895	85	40 mill Fr
Bayless	EE UU	C/G	15.2	1	1911	75	
Tigra	India	C/G	24	126	1917	1000	
Gleno	Italia	C/C	49	5	1923	500	150 bill Lib
Eigiau	Gran Bretaña	C/G	10.7	4.5	1925	16	
St. Francis	EE UU	C/G	62.5	46	1926	426	
El Habra	Argelia	C/G	43	30	1927		
Zerbino	Italia	C/G	16.5	18	1935	130	
Vega de Terra	España	C/C	34	8	1959	144	
Malpasset	Francia	C/A	66.5	47	1959	321	68 mill USD
Vajont	Italia	C/A	261.5	168	1963	1899	
Koyna	India	C/G	103	2780	1967	216	
Teton	EE UU	TE	93	308	1976	11	1 bill USD
Machuu II	India	TE	26	100	1979	2000	
Tous	España	TE	77	50	1982	28	360 bill USD

En fechas recientes se registraron incidentes en las presas Chilatán en Michoacán, El Batán en el estado de Querétaro y Los Naranjos en Durango. En el segundo caso se presentaron filtraciones que pusieron en riesgo la estabilidad de la presa; en el caso de Los Naranjos, después del llenado de ésta, (que duró siete años), se reactivó un deslizamiento geológico en la ladera derecha que generó una grieta diagonal incipiente en el núcleo de la cortina. En los tres casos fue necesaria una rápida acción correctiva por parte de varios especialistas.

No es posible garantizar absolutamente la seguridad de una presa, aún si se presenta un gran avance en las áreas de ciencias naturales como geología, hidrología, ciencias ambientales, de ingeniería (como tecnología de materiales, técnicas de construcción, exploraciones, diseño, etc.).

La imposibilidad de tener seguridad absoluta es uno de las principales aspectos que se tratan en Ingeniería Civil, sólo se pretende tener cierto nivel trata de tener cierto nivel de seguridad. Es deseable que este nivel sea alto y constante en todos los casos donde se involucran vidas humanas, principalmente por razones económicas (costo de cada trabajo y costo de recursos humanas y materiales que se asocian con la seguridad).

El número de presas que pueden presentar problemas de seguridad es grande. Según la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) alrededor de 5000 presas del mundo fueron construidas antes de 1950. Los expertos recomiendan tener cierta lógica en consideraciones de acciones emprendidas para garantizar la seguridad (o selección de presas con problemas para ello). ICOLD considera que las acciones para la seguridad de presas deben concentrarse en aspectos solo esenciales a fin de economizar tiempo y recursos. Lemperière (1995) considera, que las acciones deben apuntarse hacia presas "grandes o pequeñas, que efectivamente implican mayor riesgo, mejorándolas, sin buscar seguridad absoluta, y desarrollando sistemas de advertencia efectivos y baratos". De acuerdo con Chemaly y Nortjé (1994): "Ningún país del mundo puede llevar todas sus presas al nivel actual de estándares de seguridad. Y parece que el único camino es habilitar y hacer seguras las presas contra los peligros más altos primeramente y concentrarse en el resto después".

Ciertas medidas indispensables y urgentes de seguridad pueden tener una implementación relativamente lenta y cara. Por ejemplo, la construcción de otro vertedor involucra una etapa de diseño y la construcción misma. Ambas normalmente requieren de un proceso legal, que no es rápido. Pero hay algunas medidas económicas que pueden ser realizadas de manera rápida y simple. Siempre hay que considerar no sólo la protección de vidas humanas, sino proveerla lo más pronto posible.

Cuando un problema se presenta en alguna presa, es necesario que la toma de decisiones se haga de manera inmediata, pero sustentada en diagnósticos y soluciones precisas. La toma de decisiones oportuna puede ser determinante y ayudará a evitar la pérdida de vidas humanas, daños a la ecología y el desperdicio de recursos económicos.

Es necesario realizar un análisis profundo y serio de las fallas mediante un amplio dominio de las técnicas y conocimientos relacionados con la construcción de las obras hidráulicas. Esto sólo se puede lograr reuniendo a varios especialistas en las diversas disciplinas que comprende el diseño, la construcción y la operación de una obra hidráulica.

1.3. Demanda y Relevancia de Solución

Las obras hidráulicas permiten el aprovechamiento de agua en las corrientes superficiales y la protección ante avenidas causadas por eventos climatológicos. México tiene un promedio de escurrimiento superficial de 410,000 millones de m³ al año y cuenta con infraestructura hidráulica con una capacidad de regulación de 82,000 millones de m³.

Dicha infraestructura se ha desarrollado, en buena medida, para aprovechar y compensar la disponibilidad de agua en el país, dado que el 50% del volumen escurrido se genera en tan sólo 20% de la superficie del país, que se localiza en el sudeste. Lo anterior ha provocado que el manejo y la administración de la demanda de agua sean complejos, toda vez que en el norte de la República las demandas de agua de los desarrollos urbanos e industriales compiten con mayor frecuencia con los usos agrícolas (que se agudiza en periodos de sequías), y en el sudeste se suscitan inundaciones que causan daños económicos considerables. En consecuencia las presas han sido construidas para mitigar estos efectos, sea para almacenar agua y posibilitar diversos usos de beneficio público o para proteger de inundaciones a centros urbanos que pudieran sufrir daños ocasionados por cauces de gran magnitud.

Por ello, de la seguridad de las presas dependen diversas actividades productivas y de bienestar social que aportan grandes beneficios y coadyuvan al progreso del país.

Uno de los mayores retos para la Ingeniería Civil Mexicana, en el área del manejo del agua, es la conservación de la infraestructura hidráulica existente en el país, a fin de que estos recursos contribuyan al desarrollo sustentable de México.

Las obras hidráulicas todavía no cuentan con buenas soluciones algorítmicas para su diagnóstico. Esto es un factor que propicia el desarrollo instrumentos basados en inteligencia artificial, tanto más, que se cuenta con expertos en el área que desean cooperar y ven la necesidad de implementar este tipo de herramientas.

La tarea más importante en estas actividades es proporcionar un flujo totalmente rastreable de información para cada una de ellas a través de un mecanismo que contiene todos los registros sobre cada etapa de ciclo de vida de una presa: diseño, construcción y operación.

En realidad, no se cuenta con ninguna herramienta que permita reunir y procesar de manera "inteligente" la información, sino completa cuando menos vital, sobre las presas o sobre su comportamiento. En México existe información al respecto en diversas dependencias de gobierno, en despachos de diseño y en documentos publicados, en bases de datos o grupos de archivos almacenados en diversas organizaciones y en diferentes formatos. Mucha información se encuentra en almacenes o "bodegas" de varias dependencias localizadas a lo largo de toda la República. La información vital existente sobre las presas no está estructurada propiamente para un uso conjunto.

Aparentemente no se cuenta con mucha información en forma estructurada y captada relacionada con los datos esenciales del diseño, la construcción y el mantenimiento de presas mexicanas con riesgo detectado. En el Atlas Nacional de Riesgos de la Secretaría de Gobernación se menciona la cantidad de 800 presas, (de un total de

3211 censadas), consideradas riesgosas por tener aguas abajo de poblaciones de 200 o más viviendas, o más de 1000 habitantes, o actividad económica importante (ver Tabla 1-5).

Tabla 1-5

	ESTADO	PRESAS REGISTRADAS EN EL ESTADO	PRESAS CENSADAS CON RIESGO DETECTADO	%
1	AGUASCALIENTES	74	2	2.7
2	BAJACALIFORNIA norte	20	15	75
3	BAJA CALIFORNIA SUR	16		
4	CAMPECHE			
5	COAHILA	139	19	13.67
6	COLIMA	45		
7	CHIAPAS	23	7	30.43
8	CHIHUAHUA	204	60	29.41
9	DISTRITO FEDERAL	27	20	74
10	DURANGO	306	80	26.14
11	GUANAJUATO	220	87	39.55
12	GUERRERO	60	19	31.67
13	HIDALGO	165	15	9.1
14	JALISCO	280	108	38.57
15	MEXICO	194	54	27.84
16	MICHOACAN	252	50	19.84
17	MORELOS	125	79	63.2
18	NAYARIT	54	3	5.56
19	NUEVO LEON	164	55	33.54
20	OAXACA	94		
21	PUEBLA	70		
22	QUERETARO	127		
23	QUINTANA ROO			
24	SAN LUIS POTOSÍ	147		
25	SINALOA	85	24	28.24
26	SONORA	39	13	33.33
27	TABASCO			
28	TAMAULIPAS	152	20	13.16
29	TLAXCALA	21		
30	VERACRUZ	58	41	70.69
31	YUCATAN	1		
32	ZACATECAS	202	21	10.4
		3211	800	

El porcentaje promedio de presas con riesgo para cada estado es por tanto del orden de 30% (ver Fig.1-4.).

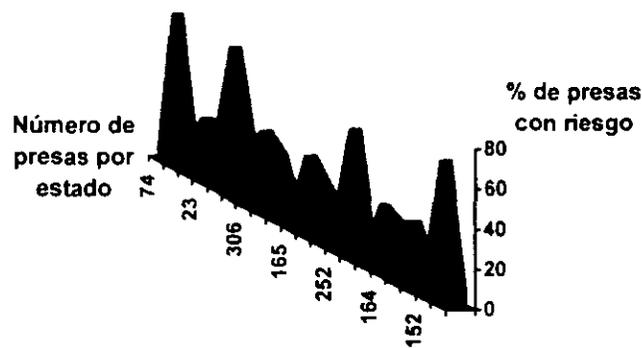


Figura 1-3. Porcentaje promedio de presas con riesgo

De contar con la información esencial sobre diseño, construcción y operación de las presas, los expertos podrían proceder rápidamente al diagnóstico y predicción del mal funcionamiento de la obra hidráulica seleccionada y tomar las decisiones necesarias para aumentar la seguridad de la obra. Por ejemplo, en la valoración de los riesgos en presas presentada en el diagrama, cada elemento se analiza de manera tradicional, con un panel de especialista, y toma mucho tiempo el proceso de toma de decisiones. Todo esto puede ser integrado económica y eficientemente por medio de las tecnologías de inteligencia artificial.

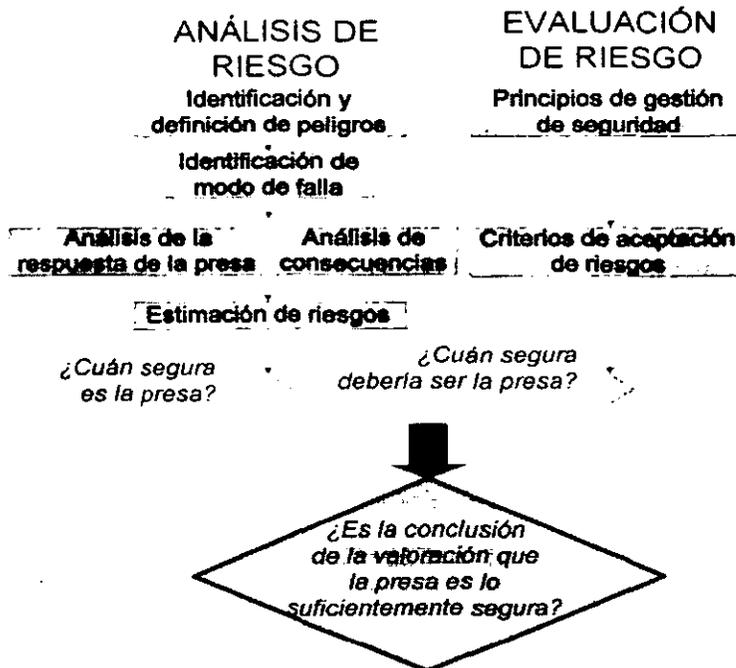


Figura 1-4. Análisis de seguridad

En muchos casos las tecnologías necesarias para realizar el diagnóstico y la predicción del mal funcionamiento de una presa difieren sustancialmente tratándose de su operación, su diseño o su construcción. Por tanto, la aplicación de tecnologías modernas de inteligencia artificial para diagnóstico y predicción del mal funcionamiento de obras hidráulicas involucra no sólo un aspecto económico, sino también un aspecto de innovación en el método y la tecnología.

En el área de la ingeniería civil relacionada al diseño, construcción y operación de obras hidráulicas existen conocimientos muy especializados y muy diversos, los cuales pueden ser integrados económica y eficientemente por medio de los sistemas expertos. Un conocimiento bien formalizado puede ser más benéfico que el de las técnicas tradicionales.

El presente trabajo propone la creación de un sistema o tecnología coadyuvante con los métodos y tecnologías existentes. El "Sistema Experto" propuesto para obras hidráulicas será una herramienta para ayudar a la optimización del proceso de análisis y predicción del mal comportamiento de presas, a fin de emprender las acciones a seguir y los gastos de reparación y mantenimiento, que permitirá ayudar a la conservación de la infraestructura hidráulica existente en el país, mejorando el desarrollo de infraestructura en México.

La seguridad de una presa en operación puede ser controlada por un grupo de parámetros, llamados los parámetros diagnósticos. La medición y análisis de esos parámetros permite tomar oportunamente las decisiones necesarias para el diagnóstico del comportamiento de la presa.

Es difícil resolver el problema del estado de la presa y ver si las manifestaciones de desviaciones en el comportamiento de una presa no son preocupantes. La dificultad no proviene de la necesidad de usar cálculos matemáticas complejos, sino de la obligación de tener el modelo geotécnico adecuado. Además, la dificultad se multiplica por la amplia heterogeneidad de propiedades de los materiales de la presa. En este proceso es sumamente necesaria la ayuda de los expertos humanos con sus conocimientos y la experiencia.

Según la experiencia del Banco Mundial en implementación de la seguridad de presas, los requerimientos para la seguridad incluyen la presencia de un panel de expertos independientes en la revisión del concepto, el proyecto, el diseño y la construcción de cualquier presa (Gupta, 1997). La comparación de habilidades y desventajas de humanos y sistemas de inteligencia artificial se puede resumir en la Tabla 1-6:

Tabla 1-6

Pericia humana	Pericia de Sistemas de inteligencia artificial
Ventajas	
Perecedero	Permanente
Difícil de transferir	Fácil de transferir
Difícil de documentar	Fácil de documentar
Impredecible	Consistente
Caro	Disponible
Desventajas	
Creativo	Sin iniciativa
Adaptivo	Hay que enseñar
Experiencia sensorial	Entrada simbólica
Apertura amplia	Área limitada
Conocimiento de sentido común	Conocimiento técnico

Para crear un sistema ágil y flexible se pueden retomar todos los buenos aspectos de ambas partes – humano y de inteligencia artificial para que se complementen el uno con el otro de la siguiente manera:

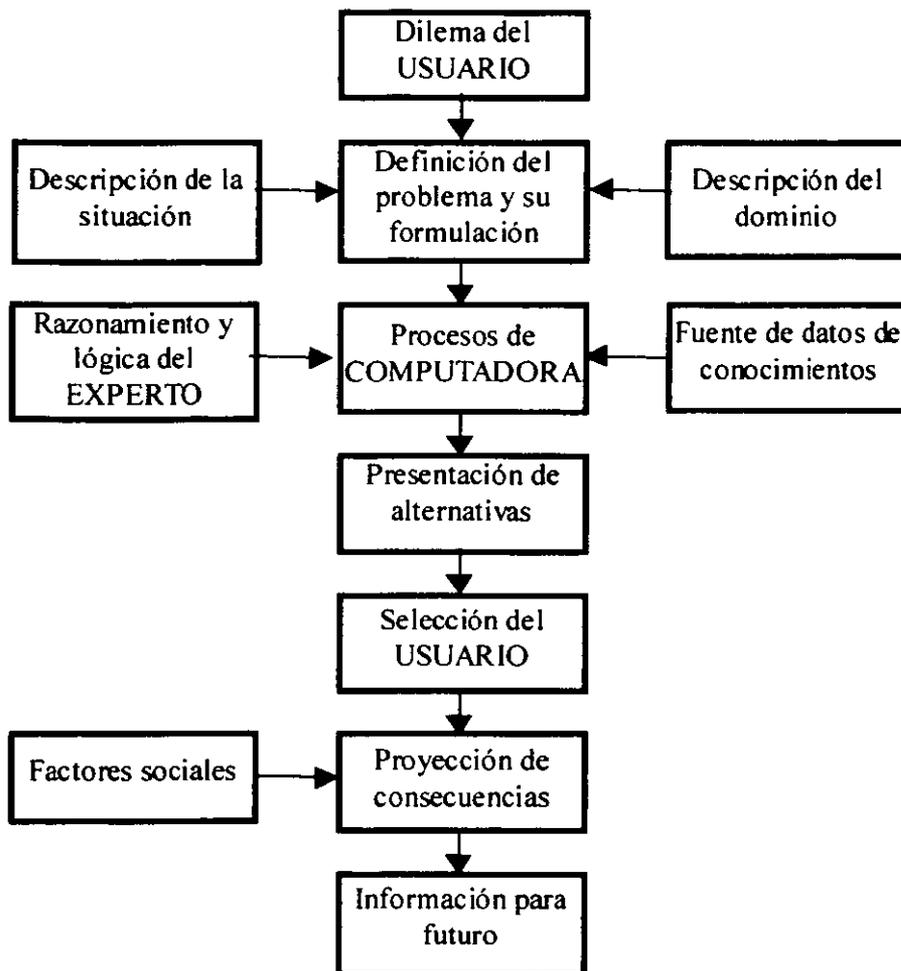


Figura 1-5. Sistema de inteligencia artificial con elementos humanos en circuitos

La información acumulada sobre cargas exteriores y parámetros diagnósticos de la presa permite a los expertos juzgar si su comportamiento es correcto y acorde con lo previsto en el proyecto. Este objetivo se pretende lograr con la ayuda del **Sistema de diagnóstico y pronóstico para la seguridad de obras hidráulicas**

Para las obras hidráulicas que almacenan grandes volúmenes de agua, la seguridad y el pronóstico de averías fatales representan una necesidad vital. Estos problemas más que otros requieren de la toma de decisiones rápidas en situaciones complejas con base en un diagnóstico bastante preciso.

El objetivo principal del análisis es la optimización en la toma de decisiones. Entendiendo por análisis el proceso que convierte la información pertinente en información de soporte para la toma de decisiones. Para que la información sea pertinente es vital tenerla en forma, lugar y tiempo con la ayuda de sistemas expertos.

Si tomamos en cuenta que en México hay aproximadamente 4000 obras hidráulicas de las cuales 500 requieren un monitoreo constante la toma de decisiones rápidas, que manifiesta la necesidad de contar con un sistema experto que facilite esta labor. El diagnóstico del mal comportamiento de las obras hidráulicas es vital, puesto que:

- Se desconoce el impacto económico, ambiental y humano que causaría la falla de muchas de las presas;
- La información sobre las presas aún no es confiable;
- No existe una clasificación de las presas en función del daño potencial;
- Muchas presas se han diseñado y construido con criterios que datan de hace varias décadas, y por lo tanto requieren ser revisados y actualizados;
- Se desconoce el número y nivel de profundidad de las inspecciones realizadas;
- Son pocas las presas instrumentadas y aún mucho menos aquéllas en las que se lleva a cabo la lectura de los instrumentos instalados;
- No se cuenta con procedimientos técnicos ni información integrada de las acciones de conservación y mantenimiento de las presas;
- No hay procedimientos para la integración del personal operativo, del personal de protección civil y las comunidades susceptibles de afectación; y,
- El personal técnico capacitado para labores concernientes a la seguridad de presas es aún escaso.

Son pocos los sistemas de presas en los que existen políticas de operación ante eventos naturales extremos. La práctica ha sido atender los problemas de manera contingente, con énfasis en la protección de la seguridad estructural de la cortina y en detrimento, a veces, del entorno ambiental localizado aguas abajo. La falta de políticas de operación en varias cuencas puede generar inundaciones en ciudades y zonas agrícolas, o bien, la escasez de agua en años futuros para aprovechamientos urbanos, agrícolas o industriales.

El sistema experto propuesto ayudará a resolver esos problemas exitosamente con el apoyo de un número razonable de expertos. Entre otras ventajas se puede mencionar que el sistema seguirá desarrollándose constantemente y adquirirá conocimientos adicionales, o sea mejorará.

1.4. Objetivos de investigación

El objetivo fundamental de la investigación es el desarrollo y la implementación de un sistema de inteligencia artificial que permitirá la acumulación, el análisis y el flujo de información relacionados con los problemas técnicos de funcionamiento normal de las obras hidráulicas, con el fin de poder determinar las causas y consecuencias de un funcionamiento anormal y tener la ayuda indispensable para la seguridad estructural y funcional de las obras hidráulicas.

Esto se pretende lograr por medio de un Sistema de Diagnóstico y Pronóstico de mal funcionamiento de obras hidráulicas en México (SEDP) usando un sistema de soporte informático (Base de Datos), totalmente flexible y dinámico, para contar con información actualizada y adecuadamente procesada sobre el diseño, construcción y el comportamiento de éstas.

El sistema se implementará bajo la arquitectura cliente servidor, y funcionará en una red de computadoras, favoreciendo así en un momento dado la toma de decisiones rápidas para análisis o prevención de las posibles fallas en cada una de las obras. Estas decisiones se tomarán con la ayuda de un Sistema Experto (SE), el cual es un sistema basado en conocimiento que emula el pensamiento de los expertos humanos para resolver

problemas significativos en el campo especificado y de conocimiento especializado. La principal ventaja que proporciona no es tomar decisiones mejor que un experto humano, sino apoyar y mejorar la calidad de las decisiones tomadas por el personal involucrado.

El SEDP deberá ayudar a analizar los datos e interpretar su significado; su objetivo será apoyar al experto en formulación y justificación de hipótesis acerca de las posibles causas de los problemas técnicos e interpretar los datos. Para lograrlo se tiene que almacenar y utilizar conocimientos heurísticos o reglas y hechos basados en la experiencia y en el criterio de los expertos, la combinación de teorías científicas, métodos experimentales y algoritmos computarizados.

Dentro de las otras metas que se pretenden lograr desarrollar de este proyecto se tiene también la generación del sistema de soporte de los bancos de datos que contienen la información (incluyendo todos aquellos planos o figuras que correspondan al tema), de las obras hidráulicas en sus diferentes etapas, (diseño construcción y operación), así como información correspondiente a la instrumentación de cada obra, de manera que se podrá realizar cualquier consulta en forma ordenada y precisa; además contará con módulos de captura actualización y reportabilidad.

Teóricamente existe un banco de características físicas de presas ("Registro de Presas") y un banco de comportamiento de presas. Se incluirán en estos bancos los planos y datos básicos de geología, hidráulica y cálculos de diseño, así como los planos y datos pertinentes de construcción tales como métodos, equipos y resultados del control de calidad. El banco de comportamiento de presas contiene reportes, informes, datos de aparatos de instrumentación, registros de sismos y resultados de inspecciones en forma ordenada y continua. Esto permitirá realizar fácilmente cualquier consulta de la "historia clínica" de la obra hidráulica. Esos dos bancos constituyen la "Base de la problemática".

Así mismo, debe existir un banco o una base de conocimientos, que se nutrirá de varias fuentes, tales como publicaciones, expertos, reportes de especialistas, etc; está expresado en una serie de hechos conocidos y en un conjunto de relaciones de estos hechos, plasmados en la "Base de conocimientos".

El subsistema de razonamiento debe explicar, de forma detallada, como se extraen las conclusiones a partir de los datos proporcionados, de esta manera el usuario del sistema pueda aprobarlas o descartarlas. El subsistema será útil también para aprendizaje y capacitación.

Cabe mencionar que uno de los objetivos principales es el desarrollo de un sistema portátil, flexible y de bajo costo (tecnología "off-the-shell"). Su flexibilidad garantizará el desarrollo futuro del sistema. Así mismo, la idea de utilizar en los circuitos el elemento humano permitirá abarcar un dominio bastante amplio y dará más libertad en la utilización del sistema.

Será conveniente que los organismos que manejen gran cantidad de información sobre las obras hidráulicas cuenten con una herramienta de soporte de seguridad estructural de dichas construcciones.

En condiciones reales los recursos, tanto humanos como materiales, no son abundantes y por ello es necesario, e incluso indispensable, contar con un método que permita:

- Almacenar y manejar la información relacionada con el diagnóstico y predicción del mal funcionamiento de obras hidráulicas en forma organizada y estructurada.
- A los usuarios, manejar los datos pensando en términos familiares para ellos sin saber cómo y dónde la información está almacenada. En la búsqueda de datos se recurrirá a la navegación según el modelo de dominio, pero no según el modelo de datos. Esto significa que el usuario no necesariamente debe tener experiencia en el manejo de datos.
- A la persona con experiencia, recordar las opciones o aspectos que él conocía, pero que se le olvidó considerar.
- Finalmente, ayudará al experto a tomar decisiones en términos de tiempo y esfuerzos físicos indispensablemente cortos.

En efecto, este sistema absorbiendo los conocimientos y experiencia de especialistas y expertos de diversas disciplinas del área ayudará a tomar las posibles fallas, conocer las causas que las originaron y ayudar al personal a emitir las decisiones más adecuadas para mantener y conservar en buen estado una obra hidráulica.

En este sistema se pretende combinar teorías científicas, técnicas analíticas y métodos experimentales con el conocimiento de varios expertos en un algoritmo computarizado y hacerlo disponible cuando se necesite a través de la red de cómputo.

Se propuso como objetivo del proyecto la creación de un paquete de computación, construido en forma modular y que utiliza bases de comportamiento de obras hidráulicas, conocimientos y criterios, y un sistema de interfase con el usuario sencilla y fácil de usar. Este paquete podrá servir como núcleo de desarrollo y creación del SEDP.

Basándose en datos y síntomas proporcionados por inspecciones, reportes, análisis del comportamiento iniciados por el usuario o grupo de usuarios, el sistema experto podrá descubrir un mal funcionamiento de la obra hidráulica seleccionada y ofrecer a los especialistas una lista de causas posibles. Cada paso de inferencia irá acompañado por un diálogo con el usuario y la recolección de los datos necesarios. En cualquier momento el subsistema de razonamiento puede "explicar" al usuario las razones de su inferencia.

El sistema también manejará la simulación de las consecuencias y la predicción de los "reflejos" de las causas. Basándose en los resultados del diálogo con el sistema, el(los) especialista(s) podrá(n) tomar decisiones para las acciones correctivas o preventivas necesarias para el mejoramiento de la seguridad de la obra hidráulica.

En condiciones reales, debido a la gran diversidad de fenómenos y variables que intervienen en el comportamiento de una obra hidráulica, a la complejidad de los problemas abordados, rutinas y teorías propios del campo muy específicos, y además, en condiciones de escasez de expertos para cubrir un territorio amplio, se propone este proyecto como una manera de mejorar la disponibilidad de conocimientos y de optimizar la toma de decisiones en el área de seguridad de obras hidráulicas.

**“La Inteligencia Artificial es ...
la capacidad para percibir, comprender y aprender
acerca de nuevas situaciones”
Robert C. McArthur**

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Enfoques existentes

Normalmente el proceso de evaluación de seguridad estructural y funcional se desarrolla según el siguiente escenario:

Los ingenieros de zona con la responsabilidad de inspeccionar y vigilar la seguridad estructural y funcional de las presas, inspeccionan todas las presas dentro de su zona de influencia, detectan deficiencias en las obras y proporcionan los datos de cada construcción necesarios para el análisis posterior del comportamiento y seguridad de las obras hidráulicas.

Posteriormente, otro ingeniero responsable analiza la información obtenida de los instrumentos de las presas la agrupa con los datos de las inspecciones realizadas por los ingenieros de zona. En cada caso se redactan conclusiones y se envía la información al organismo técnico responsable

En caso de detectar algún problema que ponga en riesgo la seguridad de alguna presa determinada, se informa al organismo técnico responsable. A veces se proponen estudios para conocer el origen de problemas de SEF detectados en presas.

El organismo técnico responsable empieza a estudiar el “caso”. Se realizan visitas de expertos y varios especialistas al sitio, sigue el proceso de recopilación de información necesaria. Con base en esta información y de acuerdo a las prioridades detectadas, el organismo técnico responsable ajustará su programa de visitas de inspección.

Se efectúan las lecturas de la instrumentación existente o se instala instrumentación adicional. Se calculan los resultados y se hacen gráficos.

El organismo técnico responsable evalúa la situación y genera las recomendaciones de acciones a corto y largo plazo.

Todo el proceso de análisis y diagnóstico toma varias semanas debido a que gran parte de la información de las presas está dispersa en diversas oficinas del país, otra parte simplemente no existe, y a que la mayoría de las presas no ha sido visitada o inspeccionada frecuentemente. En casos particulares se establece panel de los expertos en el área. Muchas veces los expertos esperan varios días o semanas hasta que la información necesaria para el análisis llega a su alcance.

Durante del proceso de análisis se realiza el intercambio de información entre las diversas organizaciones. Como ejemplo se puede ver el flujo típico de información que maneja el Consultivo Técnico de la Comisión Nacional de Agua de México en el siguiente diagrama:



Figura 2-1. El flujo de información para soporte de seguridad de obras hidráulicas

Además de la pérdida de tiempo, cabe mencionar que los gastos financieros son significantes al organizar el intercambio de información para la evaluación de seguridad estructural y funcional de la presa. Se puede concluir, que hoy por hoy la evaluación de seguridad estructural y funcional de obras hidráulicas se realiza con los métodos manuales tradicionales revisando una gran cantidad de información de naturaleza dispersa y forma de representación diversa.

En la actualidad no hay muchos intentos de aplicación de herramientas diversas para los problemas relacionados con obras hidráulicas, casi en todos estos casos se ha tratado de abarcar un problema muy local, o una parte de la obra. Además, las herramientas de almacenamiento y procesamiento de los diversos datos no se utilizan de una manera "inteligente". Esto es consecuencia, o más bien un reflejo de complejidad de los problemas del dominio relacionado con diseño, construcción y operación de las obras hidráulicas.

Por ejemplo en minería existen sistemas como el MSDES donde se intenta crear un sistema experto para el "diseño del soporte de una masa rocosa" (Feng Xiating and Lin Ynmei, 1995).

También en la tecnología del manejo del agua existe un sistema que trata de la generación de un conocimiento experto sobre incidentes y accidentes de presas grandes. Pero aunque la información trata de un número bastante amplio de casos (se analizaron cerca de 1100 casos de fallas estructurales de grandes presas publicadas por ICOLD),

La estructura del problema es superficial (Joao Bento, Joaquim Luís Dias, 1992). En este sistema se utiliza simplemente los siguientes atributos: país, tipo de estructura de presa, material, año de término de construcción, altura máxima, tipo de cimentación, tiempo de suceso del accidente, temperatura promedio mensual por año y variación de la temperatura promedio mensual por año. Y, como mencionan los autores, las reglas extraídas por el uso de tecnología de inteligencia artificial solo ilustran la utilidad, pero esto todavía no es la aplicación entera del método.

La base de datos DAMSAFE, desarrollada en Portugal, tiene como propósito almacenamiento y manejo de datos relacionados con obras hidráulicas. Los objetivos generales de esta herramienta están enfocados en proporcionar los datos sobre la obra a especialistas, pero esto es un método tradicional y además de datos estructurados no proporciona nada para los problemas de seguridad de las presas (Fernandes, J., P., Andrade, M; J, 1997).

En muchas aplicaciones existentes con el uso de tecnologías de inteligencia artificial en ingeniería civil se nota una tendencia significativa de traslape entre varias disciplinas (por ejemplo prevención de desastres y diagnóstico de fallas). Todas estas aplicaciones están enfocadas a áreas restringidas y pueden llamarse problemas de "derivación", los cuales implican una clasificación, interpretación o diagnóstico en un mundo de juego fijo de características ("Expert Systems for Civil Engineers: Technology and Application", 1987).

Analizando lo anteriormente dicho se puede concluir que en realidad no existe ninguna herramienta de diagnóstico y predicción de las fallas de presas que permita buscar (aun con ayuda de los expertos) las causas y consecuencias del mal funcionamiento de obras hidráulicas.

Recientemente, en varios organismos que manejan obras hidráulicas en México las tecnologías de inteligencia artificial han despertado cierto interés. Su objetivo es servir al mejoramiento del manejo de recursos de agua y al aumento de la seguridad de las obras. Tal es el Sistema de Evaluación y Gestión de la Seguridad de las Presas Mexicanas formado, en su primera etapa, por los subsistemas: Sistema de Evaluación de Riesgo de Presas Mexicanas; y, Sistema de Indexado de Condiciones de Presas Mexicanas (Propuesta del proyecto de IMTA para CNA, 1996).

El Sistema Experto de Diagnóstico y Predicción de Comportamiento para Seguridad de Obras Hidráulicas (SEDP) se ve como un satélite perfectamente válido para integrarse a esta herramienta y ayudará a la toma de decisiones técnicas u operativas con mayor sustento. En consecuencia, se podrá conocer y dictaminar sobre la seguridad y funcionamiento de una cantidad cada vez mayor de presas.

2.2. Proposición del concepto

Cada obra hidráulica puede ser considerada como un sistema que tiene ciertos parámetros de entrada y de salida, que determinan su comportamiento y existencia. Descomponiendo este sistema en varios subsistemas y analizando sus interacciones se puede construir un modelo de la obra hidráulica. La búsqueda de causas de fallas o mal funcionamiento de una obra hidráulica se enfoca en análisis de interacción del sistema "modelo-ambiente". Las causas propias se pueden dividir en causas externas; (provocadas por acciones externas imprevistas), y causas internas (resistencia inadecuada del subsistema "estructura").

Debido a que los problemas relacionados con el mal funcionamiento de las obras hidráulicas no están bien definidos ni bien estructurados, necesitan en la actualidad la intervención de los expertos humanos. La información sobre los problemas en muchos caso es escasa, se propone la creación de un paquete de computación que represente un análisis de interacción del sistema "modelo-ambiente". Este paquete debe ser construido en forma modular, que utilice bases de comportamiento de obras hidráulicas, conocimientos y criterios y un sistema de interfase con el usuario sencilla y fácil de usar.

Uno de los conceptos principales de este trabajo es la utilización de técnicas modernas de Inteligencia Artificial en áreas de diagnóstico y predicción de mal comportamiento de obras hidráulicas. Se pretende el uso del Sistema Experto desarrollado basándose en reglas y apoyado por varios mecanismos de soporte informático (bases de datos relacionales). Cabe mencionar que como herramientas para el desarrollo del sistema se proponen el uso de los paquetes computacionales que existen en el mercado (tecnología "off-the-shell"). La parte interesante del sistema es que su arquitectura esta basada en concepto del modelo de la obra hidráulica con apoyo y retroalimentación del elemento humano (expertos del dominio) en los circuitos lógicos.

El concepto modular, ambiente cliente-servidor, interfase gráfico, sistema de ayuda y explicaciones, hacen el proyecto muy atractivo por su flexibilidad y posibilidad de uso en otros aspectos de dominio de obras hidráulicas. El Sistema Experto propuesto es un intento por solucionar los problemas que tradicionalmente son difíciles de resolver con métodos convencionales. El Sistema Experto propuesto permitirá ayudar a la conservación de la infraestructura hidráulica existente en el país, mejorando el desarrollo de México.

El esquema principal de SEDP esta presentado en Figura 2-2. :

INTERFASE DEL USUARIO

MÓDULO DE EXPLICACIONES

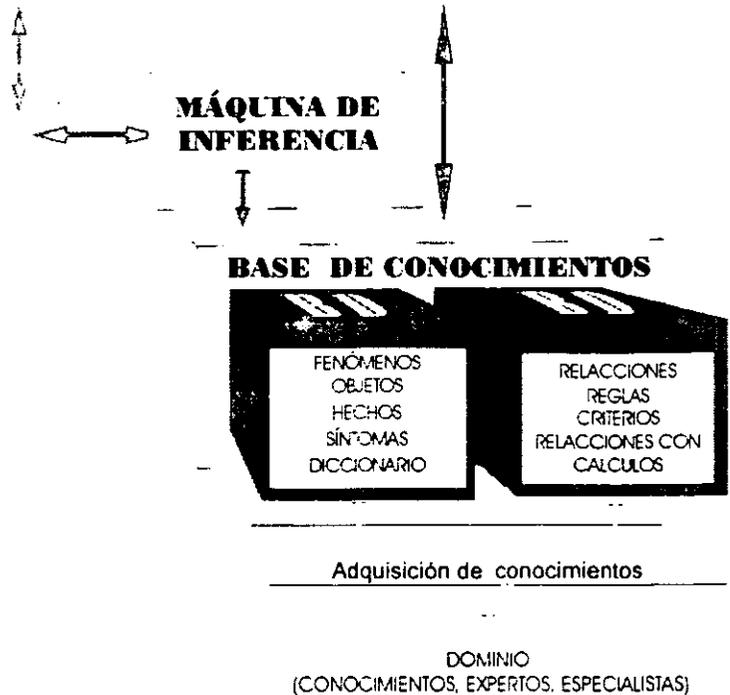
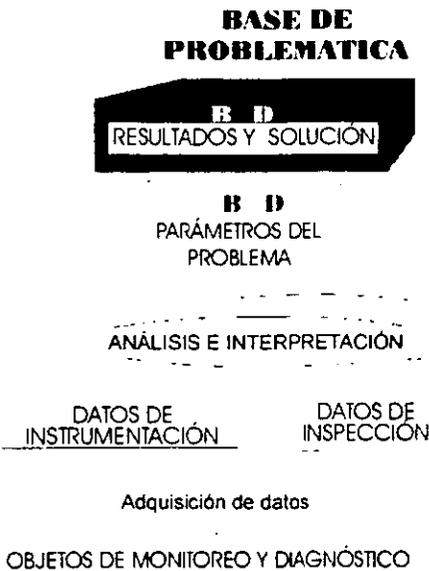


Figura 2-2. Esquema principal del concepto propuesto del SEDP

Las partes en color gris son realmente el sistema propuesto. Las partes claras son entradas en el sistema. En otro enfoque el flujo de información en el proceso de diagnóstico y predicción de mal comportamiento de obras hidráulicas se puede interpretar de la siguiente forma:

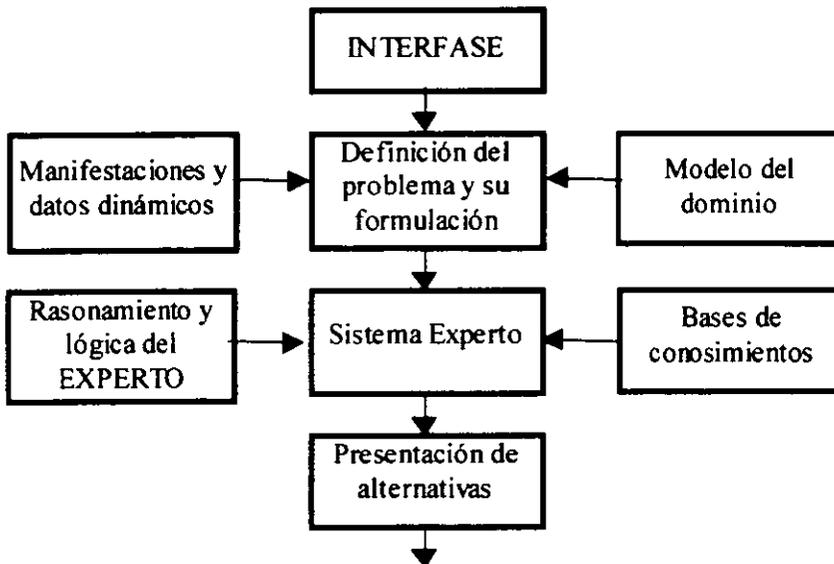


Figura 2-3. El flujo de información en el proceso de diagnóstico y predicción de mal comportamiento de obras hidráulicas

La INTERFASE permitirá al usuario formular su pregunta al sistema en términos entendibles y familiares. Después, usando la misma INTERFASE, el usuario con ayuda del sistema define el problema. En este momento dos fuentes de información deben ser utilizadas: la caracterización de situación y la descripción del dominio (modelo del dominio).

La caracterización de situación se realiza a través de definiciones simbólicas para describir condiciones específicas de la situación. Las manifestaciones de defectos en comportamiento de obras hidráulicas encajan perfectamente aquí. Después, el sistema experto esta listo para el razonamiento. Teniendo esta lógica se pueden brindar los siguientes beneficios.

- El Sistema Experto ayudará a almacenar y manejar la información en forma organizada y estructurada. El usuario no debe tener experiencia en el manejo de datos.
- El Sistema Experto ayudará a la persona con experiencia a recordar las opciones o aspectos que conoce, pero que olvidó considerar.
- El Sistema Experto ayudará al experto a tomar decisiones en términos de tiempo y esfuerzos físicos indispensablemente cortos.
- Con el uso de herramientas de desarrollo comunes se puede realizar el diseño en un tiempo relativamente corto.

2.3. Definiciones

2.3.1. Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos

El estudio de la inteligencia es una de las disciplinas más antiguas. Por más de 2000 años, los filósofos se han esforzado por comprender cómo se ve, aprende, recuerda y razona, así como la manera que estas actividades deberían realizarse.

La llegada de las computadoras a principios de los años cincuenta permitió pasar de la especulación, en torno a estas facultades mentales, a su abordaje mediante una auténtica disciplina teórica y experimental. En opinión de muchos, los nuevos cerebros electrónicos, tendrían un ilimitado potencial de inteligencia; "más rápido que Einstein" era el comentario de la época. Pero así como sirvió para crear entidades inteligentes artificiales, la computadora también ha sido una herramienta para probar teorías sobre la inteligencia. La Inteligencia Artificial ha resultado ser algo mucho más complejo de lo que muchos imaginaron al principio, porque las ideas modernas relacionadas con ella se caracterizan por su gran riqueza, sutileza y lo interesante que son.

En la actualidad la IA abarca una enorme cantidad de subcampos, desde áreas de propósito general, como el caso de la percepción y del razonamiento lógico, hasta tareas específicas, como el ajedrez, la demostración de teoremas matemáticos, la poesía y el diagnóstico de enfermedades. No es raro que los científicos de otros campos vayan gradualmente incursionando en la IA, un área que cuenta con herramientas y vocabularios que a estos científicos les facilitan sistematizar y automatizar todo el trabajo intelectual que les ha ocupado buena parte de sus vidas. Por otra parte, a aquellos que laboran en la IA se les ofrece la opción de aplicar su metodología en cualquier área que tenga que ver con las tareas del intelecto humano. En este último sentido, la IA es un campo genuinamente universal.

2.3.1.1. ¿ Que es Inteligencia Artificial?

No hay una definición única de inteligencia, sin embargo se puede decir que la definición más aceptada es: "La ciencia que se encarga del estudio de la conducta inteligente". Según esta definición se puede decir que la IA tiene dos metas: como ciencia, su meta es generar una teoría que explique el comportamiento en seres que son naturalmente inteligentes (animales, hombre); por otro lado, como ingeniería, su meta es crear máquinas y sistemas con comportamiento inteligente, es decir que emule y/o simule a los entes inteligentes.

El campo de la Inteligencia Artificial ha florecido en la última década por la búsqueda puramente académica y la práctica tecnológica. La definición académica de IA estipula que: Inteligencia Artificial es el subcampo de la ciencia computacional que se enfoca en la habilidad de las computadoras a manipular símbolos no numéricos e inferir nuevos hechos a los ya conocidos.

La meta de estas ideas es utilizar hardware, software y las teorías, para hacer las computadoras más útiles. En otras palabras, IA puede ser considerada como: Un grupo de técnicas de solución de problemas o herramientas que emulan el pensamiento humano, ayudando a incrementar el conocimiento, al proceso de la productividad, o ayudando a tomar decisiones. El término de inteligencia artificial cubre un amplio rango de las áreas de conocimiento humano.

Los sistemas de conocimiento son sistemas de software que han estructurado el conocimiento en el campo de la pericia. Ellos son capaces de resolver algunos problemas dentro de su dominio usando el conocimiento derivado de los expertos en el campo.

Los sistemas de conocimiento usan símbolos para representar conceptos, los cuales son manipulados usando diferentes técnicas. Esto enfatiza la interpretación de datos.

Todas las definiciones de sistemas de tecnología de Inteligencia Artificial se pueden agrupar en cuatro categorías:

- **Sistemas que "piensen" como humanos:** "La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen...máquinas con mente, en su amplio sentido literal" (Haugeland, 1985). "La automatización de actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje..."(Bellman, 1978).
- **Sistemas que "actúan" como humanos:** "El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que realizadas por personas requieren de inteligencia (Kurzweil, 1990). "El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor" (Rich y Knight, 1991).
- **Sistemas que "piensan" racionalmente:** "El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales" (Charniak y McDermott, 1985). "El estudio de los cálculos que permiten percibir, razonar y actuar" (Winston, 1992).
- **Sistemas que "actúan" racionalmente:** "Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales"(Schalkoff, 1990). "La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente"(Luger y Stubblefield, 1993).

Se puede observar en estas definiciones enfoques centrados en los humanos (eficiencia humana) y los centrados en la racionalidad (inteligencia ideal). El enfoque centrado en el comportamiento humano constituye una ciencia empírica, que entraña el empleo de hipótesis y de la confirmación mediante experimentos. El enfoque racionalista combina matemáticas e ingeniería.

2.3.1.2. Sistemas "Inteligentes"

Un Sistema Inteligente es un programa de computadora que usa el conocimiento de un dominio de aplicación y métodos de inferencia, como elemento principal de solución de problemas. El conocimiento puede ser heurístico o técnico. El conocimiento técnico es el que está basado en principios científicos y técnicos, conocimientos de ingeniería, matemáticas, etc. El conocimiento heurístico está basado en la experiencia.

Un sistema inteligente emplea una o más técnicas de inteligencia artificial para solucionar algún problema de un dominio específico:

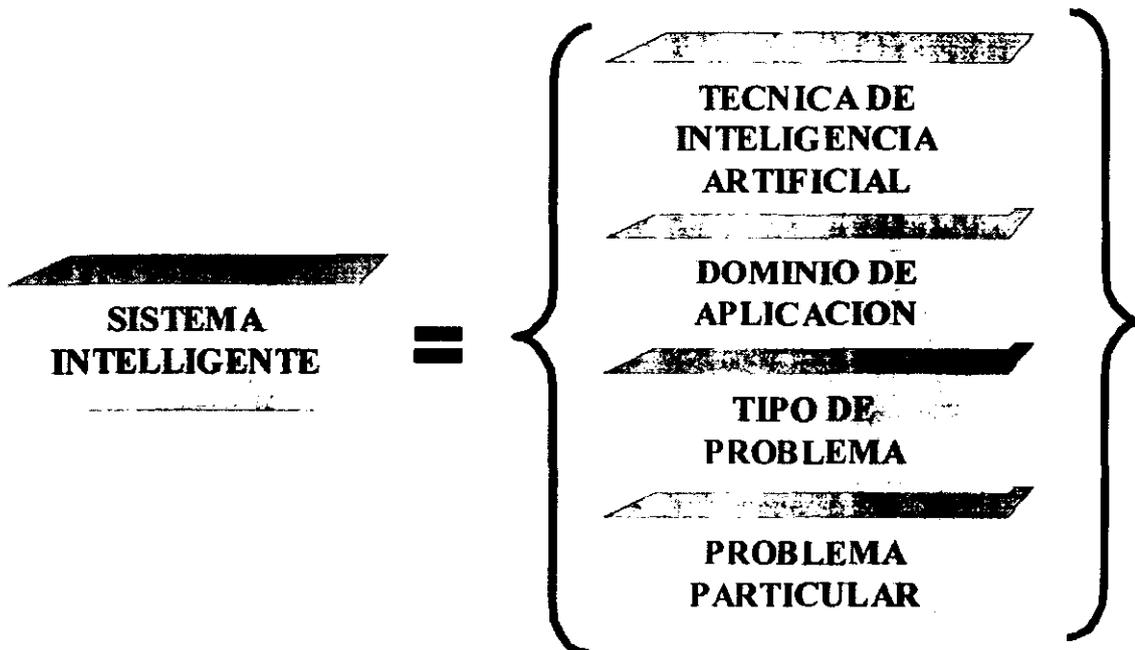


Figura 2-4. Estructura de un Sistema Inteligente

En la Figura 2-4 se pueden observar los siguientes componentes:

- **TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL:** De acuerdo con los objetivos que se han tratado de lograr en los laboratorios y centros de investigación de IA, se han ido desarrollando diferentes técnicas considerando el sistema o proceso natural que se ha querido imitar o simular. Para emular o simular a los sentidos naturales de manera individual se tienen técnicas para el reconocimiento de patrones (vista), reconocimiento de lenguaje natural (oído) y el reconocimiento de texturas o fragilidad de materiales (tacto). Para emular el proceso de razonamiento y aprendizaje se han desarrollado las técnicas de sistemas expertos, redes neuronales, lógica difusa,

razonamiento basado en casos, y algoritmos genéticos. Así también en la actualidad se han desarrollado técnicas que integran diversos aspectos que se cubren en las técnicas individuales. Estas son la robótica, los multimedia y la realidad virtual.

- **DOMINIO DE LA APLICACIÓN:** Se presentan los dominios o áreas científico-tecnológicas donde se vienen desarrollando y aplicando sistemas inteligentes. Pueden ser la industria, medicina, ingeniería en general, educación, administración pública, servicios, etc.
- **TIPOS DE PROBLEMAS:** Los tipos de problemas pueden ser: de diagnóstico, diseño, control, configuración, síntesis, secuenciación, optimización, interpretación, pronóstico, instrucción, simulación, planificación, programación, entrenamiento, etc.
- **PROBLEMA PARTICULAR:** Implica la identificación y limitación de una situación problemática que pueda ser resuelta a través de un sistema inteligente. Se establecen variables y sus relaciones respectivas entre las mismas, tipo de datos, información y conocimiento que se debe manejar. Además se debe conocer ampliamente las posibles soluciones para diferentes situaciones y ofrecer otras no conocidas, dando al sistema la posibilidad de aprender cosas nuevas. El problema puede requerir que la solución sea en el tiempo real.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN SISTEMA INTELIGENTE

- Es un programa para computadora y puede estar integrado a elementos de transferencia y conversión de información.
- Dispone de gran cantidad de conocimiento sobre el problema, fruto de la experiencia.
- Realiza un razonamiento similar al que haría un experto frente al problema.
- Puede operar con datos cualitativos además de cuantitativos.
- Puede razonar y sacar conclusiones a partir de datos incompletos, inciertos, o vagos.
- En algunos casos debe reaccionar de manera inmediata a como se presentan los problemas (en tiempo real), brindando respuestas en un tiempo prefijado.
- Interrumpir una línea de razonamiento para ocuparse de otra y quizá ser capaz de volver a su anterior línea si fuera necesario.
- Razonar sobre la variación temporal de los datos del problema.
- Revisar sus conclusiones ante la llegada de nuevos datos contradictorios con los antiguos.
- Ante la llegada de un nuevo dato, modificar el proceso de inferencia al que dio lugar el valor antiguo del dato.
- Debe tener la capacidad de aprender sobre nuevas situaciones.
- Comprobar que los datos provenientes de distintas fuentes son coherentes y, en caso contrario, escoger el más probable o el más versátil.
- Acceder a módulos escritos en otros lenguajes.
- La posibilidad de comunicarse con otros problemas.
- Trabajar con estados distintos del problema, estudiando la evolución del mismo.
- Posibilidad de operar en ambientes distribuidos.
- Restringir su razonamiento a una determinada área del problema, para acelerarlo (estructura modular y secuencial).

La clasificación de tipos de sistemas inteligentes que se presenta a continuación obedece fundamentalmente a la primacía de la técnica de IA que se emplee.

- **Sistemas simbólicos:** Son aquellos que tratan de emular o simular el razonamiento humano. Dentro de estos prácticamente se incluye el paradigma clásico de la IA, es decir los sistemas expertos.
- **Sistemas conexionistas:** Se basan en las redes neuronales y tratan de modelar los procesos subconscientes y no conscientes (visuales y auditivos). Trabajan a nivel subsimbólico y tratan de tomar modelos congositivos para tratar de simularlos.
- **Sistemas Cognositivos:** Tratan de emular los procesos tal como se desarrollan. Aquí encajan las labores de aprendizaje, instrucción, turoreo, y entrenamiento (sistemas de enseñanza- aprendizaje).
- **Sistemas evolutivos:** Cuando tratan la evolución natural de las especies y problemas. A este grupo pertenecen los algoritmos genéticos.

La Ingeniería del Conocimiento es el alma de la Inteligencia Artificial y en ella se agrupan todas las áreas fundamentales que intervienen en el desarrollo de un sistema experto, ya que de la forma en que se apliquen depende el éxito o fracaso de los mismos.

Tiene que ver principalmente con la adquisición del conocimiento experto para la solución de un problema específico que será programado en el sistema experto, la representación lógica de dicho conocimiento y el desarrollo de programas de razonamiento o inferencia.

2.3.1.3. Sistemas Expertos

Recientemente el área de Pericia Artificial o Sistemas Expertos ha resultado ser una de las más exitosas y útiles de la IA. Una de las principales razones que ha garantizado este éxito es el hecho de que no es un área restringida de la IA, como muchos han pensado. Lejos de esto, los Sistemas Expertos extienden y elaboran los principios y procedimientos básicos que caracterizan la gran mayoría de las restantes áreas de la IA.

Los Sistemas Expertos nacieron cuando se dio cuenta que había por lo menos un aspecto de inteligencia que no se basaba en razonamiento [4]. Un experto que trabaja con un problema en su campo frecuentemente usa el razonamiento muy simple, confiando más en el conocimiento que ganó a través de años de experiencia y entrenamiento. Esto fomentó a investigadores de AI a construir sistemas que aplican mecanismos simples de razonamiento al conocimiento sobre un área muy específica de análisis.

La Universidad de Stanford fue considerada como la institución que desarrolló el primer sistema experto, llamado DENDRAL, esto sucedió a principios de los sesenta. Este sistema se diseñó para determinar la estructura molecular de compuestos desconocidos desde datos espectroscópicos. Sistemas como este pronto llegaron a ser las primeras aplicaciones comercialmente viables de inteligencia artificial.

El término "sistema experto" se refiere al sistema que usa la tecnología contemporánea de computadora para almacenar e interpretar el conocimiento y experiencia de un experto humano en un área específica de interés [3]. Por acceder esta base de datos de conocimiento almacenado en una computadora, un no-experto puede conseguir el beneficio del consejo experto en esa área.

Cualquier dominio de aplicación que requiera de la pericia humana para la solución de problemas se convierte, de hecho, en un escenario probable para la aplicación exitosa de los Sistemas Expertos. Entre estos dominios de aplicación se incluyen la medicina, la biología, la química, la geología, la geofísica, la meteorología, la ingeniería, las operaciones bancarias y financieras, la aeronáutica, las operaciones militares y muchos más.

Diferentes definiciones de Sistemas Expertos han sido propuestas hasta la fecha en la literatura de la IA. Sin embargo, a pesar de los diferentes enfoques y caracterizaciones utilizados en éstas, una base o fundamento común puede ser extraído de todas ellas: un Sistema Experto es un sistema con pericia en la solución de problemas; esto es, un sistema que posee conocimientos acerca de un dominio particular, comprensión de problemas del dominio y métodos de inferencia o razonamiento para manipular este conocimiento y resolver los problemas en la misma forma en que lo haría un experto humano.

El aspecto más obvio de un Sistema Experto es que opera como un sistema interactivo que responde a preguntas, pide aclaraciones, hace recomendaciones y generalmente ayuda en el proceso de adopción de medidas. Para el usuario es una interfase interactiva que distinguiría un Sistema Experto desde cualquier herramienta ordinaria de computadora. Detrás de esta interfase están otras características que no pueden ser obvias a una persona que usa la herramienta.

Las herramientas de Sistema Experto tienen la capacidad para almacenar y navegar tras cantidades importantes de conocimiento. Hay diversos mecanismos usados en el almacenaje y la recuperación de conocimiento. Un Sistema Experto necesita una gran base de conocimientos para ser capaz de abordar cualquier tipo de problema que puede provenir dentro de su área de pericia.

Un Sistema Experto debe tener la capacidad para hacer inferencias lógicas con base en el conocimiento almacenado. Aquí es donde los mecanismos simples de razonamiento usados en los sistemas expertos entran en la jugada, esto es que hace al Sistema Experto "latir". Una base de conocimiento, sin medios de explotar el conocimiento almacenado, es inútil. Esto sería analógico para aprender todas las palabras en un nuevo idioma, sin saber como combinar esas palabras para formar una frase significativa.

Un aspecto único en Sistemas Expertos es que un sistema particular provee a un área relativamente estrecha de especialización.

Un Sistema Experto médico no puede usarse para encontrar fallas en el diseño de un circuito eléctrico. Este enfoque en áreas pequeñas es sólo un resultado de limitaciones tecnológicas.

Como se ha observado anteriormente, la calidad de consejo ofrecida por un Sistema Experto depende de la cantidad de conocimiento almacenada. Cuando el alcance de un Sistema Experto se amplía, es necesario expandir su base de conocimiento. Las metodologías disponibles hoy limitan la cantidad de conocimiento que puede ser almacenado y recobrado en cantidades razonables de tiempo. Por eso, las limitaciones tecnológicas existentes hacen necesario construir Sistemas Expertos que tratan de áreas relativamente estrechas.

Las mejores aplicaciones para Sistemas Expertos son las que comparten con el experto la heurística para resolver problemas. Cualquier campo en que los problemas pueden resolverse usando técnicas puramente numéricas, dentro de períodos razonables de tiempo no es una elección apropiada para el área de un Sistema Experto. El desarrollo de un Sistema Experto para tal campo no puede justificarse porque no habría ninguna ventaja.

Los sistemas expertos han llegado a ser cada vez más populares a causa de su especialización, aunque en un campo estrecho. El tamaño reducido del área convierte la codificación y almacenamiento de conocimiento específico de esta área en un proceso económico. También, como los especialistas en muchas áreas son escasos, y el costo de consultarlos es alto, un servicio de Sistema Experto en cualquier de esas áreas puede ser considerado como una alternativa útil y eficaz en función de los costos a largo plazo.

En realidad un Sistema Experto es un tipo de Sistema Inteligente basado en el Conocimiento, con la particularidad de que todo o parte de este conocimiento es adquirido de la experiencia particular de un experto humano.

2.3.1.4. Anatomía

Para desarrollar un Sistema Experto, es necesario familiarizarse con la manera de como se estructuran.

Un Sistema Experto tiene tres niveles de organización - una base de conocimiento, una memoria de trabajo y un motor de inferencia [5]. Por lo demás, tiene una interfase de éste que permite que el usuario interactue con el sistema. La Figura 2-5 muestra la relación entre estas cuatro partes de un Sistema Experto.

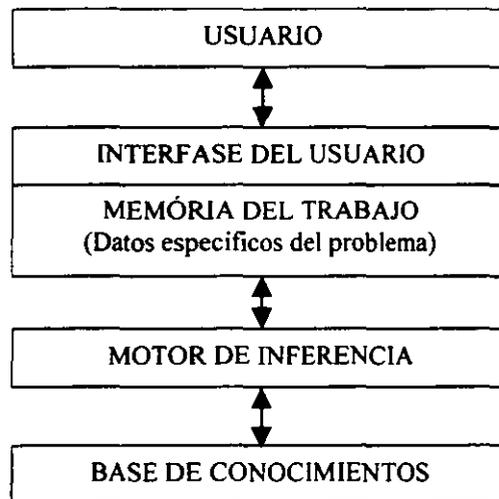


Figura 2-5. Estructura de un Sistema Experto

2.3.1.4.1. Base de Conocimiento

La base de conocimiento es el módulo alrededor de cual se construye un Sistema Experto. Contiene la representación formal de la información proveída por el experto de área. Esta información puede estar en forma de reglas de solución del problema, procedimientos o datos intrínsecos al área. Para incorporar esta información en el sistema es necesario hacer uso de uno o más métodos de representación de conocimientos.

El principal obstáculo en el desarrollo de Sistemas Expertos es el problema de la adquisición de conocimiento [6]. Transferir el conocimiento desde el experto humano a una computadora es frecuentemente la parte más difícil para implementar un Sistema Experto. La habilidad de un experto yace en desempeñar una tarea determinada, no en explicar a los otros como deben hacerlo. Podría suceder también que el experto puede estar poco dispuesto para compartir su conocimiento con otros, temiendo la competencia. Se ha tratado de automatizar el proceso de obtener conocimiento en un intento de resolver este problema.

El conocimiento adquirido del experto humano debe ser codificado de tal suerte que se logre una representación fiel de lo que el experto sabe y pueda ser manipulado por una computadora. Tres métodos comunes de representación de conocimiento que han evolucionado a través de los años son: reglas SI - ENTONCES, frames y las redes semánticas.

2.3.1.4.2. Reglas SI - ENTONCES

Son de la forma: SI - ENTONCES

donde cada una es una condición o la situación, así mismo cada una es una acción o una conclusión; porque los expertos humanos comúnmente tienden a pensar a lo largo de la situación o acción de condición conclusión raya. Las reglas SI - ENTONCES son la forma predominante de codificación de conocimiento en Los Sistemas Expertos.

2.3.1.4.3. Las redes semánticas

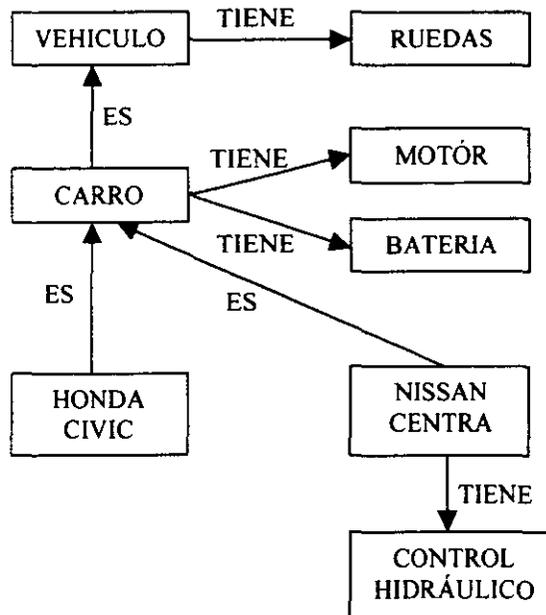


Figura 2-6. Un ejemplo de una red semántica

En esta figura el conocimiento se representa desde el punto de vista de objetos y las relaciones entre objetos. Los objetos se denotan como los nódulos de un diagrama, con la relación entre dos objetos siendo denotados como un nexo entre ellos correspondiendo dos nódulos. La forma más común de redes semánticas usa los nexos entre nódulos para representar relaciones entre objetos (ES – UNAS y TIENE). En el ejemplo mostrado en la Figura 2.2, un automóvil ES – UN vehículo; un vehículo TIENE ruedas. Este tipo de relación establece una jerarquía de herencia en la red, con objetos abajo más inferiores en la red que hereda propiedades desde objetos más altos arriba.

2.3.1.4.4. "Frames"

En esta técnica, el conocimiento se descompone en bloques altamente modulares llamados marcos, que generalizan estructuras de registro. Por ejemplo, el conocimiento puede consistir de conceptos y situaciones, atributos de conceptos, relaciones entre conceptos y procedimientos para manejar relaciones, así como también atribuir valores.

En tal caso, cada concepto puede representarse como un marco separado. Los atributos, las relaciones entre conceptos y los procedimientos se asignan a las ranuras en un marco. Los contenidos de una ranura pueden ser de cualesquiera datos escritos (números, líneas, funciones o procedimientos y así consecutivamente). También los marcos pueden vincularse a otros marcos, proveyendo el mismo tipo de herencia como el adquirido por una red semántica.

Una representación basada en marco encaja idealmente para técnicas de programación orientadas a objetos. La Figura 2.3 contiene los ejemplos de una representación de conocimiento basada en marcos.

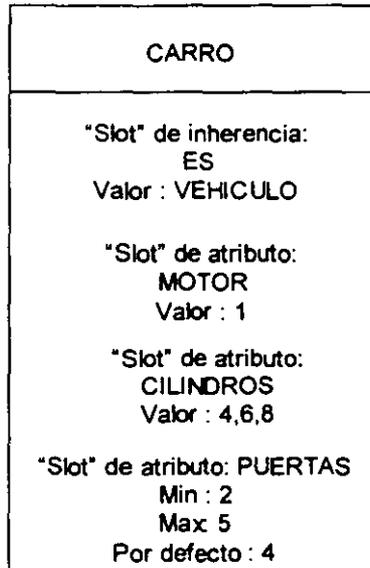


Figura 2-7. Ejemplo de "frame"

No hay ningún sistema de representación de conocimiento que sea óptimo para todas las aplicaciones [7]. El éxito del Sistema Experto depende de elegir el plan de codificación de conocimiento que sea mejor para el tipo de conocimiento en que se basa el sistema.

2.3.1.4.5. Memoria de Trabajo

Este término se refiere a datos específicos para la tarea de un problema. Cada problema en una área tiene algunos datos únicos asociados con él. Estos datos pueden contener un conjunto de condiciones que conducen hasta el problema, sus parámetros, etc. Esta es la única parte de un Sistema Experto que es fluido, o sujeto al cambio rápido. Este tipo específico de datos del problema necesita ser introducida por el usuario al tiempo de consultar el Sistema Experto. Por eso la memoria de trabajo esta estrechamente relacionada a la interfase de usuario del sistema experto, como se ve en la figura 2.1.

2.3.1.4.6. Motor de Inferencia

El motor de inferencia es el mecanismo genérico de control, que aplica el conocimiento axiomático que presenta en la base de conocimientos, a los datos orientados en tarea, para llegar a alguna conclusión. Este es el segundo componente clave de todos los Sistemas Expertos. Una base de conocimientos no es muy útil si no hay medios para navegar a través de ella y manipula los conocimientos para inferir algo desde ella.

Así como una base de conocimiento es comúnmente muy grande, es necesario tener mecanismos de inferencia que realicen la búsqueda en la base de datos e infiera

resultados de una manera organizada. Algunas técnicas para sacar inferencias desde una base de conocimiento se describen aquí.

2.3.1.4.7. Encadenamiento hacia adelante

Consideramos el conjunto siguiente de reglas

Regla 1: SI	A	y	C	ENTONCES	F
Regla 2: SI	A	y	E	ENTONCES	G
Regla 3: SI	B			ENTONCES	E
Regla 4: SI	G			ENTONCES	D

Supongamos que necesita ser probado que D es cierto, cuando A y el B son ciertos. Comenzamos con la Regla 1 y vamos hacia abajo hasta que la regla que es cierta se encuentre. En este caso, la Regla 3 es la única que se dispara en la iteración primera. Al final de esta puede concluirse que A, B y el E son ciertos. Esta información se usa en la segunda iteración. En este tiempo la Regla 2 se dispara agregando la información que G es cierto. Esta información extra ocasiona la Regla 4 para disparar, probando que D es cierta.

Este es el método de encadenamiento hacia adelante, donde se procede desde una situación determinada hacia una que es la meta deseada, agregando nuevas afirmaciones a lo largo del camino. En Sistemas Expertos esta estrategia se asigna especialmente en situaciones donde los datos son difíciles de buscar, pero son pocos en la cantidad.

2.3.1.4.8. Encadenamiento hacia atrás

En este método se comienza con la meta deseada y entonces se intenta encontrar evidencia para probar la meta. Volviendo al ejemplo previo, la estrategia para probar que D es cierta sería como se indica a continuación:

Primeramente, se encuentra una regla que prueba D. La regla 4 hace eso. Esto provee una submeta - para probar que G es cierto. Ahora la Regla 2 entra en la jugada, y como se conoce ya que A es cierta, la nueva submeta está en mostrar que E es cierta. Aquí, la Regla 3 provee la próxima submeta para probar que B es cierta. Pero el hecho que B es cierto es una de las afirmaciones determinadas. Por lo tanto, el E es cierto, lo que implica que G es cierta, y a la vez implica que D es cierto.

El encadenamiento hacia atrás es útil en situaciones donde la cantidad de datos es potencialmente muy grande y donde alguna característica específica del sistema bajo consideración es de interés. Las situaciones típicas son los diversos problemas de diagnóstico, tal como el diagnóstico médico o la búsqueda de falla en el equipo.

2.3.1.4.9. Búsqueda en árbol

Una base de conocimiento puede comúnmente ser representada como un árbol o red de bifurcación. Hay un número grande de algoritmos de búsqueda en árbol disponibles

en la literatura existente. Sin embargo, se consideran aquí únicamente los dos enfoques básicos, específicamente búsqueda profundidad (primera) y búsqueda anchura (primera).

El algoritmo profundidad-primera de búsqueda comienza en un nódulo que representa los datos determinados (encadenamiento hacia adelante) o que representa la meta deseada (encadenamiento hacia atrás). Entonces se verifica si el nódulo localizado más hacia la izquierda (o primero) abajo del nódulo inicial (llamado nódulo A) es un nódulo terminal (ie., es cierto o es una meta). Si no, se establece nódulo A sobre una lista de submetas pendientes. Entonces se comienza con el nódulo A y se analiza el primer nódulo más abajo, y así sucesivamente. Si no hay más nódulos abajo, y un nódulo terminal no se ha alcanzado, se comienza desde el último nódulo sobre la lista pendiente y se toma la próxima ruta de descendencia a la derecha.

La búsqueda anchura-primera comienza por expandir todos los nódulos a un nivel más abajo del nódulo primero. Entonces expande sistemáticamente cada uno de estos nódulos hasta que se alcanza una solución o el árbol se expande completamente. La ventaja obvia de este proceso es que se encuentra la trayectoria más corta desde la afirmación inicial a una solución. Sin embargo, tal búsqueda en los espacios grandes de solución puede conducir a enormes costos computacionales debido a una explosión en el número de nódulos a un nivel bajo en el árbol.

Hay otros métodos de hacer inferencias que usan una combinación de dos o más de las técnicas descritas arriba. Dependiendo del número de hechos determinados y el número de inferencias plausibles, algunos de estos métodos pueden ser mejores que otros desde el punto de vista del tiempo, memoria y costo de la trayectoria de solución.

2.3.1.4.10. Interfase de Usuario

Una máquina que se diseña para modelar el comportamiento de las necesidades de expertos humanos debe ser equipada con medios que permitan la interacción cercana entre la máquina y sus usuarios. Un Sistema Experto real debería tener una interfase de usuario diseñada para operar a un nivel parecido a la conversación común. La interfase de usuario debe permitir a éste introducir los datos relevantes del problema. Esta facilidad no debe ser usada simplemente para obtener el conocimiento inicial sobre el caso. Una vez que el conocimiento inicial se equipara con la base de conocimiento, el usuario debe tener una oportunidad de proveer información que pueda llenar cualquier brecha encontrada en el conocimiento. La eficacia de esta interfase puede determinar la calidad de respuesta del sistema.

Un sistema experto ideal debe permitir al usuario participar activamente durante una consulta. Un usuario inteligente debería ser capaz de modificar la corriente de la interacción por la información voluntaria que no se ha pedido, o explícitamente ordenando al Sistema Experto considerar una línea alterna de razonamiento. Un usuario que desea aprender sobre el tema puede pedir explicación al sistema experto por qué se sigue una línea de razonamiento o como se alcanzó una cierta conclusión. Un usuario puede desear también examinar la base de conocimiento usada por el sistema experto, y el sistema debe permitir que esto se haga.

Un Sistema Experto (SE) puede no solamente llegar a soluciones o recomendaciones, sino debe ser capaz de dar al usuario un nivel de confianza sobre la solución o recomendación, porque la calidad de los datos disponibles de un problema afecta la calidad de la solución. El usuario puede proveer un nivel de confianza de los datos de aporte para ayudar al sistema a determinar el nivel de confianza para su respuesta.

La viabilidad comercial de un proyecto de Sistema Experto depende mucho de la interfase del usuario. Un sistema experto no debe simplemente ser inteligente, pero debería sino que también debe verse inteligente a fin de generar interés.

2.3.2. Bases de datos

2.3.2.1. Introducción

El SE deberá analizar los conocimientos procesando los datos de dominio. Su objetivo será ayudar a formular hipótesis e interpretar los datos de los instrumentos (encontrar el significado de los datos de entrada) o los introducidos por los usuarios. Para lograrlo se tiene que almacenar y utilizar conocimientos heurísticos o reglas y hechos basados en la experiencia y en el criterio de los expertos, y la combinación de teorías científicas, métodos experimentales y algoritmos computarizados. Esta base de conocimiento contendrá la información que concierne al problema.

Entre las metas para procesar los conocimientos el experto debe de acceder a los bancos de datos que contiene la información (incluyendo todos aquellos planos o figuras que correspondan al tema) relacionada con el problema, de manera que se podrá realizar cualquier consulta en forma ordenada y precisa, además debe ser apoyado por captura, actualización y reportabilidad de dicha información. Como se ve, las bases de datos son partes importantes para un Sistema Experto.

El diseño de bases de datos se refiere al proceso de organizar los campos de datos necesarios para una o más aplicaciones, poniéndolos en una estructura organizada, la cual debe propiciar las relaciones necesarias entre los campos cumpliendo al mismo tiempo con las restricciones físicas del sistema específico de manejo de base de datos que se esté utilizando

2.3.2.2. Conceptos de Base de Datos. Objetivos de una base de datos

La base de datos puede definirse como una colección de datos interrelacionados almacenados en conjunto sin redundancias perjudiciales o innecesarias; su funcionalidad es la de servir a una aplicación o más, de la mejor manera posible. Los datos se almacenan de modo que resulten independientes de los programas que los usan; se emplean métodos bien determinados para incluir datos nuevos y para modificar o extraer los datos almacenados. Dícese que un sistema comprende una colección de datos cuando estos son totalmente independientes desde el punto de vista estructural. La idea básica en la implantación de una base de datos es la de que los mismos datos deben ser aprovechados para tantas aplicaciones como sea posible.

Por eso, la base de datos se concibe a menudo como un repositorio donde se reúne la información necesaria para el ejercicio de las funciones propias de un organismo. Una base de datos permitirá la lectura de los datos almacenados y la modificación de los que son necesarios para el control de las operaciones.

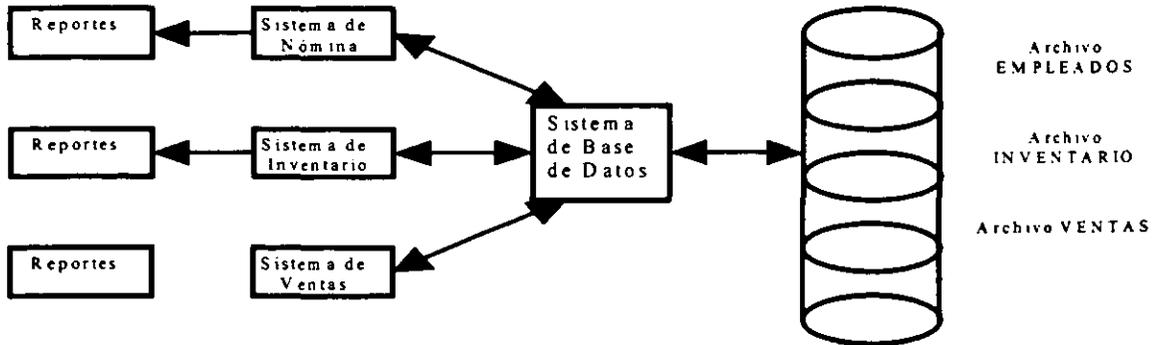


Figura 2-8. Sistema de Base de Datos

2.3.2.3. El sistema de base de datos

Tres componentes imprescindibles están involucrados en un sistema de base de datos: el usuario y sus programas de aplicación; el sistema administrador de la base de datos (SABD); y, la base de datos misma.

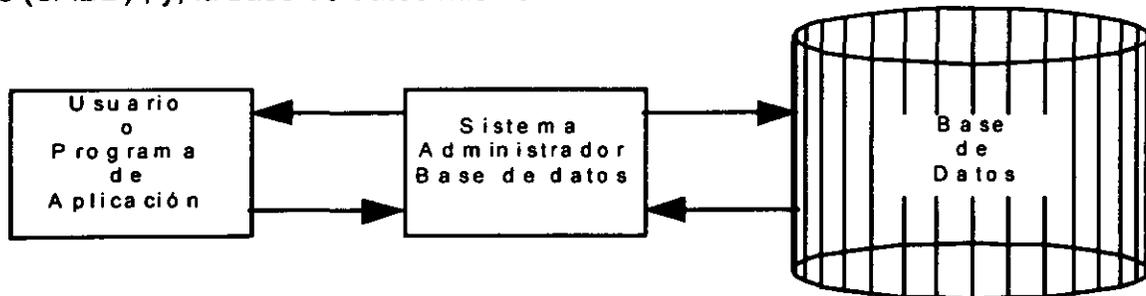


Figura 2-9. Sistema administrador de la base de datos (SABD)

2.3.2.4. Los usuarios

Los usuarios pueden interactuar con el sistema de base de datos directamente o a través de programas de aplicación.

Cuando los usuarios interactúan directamente con el sistema, utilizan instrucciones conocidas como lenguaje de consulta o pueden usar lenguaje natural; también es posible usar generadores de reportes para usuarios.

Los programas de consulta proveen los medios para crear referencias a la base de datos. Se encuentra entre el usuario del sistema y la base de datos.

Puede usarse un lenguaje orientado al usuario para que éste puede expresar la consulta al sistema. La mayoría de las consultas pueden ser diseñadas por el usuario; sin embargo, el sistema deberá ser capaz de comunicarse con el lenguaje de programación, ejemplo: Cobol, C, Pascal, etc.) Esta interfaz con lenguajes de alto nivel se utiliza para consultas más complejas.

Existen tres modalidades en que los usuarios, directa o indirectamente, operan con el sistema de base de datos: definición, acceso y mantenimiento.

- **Definición:** El usuario define la base de datos especificando los formatos de los datos y las relaciones entre estos datos. Finalmente la base de datos es cargada llenando la estructura definida con los datos.
- **Acceso:** Los usuarios accesan los datos requiriendo al sistema de base de datos para recuperar porciones de la base de datos. Los accesos pueden ser directos y simples, (por ejemplo usando un valor de llave), o pueden ser indirectos y complejos.
- **Mantenimiento:** Los usuarios mantienen la base de datos haciendo modificaciones y actualizándola. Los datos pueden ser añadidos, borrados o cambiados.

2.3.2.5. Sistema administrador de la base de datos (SABD)

Una de las más importantes herramientas para implementar la base de datos es el sistema administrador de la base de datos, el cual actúa como la interfaz entre los programas de aplicación o los usuarios y los datos que ellos procesan. Un SABD provee:

- Definición, representación y almacenamiento de datos de manera que puedan ser accesados posteriormente.
- Organización de datos, de modo que puedan ser accesados selectiva y eficientemente.
- Interfaz entre los usuarios y los datos a fin de dar soporte eficiente para la toma de decisiones.
- Protección de los datos, incluyendo seguridad, recuperación, control de acceso compartido y mecanismo de protección de integridad.

El SABD mantiene una descripción almacenada de la estructura de la base de datos y su contenido; así, un programador de aplicaciones no necesita recodificar esta descripción.

2.3.2.6. La base de datos

Toda la información de interés para los usuarios del sistema esta representada, en su conjunto, por la base de datos. Es una colección de datos altamente estructurada que puede ser direccionada o referenciada de una manera completa. El elemento esencial de la base de datos es el registro. Un registro consiste en un número de campos que pueden ser fijos o variables respecto a su longitud. Además, hay tres categorías de datos que pueden aparecer dentro de un registro:

- a) Contenido
- b) Índice de datos
- c) Estructura de datos

Contenido es la información de la base de datos que ha sido codificada como dato, mientras que la segunda categoría, índice de datos, es usada para distinguir un registro o varios registros de los demás en la base de datos.

La tercera categoría, estructura de datos, provee los medios para expresar relaciones entre la información representada en el registro como contenido. Representa los apuntadores, ligas o cadenas que vienen a ser la base para construir relaciones dentro de la base de datos.

2.3.2.7. Los modelos de datos

Los modelos jerárquico y reticular han sido utilizados como estructuras básicas de los sistemas de manejo de bases de datos hasta el principio de la década de los setenta, mientras que el modelo relacional se propuso con el mismo fin a principios de los setentas. La principal diferencia entre los tres modelos esta en la manera en la que representan las relaciones de los datos

En el modelo relacional, los conjuntos de datos y sus relaciones se presentan con tablas bidimensionales. Cada tabla representa una entidad y esta compuesta de renglones y columnas.

El modelo jerárquico está compuesto por una jerarquía de conjuntos de datos que implican un tipo de conjunto de datos dominantes y uno o más tipos de conjuntos de datos subordinadas en los niveles más bajos. La relación que se establece entre un tipo de conjunto de datos dominante y uno subordinado es uno a varios. Así las relaciones entre los conjuntos de datos son similares a las de una jerarquía de árbol genealógico, con la diferencia de que para cada hijo sólo hay un padre.

En el modelo reticular cualquier conjunto de datos puede ser dominante o subordinado, además un conjunto de datos puede fungir simultáneamente como propietario y/o miembro de esta forma cualquier conjunto de datos puede participar en un número ilimitado de relaciones.

Las bases de datos relacionales para el modelado de datos usan el modelo entidad relación.

2.3.2.8. Modelo Relacional. Modelo Entidad – Relación

El modelo de datos entidad-relación (ER) se basa en una percepción del mundo real que consiste en un conjunto de objetos básicos llamados entidades y las relaciones entre estos objetos. Se desarrolló para facilitar el diseño de bases de datos, permitiendo especificar un esquema empresarial. Este esquema representa la estructura lógica de los

datos.

El método entidad relación es una metodología estructurada que sistemáticamente convierte los requerimientos del usuario en una base de datos bien diseñada. Este enfoque afirma que uno de los resultados del análisis de sistemas es una comprensión clara de cuáles son las entidades incluidas.

El enfoque entidad-relación utiliza diagramas de entidad – relación.

2.3.2.9. Conceptos de Entidades, Atributo, Dominio, Relación e Identificador Único

Una entidad puede ser un objeto tangible o algo intangible. Es una cosa que existe y es distinguible. Llamamos entidades a las cosas sobre las cuales se almacena información.

Toda entidad tiene propiedades que eventualmente conviene registrar, tales como color, valor o nombre.

Una entidad puede ser concreta (una persona, un libro) o abstracta (como un día festivo o un concepto).

Es un objeto del cual obtenemos información.

Un grupo de entidades similares forman un conjunto entidad, y a las propiedades de las entidades se les llaman atributos. Es algo que describe al objeto.

Una entidad esta representada por un conjunto de atributos. Para cada atributo existe un conjunto de valores permitidos, llamado dominio del atributo. Por ejemplo: El dominio del atributo nombre podría ser el conjunto de todas las cadenas de texto de cierta longitud. De manera similar, el dominio del atributo número podría ser el conjunto de todos los enteros positivos.

Formalmente, un atributo es una función que mapea un conjunto de entidades a un dominio. Así cada entidad se describe por un conjunto de parejas (atributo, valor del dato), una pareja para cada atributo del conjunto de entidades.

Una variable en los lenguajes de programación corresponde al concepto de entidad en el modelo E-R. Por tanto, una base de datos incluye una agrupación de conjuntos de entidades, cada uno de los cuales contiene cualquier número de entidades del mismo tipo.

Una relación es una asociación entre dos entidades.

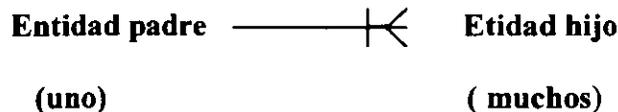
Un identificador único (UID) es una combinación de atributos o relaciones o ambos que ayudan a disminuir una ocurrencia de una entidad.

Cada una de las ocurrencias debe ser única e identificable.

b) Relación uno - a - muchos.

Una relación entre entidades es uno - a - muchos si la ocurrencia de una entidad está relacionada con ocurrencias múltiples de la otra entidad. Ejemplo: la relación de datos entre las entidades clase y estudiante, es uno - a - muchos porque una clase tiene muchos estudiantes, pero cada estudiante puede asociarse sólo con una clase.

La relación uno - a - muchos se denota como sigue:



Una sola punta en el lado "uno" que apunta hacia la entidad padre y una triple punta en el lado "muchos" que apunta hacia la entidad hijo.

Los valores de atributos duplicados en una relación se pueden factorizar para crear otra relación por separado y tratar de minimizar los datos redundantes. El valor factorizado fuera de varios registros queda ahora en relación uno - a - muchos con respecto a sus antiguos campos.

La relación uno - a - muchos puede implementarse físicamente dentro de una organización de alto nivel por medio de señaladores, índices o combinación de ambos.

Si se enlazan dos archivos con índices, el campo común debe estar contenido en ambos tipos de registros padre e hijo. El campo común en el registro padre debe ser una clave principal mientras que en el campo hijo (también llamado campo de conexión o una clave externa, foreign key) es una clave secundaria, la cual es indicada por la barra. Así, la relación entre una entidad padre y una hijo es uno - a - muchos.

c) Relación muchos - a - muchos.

Una relación muchos - a - muchos entre entidades sucede cuando se puede asociar una ocurrencia en una entidad con muchas ocurrencias en la otra entidad, o viceversa. Por ejemplo, la relación entre profesores y estudiantes es muchos - a - muchos porque un profesor enseña a muchos estudiantes y un estudiante puede tener distintos profesores. Una relación muchos - a - muchos no se puede implantar directamente. Por ejemplo, del contenido de los archivos maestros y estudiantes, no se puede determinar cuáles estudiantes son enseñados por cuál maestro o viceversa.

Aunque la relación muchos - a - muchos no se puede implementar directamente entre dos grupos de entidades, se puede reducir a relaciones uno - a - muchos insertando un registro de tipo conexión.

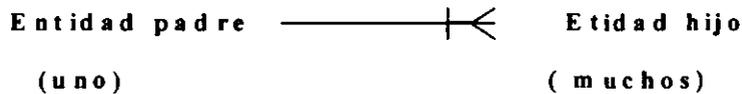
Un registro tipo conector contiene un identificador (esto es, una clave principal) para cada dos tipos de registro que une. Se inserta un campo conector para establecer una

relación entre maestros y alumnos. El registro tipo conector contiene dos campos de conexión, cada uno de los cuales corresponde respectivamente a la clave principal de maestros y estudiantes. A través del archivo conector se podrá ver qué estudiantes son alumnos de cualquier profesor y los profesores que dan clase a cada alumno.

Un registro conector puede contener otros atributos además de los campos de conexión.

De hecho, puede ser una entidad común que contiene campos de conexión para enlazar registros y otros atributos que describen la entidad.

Dos entidades pueden relacionarse de forma muchos - a - muchos indirectamente, si ambas se relacionan con otra entidad de forma uno - a - muchos, de aquí que se demuestra la inferencia que se puede hacer entre dos entidades no enlazadas en una relación muchos - a - muchos si las dos entidades están conectadas a la misma entidad de conexión.



**“... lo que tenemos que aprender a hacer, aprendemos haciéndolo ...”
Aristóteles**

3. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO PARA DIAGNÓSTICO Y PREDICCIÓN

3.1. Planteamiento del problema

3.1.1. Estudio del dominio

En la “Introducción”, en los capítulos “La Problemática de mal funcionamiento de las obras hidráulicas” y “Seguridad de las obras hidráulicas” fue descrito el estudio del dominio y composición de algunas definiciones de los problemas de obras hidráulicas. Además fueron analizadas algunas características específicas de las presas de México, y sus propiedades comunes.

En los capítulos “Demanda y Relevancia de Solución” y “Objetivos de Investigación” de la “Introducción” fue descrito el estudio de las limitaciones y escases en tecnología de operación y mantenimiento de presas, así como evaluación y formulación de las necesidades de investigación.

3.1.2. Identificación del problema (Formulación de concepto)

3.1.2.1. Introducción

Un concepto (patrón o modelo) es una representación para un modelo interno que los humanos piensan acerca de algo. Pobremente definido en la mayoría de los libros, es esencialmente el estilo de entrenamiento de pensamientos que un experto utiliza para razonar sobre un problema. Es un concepto simple que ha llegado a ser muy complejo en la comunidad de IA. Los conceptos o paradigmas hacen la mecánica esencial de pensar claro sin aventurarse dentro de una clásica psicología de cognición. Ejemplos de algunos de estos tipos de conceptos son:

- Clasificación
- Diagnósis
- Hipótesis y prueba
- Colisiones
- Diseño y configuración
- Planeación

Cuando se hace la entrevista del experto y se hace la estructuración del sistema es útil pensar en términos de un concepto. Saber los conceptos ayuda a enfocarse en problema durante las entrevistas y hace más fácil estructurar los conocimientos del experto (la diferencia entre las investigaciones dirigidas e investigaciones no dirigidas). Esto también ayuda a dibujar asociaciones en los comentarios de los expertos y ayuda a realizar preguntas guiadas. Conociendo los conceptos se pueden estructurar los conocimientos del experto y dividir los casos, pruebas y validar el sistema.

En el proceso de creación del Sistema Experto propuesto fueron utilizados los siguientes conceptos:

- **CLASIFICACIÓN** - el proceso de separación de lo correcto o la mejor alternativa de las demás selecciones. Esto es un ejercicio de escoger uno por uno. La clasificación es un fácil paradigma de perseguir por que su meta es identificada por un patrón general o tendencia.
- **DIAGNÓSTICO** - réplica del paradigma de clasificación porque su meta era identificar una causa detallada de mal funcionamiento y el efecto como una relación de componente de modelo del dominio. Por estar enfocado a causa y efecto, el paradigma de diagnóstico es más fácil de representar en forma de árboles de decisiones o tablas de decisiones.
- **HIPÓTESIS Y PRUEBA** - es el concepto de identificar el mejor curso o el curso de acción después de comparar la acción producida con resultado deseado. Si el resultado deseado resulta no ser alcanzado, se puede continuar tratando nuevas estrategias. Operacionalmente, la hipótesis y prueba funcionan como híbrido entre clasificación y diagnóstico y prueba situacional; se hace el mejor juicio posible con los hechos disponibles, después procede asumiendo que la respuesta fue correcta.

En varias etapas de trabajo se utilizaron diferentes combinaciones de los conceptos mencionados. En el trayecto de preparación de base de conocimientos para diagnóstico y predicción del mal comportamiento de obras hidráulicas finalmente se utilizó el concepto de HIPOTESIS Y PRUEBA.

3.1.2.2. Concepto del Sistema Experto - Diagnóstico y predicción de mal comportamiento de obras hidráulicas

Los sistemas de Inteligencia Artificial basados en arquitectura de reglas "sí - entonces" son fuertemente orientados hacia la clasificación y el diagnóstico por causa y efecto. Todos los demás conceptos pueden ser definidos en términos de clasificación y diagnóstico. La arquitectura de causa y efecto facilita la validación de las reglas de producción pruebas, y mantenimiento de los Sistemas Expertos.

Por consiguiente los sistemas de conocimiento codificados como clasificación - diagnóstico en programas basados en reglas de producción se realizan mejor que el mismo sistema basados en otras formas de representación de conocimiento.

El SEDP por medio de información obtenida a través de la interfase con usuario, utilizando la base de conocimientos (basandose en reglas de producción), intenta clasificar cual de los fenómenos (objetos) provocan malfuncionamiento.

La base de reglas de manifestaciones (síntomas) utiliza ciertos factores para formar una agenda y determinar el orden y prioridad por el cual se examina el potencial de los objetos defectuosos. Una agenda administradora (o mecanismo de "cola") llama a los otros módulos como expertos separados y consulta su "consejo". La respuesta del usuario puede alterar el curso de la sesión. Esta habilidad de alterar el curso de la sesión es algunas veces llamada procesador de agenda o iniciativa mezclada.

En conclusión, el SEDP utiliza el concepto de clasificación de causas a fin de poder realizar el proceso de diagnóstico de mal comportamiento de obras hidráulicas. En la predicción se trata del mismo proceso de clasificación pero en este caso se trata de posibles consecuencias de mal comportamiento.

Otra conclusión importante es que realizar esta tarea es más fácil usando un sistema de conocimientos codificados en forma de reglas de producción.

3.1.3. Determinación de requerimientos

3.1.3.1. Selección de "software" y "hardware"

3.1.3.1.1. Introducción

Codificar sistemas de conocimiento en lenguajes convencionales es mucho más difícil y el código resultante no es fácil de mantener. Las relaciones del conocimiento tienden a perderse en la representación por el extenso código requerido. Los programas de sistema de conocimiento representan la relación del conocimiento en una manera más fácil de comprender y mantener.

Tabla 3-1

PROGRAMACIÓN CONVENCIONAL	PROGRAMACIÓN EN I.A.
Procesan datos y dan información	Procesan conocimientos y dan conclusiones
Usan lenguajes procedurales	Usan lenguajes simbólicos
Usan algoritmos	Usan reglas heurísticas
Usan ciclos, secuencias y decisión	Usan reglas de inferencia
Accesan bases de datos	Accesan bases de conocimientos
Están centrados en el analista y el programador	Están centrados en el experto y el usuario
Manejan datos determinísticos	Dan conclusiones con información incierta o incompleta
Se usan principalmente en áreas de tipo administrativo	Se pueden usar en todas las áreas funcionales de la empresa
Delimitan el alcance de la función de informática a los sistemas de información y tecnología computacional existente	Extienden el alcance de la función e informática y permiten definir nuevas estrategias

Según lo que se resume en la Tabla 3-1, un programa tradicional o convencional esta basado en datos numéricos, corre en forma secuencial y necesita de conocimientos precisos que raramente se modifican. La solución a la que llegan se basa en la combinatoria y es considerada óptima. Este tipo de programas no pueden explicar ni justificar los pasos que siguen, ni la solución a la que llegan, y por último, no poseen la capacidad de realizar pequeños prototipos rápidamente.

Para construir su propio programa existen muchos obstáculos a superar. Hay que tener recursos, las habilidades de personal para desarrollar un programa y, seguro, el tiempo para hacer lo apropiado. El tiempo y el costo de desarrollo de su propio programa puede ser no justificado si la herramienta ya existente puede cumplir las mismas funciones.

Para el desarrollo de sistemas de conocimiento es más favorable usar "cascarones" orientados a reglas ya hechos. Ellos son una herramienta valiosa de productividad e incrementa la facilidad de desarrollo y mantenimiento de los sistemas. "Los cascarones" son de alguna manera un código reutilizable. Ellos proporcionan preconstrucciones, utilidades esenciales tales como interfases del usuario, generador de reportes, y la parte del programa que escanea, selecciona y aplica reglas y datos. Esto permite desarrollar concentración en la programación del conocimiento. ¿Por qué empezar a rascar cuando el 80% de las aplicaciones pueden ya estar construidas? Los "Cascarones" orientados a reglas son equivalentes a la generación de la base de datos y otras herramientas similares, las cuales han llegado a ser extremadamente populares en las organizaciones de la ingeniería del "software". El programa sostiene los datos del diccionario, memoria de trabajo, cálculos repetitivos, funciones de entrada/salida, auditan y recubren funciones, etc. automáticamente y por debajo del suelo. Proporciona realmente todo al sistema y son contruidas cuidadosamente hacia el conocimiento en áreas subjetivas.

El beneficio de utilizar programas ya hechos incluye el mejoramiento de la productividad, facilita el desarrollo y mantenimiento, así como el apoyo y el entrenamiento del vendedor. El uso del programa puede disminuir significativamente el costo y desarrollo en el tiempo de proyecto. Podría tomar varios años lograr productividad con cualquier lenguaje con bajo nivel, tal como el LISP. El bajo nivel de lenguaje involucra el codificar con rutinas primitivas para llevar a cabo las funciones que ya existen en el programa. El programa provee una estructura de desarrollo de sistemas y su alimentación consiste en el uso de conceptos y terminología. Esto es especialmente valioso cuando más de una persona está involucrada en el desarrollo del sistema, como equipo de desarrollo. Esto también hace al sistema más fácil de mantener porque es modular.

Otra consideración de usar "cascarón" orientado a reglas es que él posee lenguaje altamente orientado. El Sí y ENTONCES, la causa y el efecto natural de las reglas, es más intuitivo para la gente. Esto lo hace más fácil de aprender y el entrenamiento puede llegar a ser productivo en poco tiempo.

El programa seleccionado debe proporcionar toda la funcionalidad que será requerida y asimismo representación de esquemas apropiados a la aplicación. El programa que seleccionó debería tener un adecuado desarrollo de interfases y utilidades. Las habilidades del personal de usar un programa ya existente serán directamente afectadas por el tipo de interfases que proporciona. No se debe asumir que por el hecho de que el "demo" se ve bien, esa herramienta será fácil de utilizar. Técnicamente, el programa debería adaptarse a las necesidades del desarrollo y envío del ambiente, por lo tanto debe integrarse bien a este. Las técnicas de interfases afectaran la eficiencia del programa. Finalmente hay que asegurarse de que el control del sistema sea apropiado para el nivel de sofisticación del usuario.

Se pueden crear todos los registros, banderas y el código de programación recursiva para habilitar una computadora a procesar su base de conocimientos y explorar múltiples hipótesis en expresiones de conocimiento, pero el propósito de un programa-"cascarón" es proporcionar todas las funciones y procedimientos que se construyen. En caso de un "cascarón" solamente se tiene que proveer la base de conocimientos y metas, la herramienta determina como usar el conocimiento para llegar a la meta. Por estas razones la selección es a favor de un "cascarón".

Algunos sistemas de conocimiento (no todos) pueden desarrollarse muy rápido y también económicamente. Un sistema "toy" puede ser pequeño en términos de esfuerzo de desarrollo y de alcance en su funcionalidad, pero podría todavía tener efectos significantes en las operaciones y en los costos. El tamaño del sistema es irrelevante al tomar la determinación de que valga la pena o no la solución del problema.

Cuando esta programado apropiadamente el sistema, las herramientas de PC pueden crear sistemas bastante grandes. Las referencias de los sistemas de PC como sistemas "toy" son usualmente hechos al observar el tamaño y la velocidad del sistema. Una PC es capaz de manejarse con miles de reglas.

3.1.3.1.2. Selección de "software"

Como herramientas de desarrollo del Sistema Experto propuesto fueron seleccionados dos "cascarones" para los siguientes etapas:

Para la etapa Desarrollo del Prototipo y ajuste de reglas de producción – "cascarón" LEVEL 5 OBJECT con apoyo de programación en Visual Basic.

Level 5 Object usa un lenguaje de alto nivel llamado PRL (Production Rule Language). El PRL está diseñado para ser simple de aprender y leer, y tiene una sintaxis muy parecida a la utilizada por el idioma Inglés natural. Aunque el personal encargado del diseño rara vez verá este código a causa de que prácticamente todo el proceso de desarrollo es a través de editores interactivos, este código esta ahí para proporcionar al desarrollador un máximo de flexibilidad y precisión cuando realice una aplicación. Todos los elementos que son creados a través de estos editores interactivos, pueden ser expresados en términos del lenguaje PRL.

Level 5 Object contiene acceso *ya-construido* (built-in) para más de 60 bases de datos y servidores locales y remotos, acceso a los formatos de bases de datos locales más comunes y servidores SQL (Structured Query Language), interfaces a programas externos, paradigmas de comunicación, archivos de texto, contadores de tiempo y opciones de interfaz personalizada.

Level 5 Object es un verdadero cascarón de Sistema Experto. Se puede usar para crear aplicaciones "inteligentes". Puede resolver problemas de la vida real que no puede ser resuelto por otros medios, usando reglas simples que puedan razonar o reconocer patrones, y que puedan reaccionar a situaciones dadas. Level 5 Object puede proporcionar respuestas educadas y consistentes a gente que las necesite.

Level 5 Object contiene las siguientes herramientas:

- Objetos que proporcionan la eficiencia de la Programación Orientada a Objetos.
- Interfaz Gráfica de Usuario en los editores de desarrollo, ventanas y constructores de desplegados, además de un control general de los aspectos de interfaz de usuario.
- Capacidades de lógica compleja, reglas, lanzadores (triggers), agendas y módulos procedurales y no procedurales.

- Acceso robusto y fácil a bases de datos, SQL, bases de datos orientadas a objetos y arquitectura de cliente-servidor.
- Un conjunto completo integrado de herramientas de depuración, incluyendo ejecuciones por paso, puntos de interrupción y rastreo del razonamiento empleado.
- Ejecución compilada para generar aplicaciones eficientes en cuanto a velocidad y tamaño.

Para Desarrollo de Aplicación Final e Implementación se planeo el uso de "cascarón" SMART ELEMENTS de la compañía Neuron Data.

El paquete SMART ELEMENTS ENVIRONMENT incluye:

- Open Interface Environment
- Interoperable Object Element
- Web Element
- Data Access Element
- Intelligent Rules Element

Ambos "cascarones" soportan varias plataformas, sistemas operativos y trabajan en ambiente "cliente-servidor". Esto da flexibilidad en la elección del ambiente de desarrollo del sistema. Cabe mencionar el costo bajo de "cascarón" LEVEL 5 OBJECT y su simplicidad. La capacitación del personal será mínima. Su interface gráfico de desarrollo permitirá reducir los tiempos de creación de Prototipo del Sistema.

La plataforma base de desarrollo fue elegida de los existentes (PC con sistema operativo MS Windows95). Casi en cada departamento de cualquiera organización hay PC con dicha sistema operativo, esto significa, que el usuario final no debe comprar este "software".

Para el desarrollo del sistema de soporte informático se eligió el sistema de administración de bases de datos ORACLE:

Paquete ORACLE DESIGNER
Paquete ORACLE DEVELOPER
Paquete ORACLE EXPRESS

El manejo de datos o, más bien, la aplicación de acceso a datos del sistema de soporte informático fue realizado a través de aplicación construida en ambiente Microsoft Access 97 con soporte de programación de Visual Basic para Aplicaciones (VBA).

También, como en el caso de "cascarones", este paquete corre en cualquier plataforma y no requiere la compra de sistema operativo, ni computadoras sofisticadas.

3.1.3.1.3. Selección de equipo de cómputo

Según el concepto y la arquitectura de SEDP, se pretende realizar la implementación del producto final en un "cascarón" (Sistema Experto con manejo de varias bases de datos) instalado en una computadora personal convencional.

En un futuro el prototipo puede ser instalado en una computadora (estación de trabajo).

El funcionamiento del Sistema Experto se realizará en sesiones de consulta con varios usuarios al mismo tiempo, en ambiente "cliente-servidor" (numero de usuarios simultáneo se estima entre 3-5).

Los requerimientos mínimos de computadora son:

- procesador 586 o mejor
- memoria RAM 32 Mb
- velocidad de reloj 200 Mhz min
- capacidad de almacenamiento 6 Gb para el fin del proyecto.

La computadora debe contar con posibilidades de desarrollo y/o modernización de CPU, cambio de velocidad de reloj, aumento y modificación de capacidad de almacenamiento.

3.1.3.2. Equipo del trabajo

Para llevar a cabo la creación del sistema en términos del plan es necesario tener un organismo "cerebro" del proyecto.

El "cerebro" se encargará de manejar el proyecto, la ingeniería de sistemas, el análisis de conocimientos, la ingeniería de programas, el control de calidad.

La lista aproximada del personal es la siguiente:

- Jefe del proyecto, experto en Geotécnia
- Experto en Geotécnia
- Experto en Hidráulica
- Ingeniero de Sistemas y de Programación

3.2. Elaboración de la estructura del problema (modelo)

3.2.1. Ingeniería del conocimiento

El proceso de abarcar un problema y "llenar de vida" el sistema experto usando técnicas de Inteligencia Artificial se basa en varios métodos y algoritmos.

Para el desarrollo exitoso del proyecto en esta fase los partes cruciales de ingeniería de conocimiento son:

- Adquisición de conocimiento
- Representación de conocimiento
- Codificación de conocimiento

Durante estos procesos se conforman varias partes de un Sistema Experto. En la fase final estos son documentos en forma de mapas de conocimiento, más adelante es la base de conocimientos en forma de base de datos de computadora, y, finalmente son las reglas de producción almacenadas en formato de un programa de cómputo (una máquina de inferencia).

El flujo de acciones y datos durante un proceso de ingeniería de conocimientos está representado en la figura 3-2.

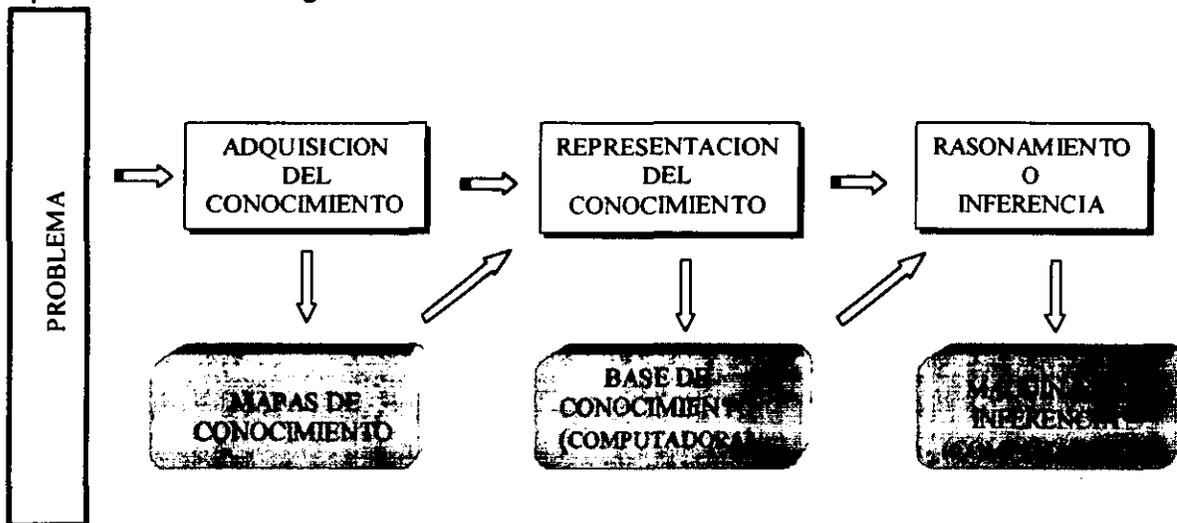


Figura 3-1. Proceso de Ingeniería de Conocimientos

3.2.2. Adquisición de Conocimiento

3.2.2.1. Introducción

El conocimiento expresa las relaciones entre las cosas u objetos del mundo real. El conocimiento es activo, mientras que los datos son pasivos. Por ejemplo, una base de datos de información acerca de obras hidráulicas incluye sus datos de diseño, de

construcción e historial de comportamiento. Para detectar una deficiencia para un problema, se deben evaluar los datos para ver cual es la causa. Los datos acerca de los obras hidráulicas son pasivos, pero el conocimiento de quien realiza la evaluación de datos es activa. Considerando las características del problema, se puede evaluar el desempeño histórico para varios casos, y aplicando algún criterio se encuentra la causa.

Las propiedades que debe cumplir el conocimiento para ser empleado en IA para resolver un problema a través de un sistema experto son las siguientes:

- El conocimiento debe ser delimitado o específico y no amplio o general;
- El conocimiento debe ser heurístico (basado en la experiencia);
- El conocimiento no debe ser de sentido común, debe ser conocimiento técnico y científico;
- El conocimiento no debe de ser demasiado cambiante, puede cambiar, pero no muy frecuentemente;
- El conocimiento puede ser no monotónico, es decir, su veracidad puede cambiar en el futuro;
- El conocimiento debe ser de tipo simbólico, debe evitarse conocimiento de tipo sensorial.
- El conocimiento puede ser determinístico no incierto; un experto no toma decisiones con información incompleta o incierta.

Las diferencias entre datos, información y el conocimiento propio están representadas en figura 3-1.



Figura 3-2. Abstracción y cantidad de datos, información y conocimiento

El conocimiento se puede dividir en dos grupos:

- **Conocimiento declarativo:** El conocimiento declarativo consiste de hechos, conceptos y relaciones en un particular dominio. Expresa las relaciones lógicas o empíricas entre dos o más términos o elementos del dominio. Esta relación puede ser de equivalencia o de pertenencia. Incluye las definiciones de términos, información de sus estados, valores de atributos, funciones, etc. Por ejemplo: el color del pizarrón es negro. En este caso el valor del atributo del color es negro. (estos atributos y funciones son en realidad relaciones).
- **Conocimiento procedural:** Un procedimiento es un método seguido paso a paso para obtener un resultado específico. Por ejemplo, para encontrar el promedio de una serie de números: (1) sumar todos los números juntos y (2) dividir la suma total

entre el tamaño de la serie. Un procedimiento bien definido para una computadora frecuentemente se llama algoritmo. El conocimiento procedural es información respecto a cómo aplicar conocimiento declarativo en la solución de problemas.

3.2.2.2. Fuentes del conocimiento

Entre las funciones para el desarrollo del sistema se encuentra la recopilación y el análisis de la información relacionada con el funcionamiento de las obras hidráulicas. Por esta razón se hizo un estudio detallado de la forma en como están diseñadas, construidas y como operan las obras hidráulicas. Esto se logró mediante entrevistas con los usuarios y un estudio detallado de la documentación existente.

Para registrar el flujo de la información se trató de contar con el suficiente detalle, de tal forma que se seleccionaron los datos sobre los que hay que actuar. Durante el proceso de desarrollo fueron utilizadas varias fuentes de conocimiento. La más importante provino de la experiencia y razonamiento de expertos. Ella determinó que el Sistema Experto sea experto. Aparte fueron utilizadas fuentes documentadas como documentación e historial de casos resueltos, libros, revistas, manuales de procedimientos, manuales de operación, bases de datos (encuestas), filmes, videos, fotografías, mapas, diagramas, esquemas, flujos de procesos, registros de instrumentación; etc. Las referencias de algunas fuentes están representadas en la parte bibliográfica.

3.2.2.3. Adquisición del Conocimiento

3.2.2.3.1. Introducción

La adquisición del conocimiento es el proceso de extracción o captura, selección, estructuración, organización y validación del conocimiento a partir de una o más fuentes.

A este proceso se le considera el cuello de la botella en el desarrollo de un sistema inteligente ya que por lo general involucra del 60 al 70 % del tiempo total de desarrollo.

El trabajo con el experto es intensivo y analítico y requiere relaciones interpersonales, así como de una buena capacidad analítica. Se debe preparar al experto o los expertos para que conozcan qué se está haciendo con la información que se adquiere y sobre los aspectos fundamentales de sistemas inteligentes.

3.2.2.3.2. Técnica de adquisición de conocimiento

Actualmente se emplean los siguientes métodos para obtener el conocimiento de los expertos humanos:

3.2.2.3.2.1. Métodos manuales

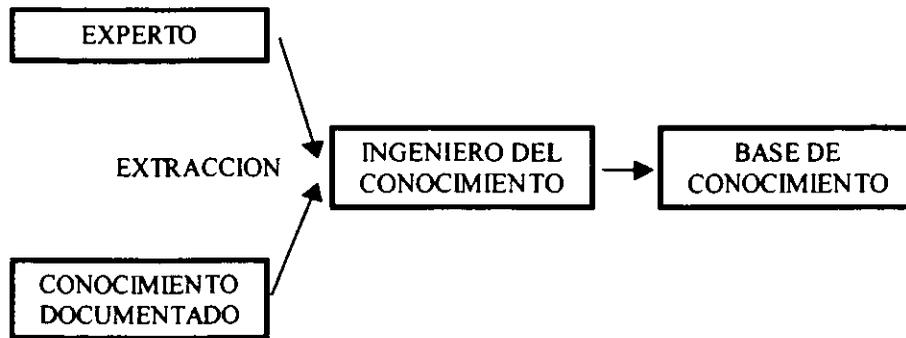


Figura 3-3. Método manual (tradicional) de adquisición de conocimientos

Los métodos manuales pueden ser: la observación, entrevista, protocolo de análisis, examen y los informes.

- **La observación:** El ingeniero del conocimiento observa la forma de trabajar del experto y va notando el proceso seguido. Esto puede ser muy útil, cuando el experto no es capaz de explicar el proceso que sigue, o cuando no está disponible el experto.
- **La entrevista:** Se obtiene el conocimiento mediante el planeamiento de preguntas y problemas. El control de este método es el conocimiento que va aportando el experto. Son entrevistas no estructuradas o semiestructuradas.
- **El protocolo de análisis:** Es una entrevista estructurada. El control de este método lo tiene el, ingeniero del conocimiento quien sabe de antemano que conocimientos necesita y de qué forma.
- **El examen:** En el cual el ingeniero prepara una serie de pruebas y problemas para que el experto los resuelva y explique cómo lo ha hecho y con ello obtener los conocimientos necesarios.
- **Los informes :** El experto explica de forma oral o escrita los distintos tipos de problemas y cómo los resuelve.

3.2.2.3.2.2. Métodos automáticos

Son protocolos de análisis automatizados en los que sistemáticamente se van solicitando al experto los conocimientos que se necesitan, empleando una computadora.

Este método requiere la creación de un subsistema que permita la utilización de un lenguaje "pseudonatural", y que incluya detectores de redundancias, bucles, incoherencias, etc. En el presente trabajo, en esta etapa, se fueron utilizadas técnicas combinadas de adquisición de conocimientos. Después de adquirir conocimientos manualmente fueron procesados en un "cascaron" de inteligencia artificial con el fin de validar y depurar las relaciones y hechos. El resultado final fue con grupo de reglas de producción depuradas. Teniendo las reglas de producción se pudo programar la aplicación – el Sistema Experto piloto.

3.2.3. Representación de conocimientos

3.2.3.1. Introducción

La experiencia ha de mostrado que el diseño de una buena representación es frecuentemente la clave para convertir los problemas difíciles en simples.

Los objetivos de investigación o paradigmas describen como piensa la gente acerca de un problema. La representación del conocimiento y la estructuración de las herramientas se hará por ilustración de lo que la gente sabe. Los paradigmas describen los caminos que la gente usa o la forma en que procesa sus conocimientos, pero no los detalles de un dominio de conocimiento específico. Los detalles llegan a ser explícitos a través de la representación del conocimiento y las herramientas de estructuración, las cuales son necesarias para capturar, ilustrar e inspeccionar la información.

Una película puede valer más que mil palabras. Hay una obvia preferencia, por el beneficio orientada a la ilustración. Los siguientes beneficios representan alguna utilidad de la representación pictórica en los proyectos de computadora, y especialmente al desarrollo de sistemas de conocimiento:

1. Validación al establecer uniformemente la comunicación entre el desarrollo y el usuario.
2. Pruebas y depuración de lógica del sistema por la limpieza del diseño y la documentación.
3. Complementación, porque la metodología alienta a completar la documentación y da certeza de calidad que se revisa con los usuarios.
4. Precisión en las decisiones por la documentación y pruebas lógicas.
5. Fácil de mantener por reducir el esfuerzo necesario para entender y/o interpretar el código de alguien más.
6. La productividad de la programación a través de realizar de manera uniforme comunicación y documentación.
7. Fácil de codificar el sistema por la aproximación estructurada.

El propósito de representar y estructurar el conocimiento para Sistemas Expertos es desarrollar las estructuras que asistan al codificar en el conocimiento dentro de programas y entonces ellos puedan exhibir el comportamiento de la inteligencia.

Las técnicas más populares para representar y estructurar el conocimiento son las redes semánticas y reglas. En adición, también se usan las tablas de decisión y árboles de decisión. Todas estas técnicas pueden ser agrupadas dentro de dos categorías: técnicas por análisis y técnicas por códigos.

Las técnicas de representación de conocimiento por análisis de redes semánticas, tablas de decisión y árboles de decisiones son las de mejores resultados durante la recopilación inicial del conocimiento. Estos permiten una visión del dominio amplia y pueden ser codificados dentro de un sistema con estructuración adicional.

Las técnicas de representación de conocimiento por código (producción de reglas, agentes inteligentes) son nada más el código que se utiliza actualmente para transformar los diagramas de conocimiento dentro del código de trabajo de un sistema de conocimiento.

Esto puede ser hechos por medio de las herramientas o el lenguaje de programación con las capacidades necesarias. Las técnicas de representación por análisis aquí definidas son fácilmente traducidas en forma de código; los árboles de decisión son rápidamente convertidos dentro de las reglas de producción, las cuales pueden ser producidas por programas "cascarones" orientados hacia reglas. Adicionalmente, existen las herramientas que asimilan las tablas de decisiones.

En el presente trabajo por conveniencia se utilizaron las técnicas híbridas de representación de conocimientos, resultando ser extremadamente útiles en áreas tan complejas como el comportamiento de obras hidráulicas. Además resultaron ser cómodas para el desarrollo y para el uso por los expertos.

3.2.3.2. Redes Semánticas

Las redes semánticas son un contexto, el mapa intransitorio de relaciones utilizando nodos y enlaces. Los nodos representan objetos, eventos o conceptos. Los enlaces muestran las relaciones entre los nodos. Aunque no hay reglas formales en la estructuración de las redes semánticas, la aproximación clásica es el representar a los nodos como círculos o cajas y los enlaces por flechas conectando los nodos. Una red semántica significa el ser examinada y validada, observando a todas direcciones de cualquier punto. Aun una estructura simplificada puede llegar a ser muy compleja debido a las muchas posibilidades de relaciones entre nodos.

Una ventaja de las redes semánticas es el hecho de que fácilmente representan herencias, es decir son muy flexibles. Herencia es el proceso por el cual un nodo deriva sus características de otro nodo en la jerarquía.

Por simple sintaxis y flexibilidad de una red semántica, es fácil modificar el diagrama al suprimir, añadir o cambiar nodos o enlaces tanto como sea necesario. Existen muchos caminos posibles para representar algo. La meta es encontrar la representación que describe el área.

Aunque la representación de conocimientos por las redes semánticas es flexible, existe el peligro de una falta de estructuración formal que pueda ser una desventaja. Las complejas ramas de las redes semánticas frecuentemente llegan a entrelazarse, y el resultado puede ser referido como malla. Entonces los diagramas son usualmente difíciles de trabajar.

En el presente trabajo fue utilizada una técnica de representación de redes semánticas como datos de modelos hierachicas, los cuales son mucho más faciles de validar por la normalización de datos.

Reacomodar una red semántica dentro de una hierarquia es una técnica de normalización. El diagrama hierarchica es la representación preferida por la codificación del sistema basada en reglas. Este permite, asimismo, una transformación dentro de las relaciones causa-efecto. Por estar desenredado y simple para validar, los diagramas son faciles de crear y editar.

En las prácticas de un software convencional las redes semánticas son conocidas como modelos de datos. Su propósito es modelar objetos, relacionarlos en el universo de sus sistemas y después normalizar las relaciones para producir una representación limpia. Es un camino valioso para mantener las relaciones entre cosas en un dominio.

En el presente trabajo las redes semánticas fueron convertidas en árboles de decisiones antes de empezar la codificación de conocimientos. Esto permitió disminuir la complejidad del diagrama e hizo más fácil codificar el conocimiento en un "casarón" de Sistema Experto.

3.2.3.3. Árboles de decisión

Un árbol de decisión puede ser considerado como una red semántica jerárquica limitada por una serie de reglas. Acopla o integra estrategias de búsqueda con la relación de conocimiento.

Los nodos representan metas, los enlaces - decisiones. Son similares a los árboles de decisión usados en teoría de decisiones. Están compuestos por nodos que representan metas y encadenados representan decisiones (conclusiones o resultados). Cuando se utiliza el árbol, debe ser examinado de pies a cabeza. Esto puede verse reflejado completamente en varios niveles de nodos, incluso en todos los nodos terminales, excepto la raíz del nodo que es la meta primaria.

En realidad es un diagrama causa-efecto, donde cada nodo representa un atributo (factor) para identificar causas o para relacionar causas con efectos. Se puede decir que un árbol de decisión conceptualiza o representa los espacios de búsqueda de soluciones a un problema, donde el tamaño de cada espacio de búsqueda está dado por el número de nodos (ramas).

El nodo inicial (causa inicial), se grafica a la izquierda y los efectos parciales o finales (resultados) a la derecha. Un efecto parcial se constituye en una causa (rama de un árbol), hasta llegar al nodo final que nos da el resultado o conclusión al problema. Así se puede decir que el conocimiento en un árbol va de lo general a lo específico (profundo) y de izquierda a derecha.

La mayor ventaja de los árboles de decisión es que pueden simplificar el proceso de adquisición del conocimiento a describir un fuerte sentido de causa efecto, como son las reglas. Es por eso que se convierten también en reglas y porque son fáciles de validar. La diagramación del conocimiento frecuentemente es más natural que en un método de representación formal (reglas o frames). Un árbol de decisión es fácilmente convertido en reglas; esta conversión puede ser efectuada por un programa de cómputo. (*The art of software Testing, Myers, Glen, The art of software testing. John Wiley, 1979*).

3.2.3.4. Reglas de producción

Las reglas de producción en representación de conocimientos utilizan estatutos como "si, condición de acción y después, la acción". Resolviendo una situación la máquina de inferencia busca la condición en la parte del sí de las reglas.

Las reglas son fácilmente creadas dentro de una forma de tablas y árboles. Son herramientas poderosas codificando el conocimiento dentro de una forma que es ejecutada por un programa-cascarón basada en reglas.

3.2.4. Técnicas de codificación de conocimiento utilizadas

El procedimiento utilizado en el desarrollo del Sistema Experto propuesto consistió en siete pasos que se tomaron lógicamente desde una red semántica de trabajo hasta la codificación de reglas de producción para codificar el cascarón del Sistema Experto, y son:

1. Desarrollo y revisión de las redes semánticas y verificación de ellas para que la visión de dominio representada en las mismas este apoyara la búsqueda de las metas del sistema.
2. Adquisición del conocimiento adicional tanto como sea necesario para llenar cualquier brecha en las redes semánticas.
3. Conversión de malla de redes semánticas de trabajo a una sola jerarquía de redes.
4. Conversión de la jerarquía de redes semánticas a árbol de decisión (árbol de fallas).
5. Adquisición del conocimiento adicional tanto como sea necesario para llenar las brechas en el árbol de decisión.
6. División del árbol en piezas apropiadas y uso de las técnicas del sistema modular. (La aplicación propuesta contiene dominios múltiples de conocimiento). Cabe mencionar que fueron generados 12 árboles con una totalidad aproximada de 400 nodos.
7. Conversión de la representación del conocimiento en reglas de producción.

4. DISEÑO LÓGICO DEL SISTEMA EXPERTO

4.1. Construcción del modelo lógico de la obra hidráulica

El proceso de composición del modelo lógico de obra hidráulica puede ser representado según siguiente esquema:

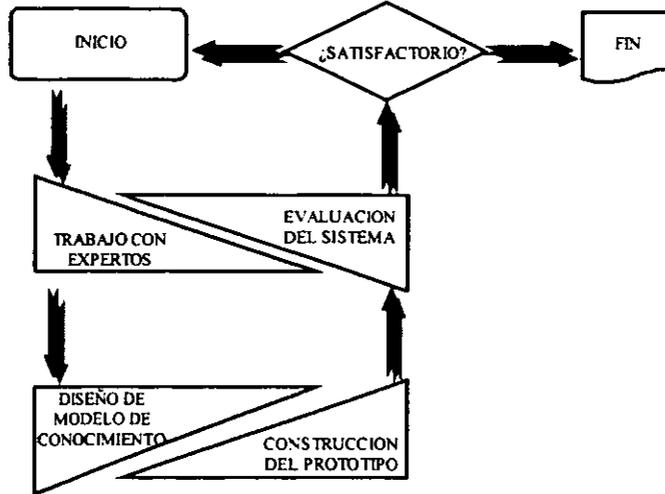


Figura 4-1. Ingeniería de conocimientos sobre la obra hidráulica.

Descomponer el problema en los objetos discretos ayuda a concentrarse en una sola parte del dominio en cualquier momento dado y creará módulos de dominio lógico, los cuales serán utilizados durante la fase de representación. Durante el trabajo sobre presente proyecto el problema fue determinado como diagnóstico y predicción de mal comportamiento de una obra hidráulica.

Una obra hidráulica contiene las siguiente de partes integrantes: **Cortinas y Diques, Obras de Excedencia, Obras de Toma, Obras Auxiliares y Embalse.**

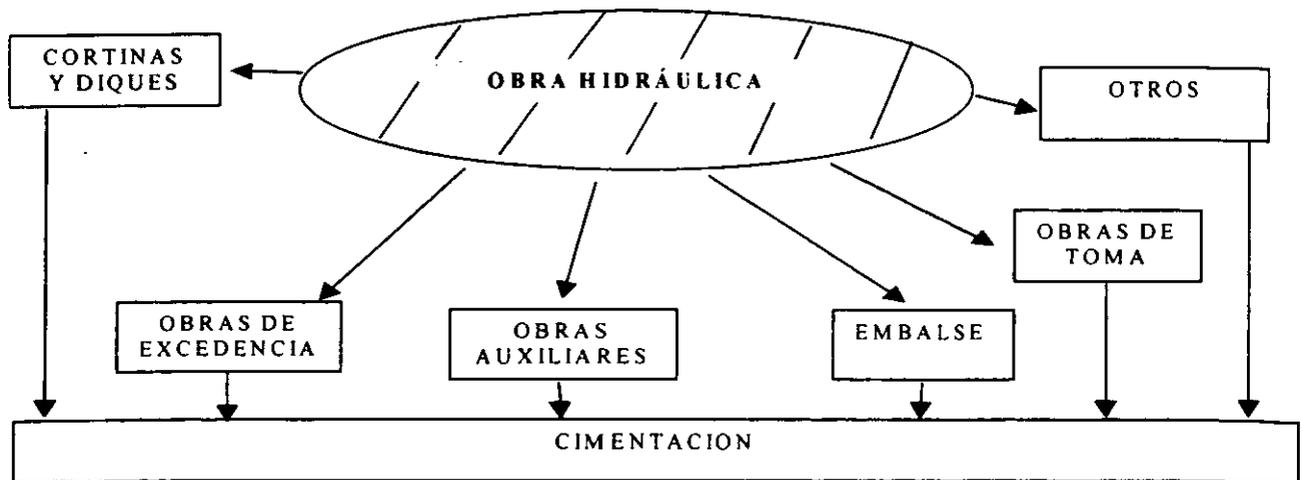


Figura 4-2. Estructura de una obra hidráulica

Una CORTINA tiene CIMENTACIÓN, así como un VERTEDOR puede ser integrado en la CORTINA, o estar aparte y tener su propia CIMENTACIÓN.

En otro enfoque una CORTINA puede ser elaborada de TIERRA Y ENROCAMIENTO, ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO o de CONCRETO simplemente.

Desde el punto de vista de seguridad estructural y funcional y tomando en cuenta las peculiaridades de las obras hidráulicas existentes y nuevas en México, se decidió en que el modelo del problema debe tener los siguientes bloques:

- CIMENTACIÓN
- EMBALSE
- VERTEDOR (OBRA DE EXCEDENCIAS)
- PRESA (CORTINA o DIQUE) DE TIERRA Y ENROCAMIENTO
- PRESA (CORTINA o DIQUE) DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO
- PRESA (CORTINA o DIQUE) DE CONCRETO

Las cortinas fueron divididas en las siguientes partes:

- CORONA
- TALUD AGUAS ARRIBA
- TALUD AGUAS ABAJO

En caso de cortina de CONCRETO, fueron añadidas las siguientes partes:

- GALERÍAS
- GALERÍAS DE DRENAJE
- BASE
- CUERPO
- JUNTAS

En cuanto a la información pertinente para, cualquier obra hidráulica, así como para todos sus componentes, se representan tres etapas de su ciclo de vida: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN y OPERACIÓN.

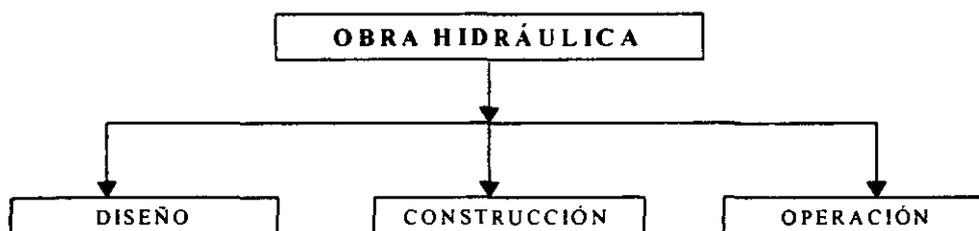


Figura 4-3. Etapas de ciclo de vida de obra hidráulica

Aunque los árboles de decisiones representan el comportamiento de la obra hidráulica y, lógicamente, pertenecen la etapa de OPERACIÓN, durante del proceso de inferencia de las causas de mal comportamiento de la obra, es necesario, que el experto para poder resolver preguntas del Sistema Experto consulta los datos que pertenecen a otras etapas – al DISEÑO y al CONSTRUCCIÓN.

Para que estos procesos de inferencia de causas de fallas sean realizados, fue desarrollada el sistema de soporte informático de información relevante sobre la obra hidráulica tomando en cuenta todos los fenómenos representados en árboles de decisiones y etapas de ciclo de vida de la obra.

4.2. Construcción de estructura de datos del sistema de soporte informático.

4.2.1. Análisis de datos relacionado.

Para realizar lo anteriormente mencionado, se hizo un estudio detallado de la forma en como estan diseñadas, construidas y como operan las obras hidráulicas esto se logró mediante entrevistas con los usuarios y un estudio detallado de la documentación.

Para registrar el flujo de la información se trató de tener el suficiente detalle, de tal forma que se seleccionaron los datos sobre los que hay que actuar. Enseguida se hace una descripción de las obras hidráulicas, con el fin de conocer los flujos de la información y definir la estructura para ésta.

Debido a la importancia de poder predecir y controlar posibles fallas en las obras hidráulicas del país, es necesario conocer las características generales y particulares de cada una de éstas, tales como el nombre, la ubicación, la fecha de construcción, las partes que la integran, los ríos de abastecimiento, datos geológicos, geotécnicos e hidrológicos, entre otros.

La información sobre una obra hidráulica esta estructurada por diversos componentes, como son:

- **Cortinas:** son estructuras de almacenamiento de agua
- **Diques:** son muros o reparo artificial para contener las aguas
- **Vertedor:** u obras de Excedencia, las cuales son estructura para descargar los excedentes de agua
- **Obras de Toma:** son estructuras que permiten extraer el agua de un almacenamiento en forma controlada
- **Embalse:**
- es un depósito artificial de agua
- **Obras Auxiliares**

Cada uno de éstos componentes tiene características generales y particulares según la obra hidráulica a la que pertenezcan, así también el **Diseño**, la **Construcción**, y el **Comportamiento** que presentan dichas estructuras operación, son temas de estudio en los que entran dichos componentes.

Con el objeto de dar una idea general sobre el comportamiento de la información se describe a continuación la relación de los datos.

- Cada componente de la obra presenta una serie de datos relacionados con **Diseño**, como son:
 - Cortinas y Diques:** Geotécnia y Materiales Estructurales; Geotécnia y Materiales de Cimentacion; Geología del Sitio, Cimentación y Geometría y Diseño Estructural.
 - Obras de Excedencia:** Geotécnia, Geología General, Topología del Sitio, Cimentacion de Obras y Cauce y Geometría y Diseño Estructural;
 - Obras de Toma:** Geotécnia; Geología del Sitio; Cimentación; y Geometría y Diseño Estructural;
 - Obras Auxiliares** corresponden a temas relacionados con Geotécnia; Geología del sitio; Cimentación y Geometría y Diseño Estructural;
 - Embalse:** Geotécnia, Geología del Vaso e Hidrogeología.

- La información relacionada con **Construcción** para cada uno de los componentes es:
 - Cortinas y Diques:** Cuerpo (o tipos) y Cimentación
 - Obras de Excedencia:** Se tiene Cimentación;
 - Obras de Toma:** Construcción y Cimentación
 - Obras Auxiliares:** Sólo se tienen datos relacionados con construcción únicamente
 - Embalse:** Construcción.

- En la etapa de **Operación:**
 - Cortinas y Diques:** Corona; Talud Aguas Arriba; Talud Aguas Abajo; Galerías; Base; Cimentación y Apoyos Aguas Abajo.
 - Obras de Excedencia:** Cimentación; Pilas; Compuertas; Equipo Electromecánico; Deflectores; Canal de llamada y de Desfogue; Cimacio; Cimentación; Cauce Aguas Abajo y Apoyo Aguas Abajo.
 - Obras Auxiliares:** Hay datos de Cimentación y Apoyos Aguas Abajo.
 - Embalse:** Sólo se tienen datos generales de operación.

Aparte de la información anterior cabe mencionar que una obra hidráulica esta equipada con **instrumentos** en cada uno de sus componentes, éstos son de varios tipos y utilizan métodos diferentes para realizar sus observaciones, así como cada uno de ellos puede almacenar uno o más datos en el sistema, por ejemplo el instrumento celdas de presión almacena dos datos, presión de referencia y presión actual, por esto los instrumentos se clasificarán en grupos. El grupo 1 para el que almacena un dato, grupo 2 para el que almacena 2 datos etc. de esta forma cabe destacar que cada instrumento

puede realizar una o más observaciones y cada observación puede tener una o más lecturas.

Es importante destacar también que existe una gran cantidad de figuras provenientes de muchos documentos y que forman parte de la información, dichas figuras se encuentran relacionadas con los datos de forma independiente a la etapa o componente a la que pertenezcan.

Con el análisis anterior se puede obtener una idea del gran volumen de datos que fluyen en este tema de obras hidráulicas, es por esto que entre los alcances y requerimientos se puede mencionar que el sistema facilitará las actividades de consulta de datos de una manera amigable, flexible y práctica.

El sistema debe tener la capacidad de organización y consulta por obra hidráulica, por instrumento de medición o por partes de la obra. Asimismo, almacenará la información documental (información contenida en libros, revistas, artículos, publicaciones, referenciada por autor, tema, año, etc.) y gráfica, (en archivos remotos que puedan ser ligados a la base de datos).

El sistema de información debe ser flexible y dinámico, de tal forma que permita posibles cambios estructurales con el objeto de contar con información actualizada y adecuadamente procesada y además será modelado según las reglas de bases de datos relacionales normalizadas empleando como lenguaje de programación ORACLE Server versión 8 para WINDOWS NT SERVER versión 4.0 y otras de sus herramientas para su diseño e implementación.

4.2.2. Estructura de datos relacionados.

La estructura de datos o esquema conceptual fue obtenida usando las mismas técnicas de adquisición de conocimientos.

Este es un paso adicional al análisis de la información, su fin es el de hacer más visible el flujo y la relación de los datos y plasmarla (representarla) en un esquema.

La meta del esquema conceptual es un entendimiento completo de la estructura, el significado (semántica), los vínculos y las restricciones de la base de datos. Lo mejor es lograr esto independientemente de un SGBD específico porque todos los SGBD suelen tener peculiaridades y restricciones que no deben influir sobre el diseño del esquema conceptual.

El esquema conceptual es muy valioso pues una descripción estable del contenido de la base de datos. Un buen entendimiento del esquema conceptual es decisivo para los usuarios de la base de datos y los diseñadores de aplicaciones.

La descripción diagramática del esquema conceptual puede servir un excelente vehículo de comunicación entre los usuarios, diseñadores y analistas de la base de datos. Las características del modelo conceptual (también llamado como modelo de datos de alto nivel) son:

- **Expresividad:** Esto es útil para distinguir los diferentes tipos de datos, vínculos y restricciones.
- **Sencillez:** Para que los usuarios no especialistas comprendan y usen sus conceptos.
- **Minimalidad:** Un número pequeño de conceptos básicos cuyo significado sea distinto y no se traslape.
- **Representación diagramática:** Para mostrar un esquema conceptual que sea fácil de interpretar.
- **Formalidad:** Sin ambigüedad de los datos. Por tanto los conceptos del modelo deben definirse con exactitud y sin que haya posibilidad de confusión.

La estructura que tomará la información es una clasificación de acuerdo a las partes que integran una obra hidráulica como son **Cortinas y Diques, Obras de Excedencia, Obras de Toma, Obras Auxiliares, y Embalse**, que será estudiada en las siguientes etapas: **Diseño, Construcción y Operación**, y cada una de estas con sus respectivos temas de análisis como Geotécnia, Cimentación, etc. (mencionados en el tema anterior), correspondientes a cada parte de la obra.

Existe la necesidad de generar una estructura adicional que contenga los datos generales de cada una de las obras en sus diferentes etapas, para de esta forma evitar la redundancia y duplicidad de los datos, así como un crecimiento desmedido del sistema. La parte correspondiente a **Datos Generales** fue dividida en: Planta; Propósito; Potencial de Daños; Geotécnia; Geología Regional, Hidrogeología, Hidrología, Instrumentación e informes; y, Documentos. De la misma forma cada una de las partes que integran la obra hidráulica deberá contener una estructura de datos general en la etapa de diseño.

Para **Cortinas y Diques**, los datos generales fueron manejados de la siguiente manera: primeramente los datos se subdividieron en: Grupo (que consta de los elementos Cortinas Principales y Diques); Nombre (que puedes ser de la Cortina o del dique); Clase (la cual puede ser de Tierra y Enrocamiento, Enrocamiento con Cara de Concreto y Concreto); tipo donde para las clases Tierra y Enrocamiento y Concreto, se mencionan los diversos tipos de Cortinas y/o Diques que pueden presentarse. Por ejemplo, para la clase Tierra y Enrocamiento tenemos los tipos: Homógenea, De Núcleo Central, De Núcleo Inclinado o con Diafragma).

Obras de Excedencias, es otra parte en donde también se incluyeron elementos como: Grupo (Vertedor u otro); Número; Nombre; Tipo (Libre o Controlado); Propósito; y, Capacidad.

Por último, la parte de **Obras de Toma** está formado por los siguientes elementos: Nombre, Número y Tipo de obra.

En lo que respecta **Obras Auxiliares**, los elementos que la componen son: Nombre, Número y Tipo de obra (de desvío del río, carreteras, etc.)

La parte de **Embalse** consta de los siguientes elementos: Nombre y Número.

Cabe mencionar que en esta etapa tomamos ayuda de los expertos, quienes nos apoyaron con una revisión constante en la estructuración de la relación de los datos llegando a los siguientes esquemas:

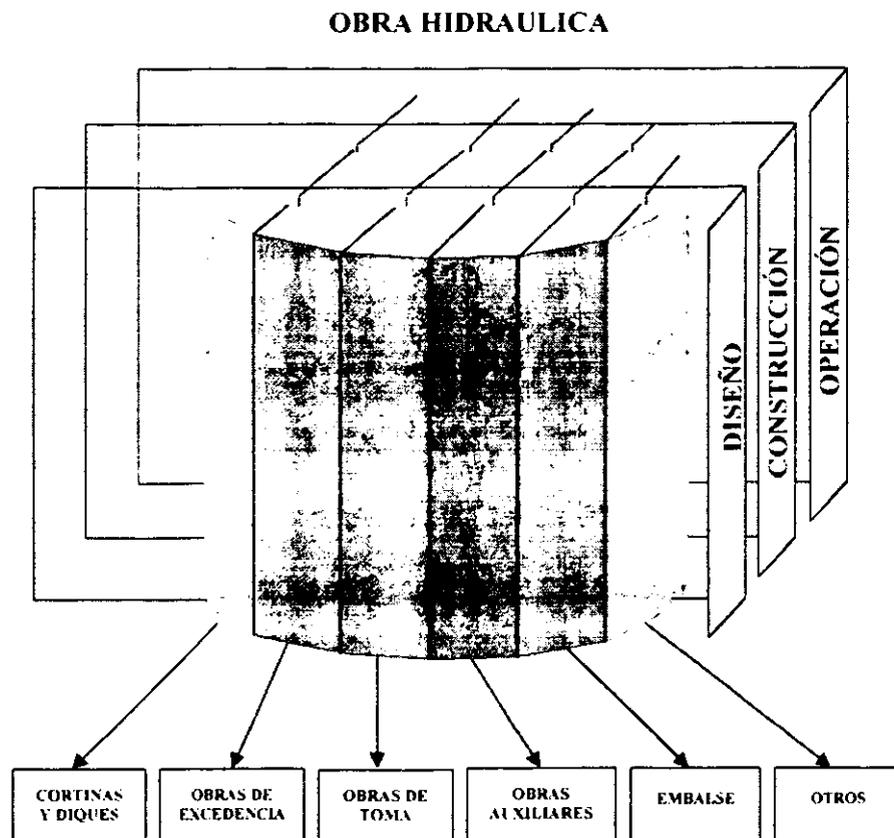


Figura 4-4. Esquema conceptual de datos de obras hidráulicas

La información quedó organizada en listas que contemplan las etapas de Diseño, Construcción y Operación (ver anexo A).

En la Figura 4-5 esta representada la estructura de datos de una obra hidráulica construida según requerimientos de la problemática de mal comportamiento.

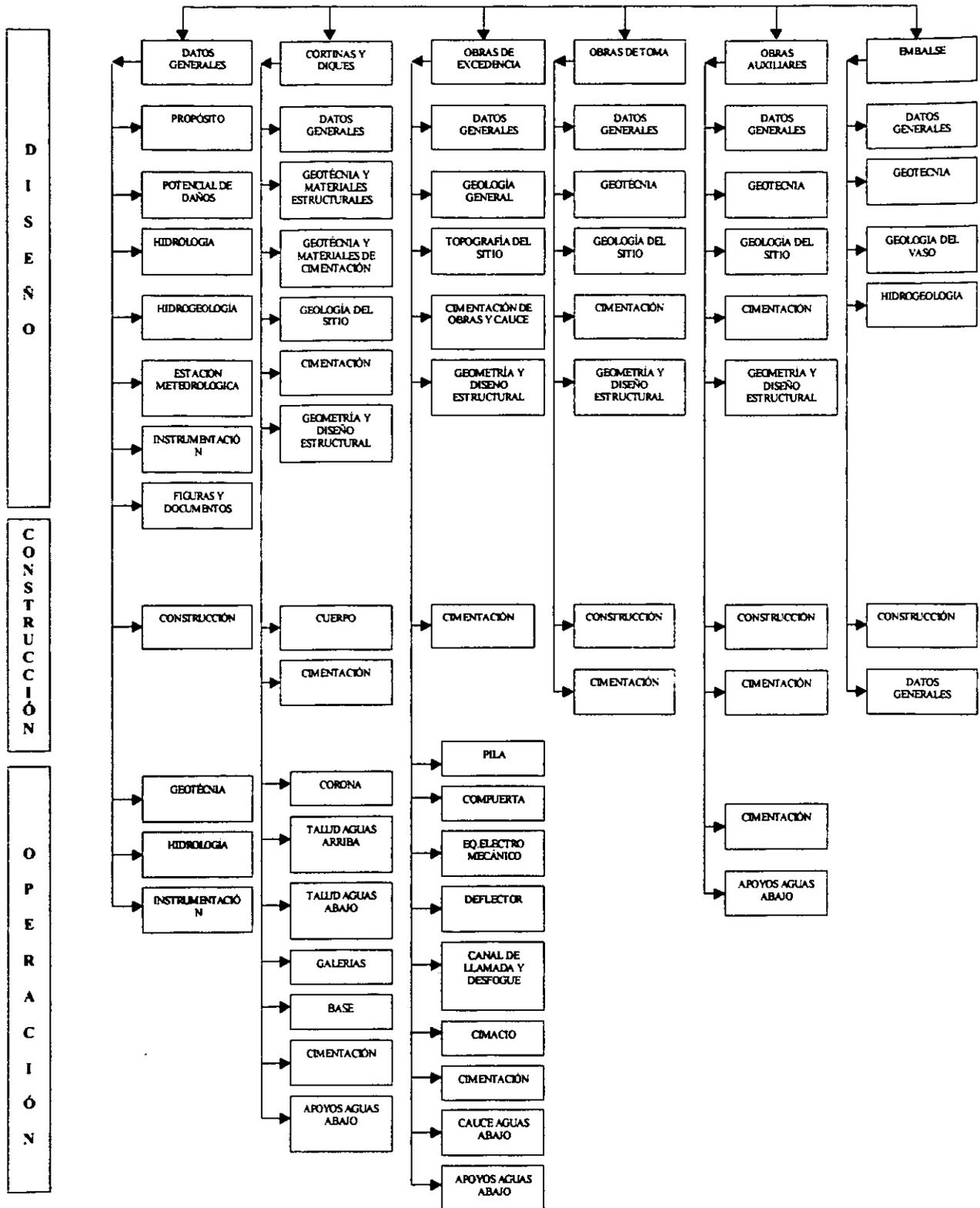


Figura 4-5. Estructura de modelo de datos de una obra hidráulica

4.3. Construcción de estructura del sistema experto

La base de conocimientos, el mecanismo de inferencia y la interfaz de usuario (entrada/salida) forman el núcleo del Sistema Experto desarrollado. El módulo de explicaciones e interfases especiales (bases de datos o programas externos) completan la estructura.

Con el fin de brindar conocimiento dinámico al Sistema Experto se pretende el uso de dichas interfases por el equipo de soporte para plasmar nuevos conocimientos o cambios en la lógica de funcionamiento.

La estructura y relaciones lógicas entre los componentes del Sistema Experto están comprendidos en la Figura 4-6.

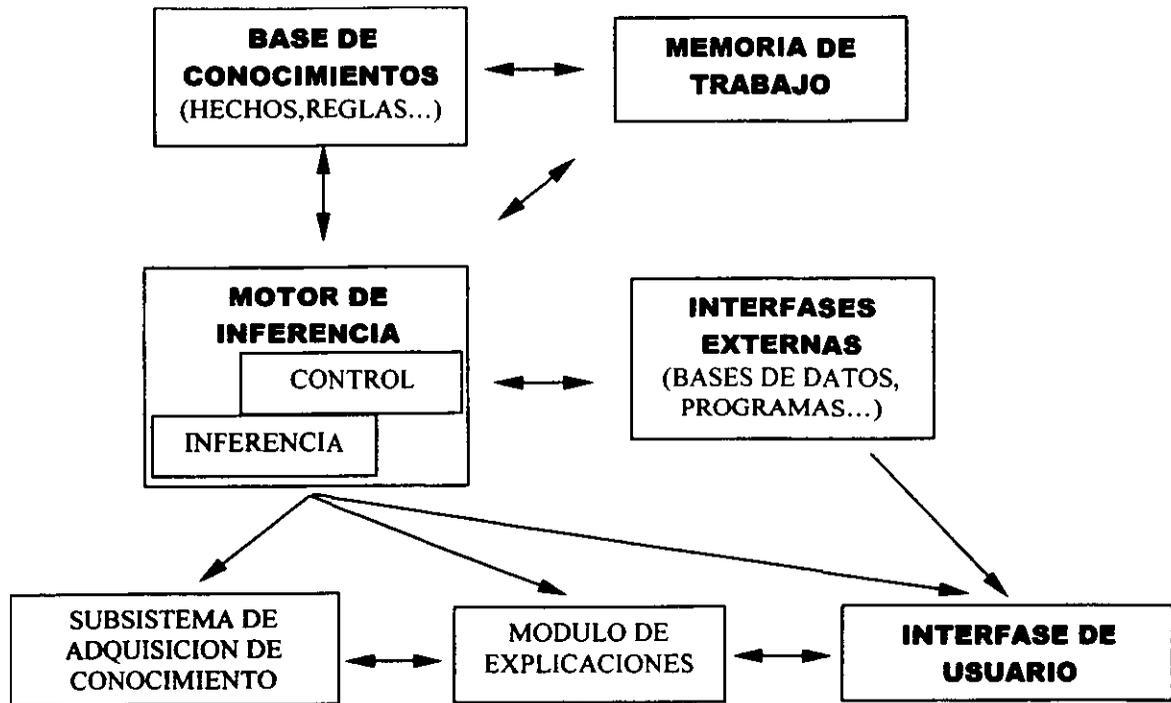


Figura 4-6. Estructura del sistema experto

4.3.1. La base de conocimientos

Esta base es utilizada por el mecanismo de inferencia para formular hipótesis y para obtener conclusiones. La base de conocimientos utilizada en SEDP puede ser definida como la base estática, debido a que el conocimiento contenido no se modifica ni se actualiza durante los procesos de solución de problemas.

La cantidad y la calidad de los conocimientos contenidos en la base de conocimientos determinan en primer lugar la bondad del Sistema Experto en la solución de problemas del dominio.

La base de conocimiento de SEDP fue desarrollada para ser exhaustiva y consistente. La exhaustividad significa ser "completo", es decir, que todas las reglas y los hechos necesarios para solucionar cualquier problema del dominio fueron incorporados en la base de conocimientos. La consistencia se refiere a que dicha base es libre de reglas contradictorias, redundantes o innecesarias, o sea, depurada. Todo esto se refiere al estado actual de la base de conocimientos, es decir su profundidad y amplitud seleccionada.

4.3.2. El mecanismo de inferencia

Como ya se explicó, los procesos de inferencia en los Sistemas Expertos se llevan a cabo a través de encadenamientos de reglas, hacia adelante o atrás, o como resultado de una combinación de éstos (razonamiento híbrido).

Para realizar las inferencias, el mecanismo correspondiente utiliza información dinámica y conocimiento estático. La información dinámica corresponde a los datos de entrada que fueron inicialmente aportados por el usuario (manifestaciones conocidas) y las respuestas que éste proporciona a preguntas formuladas por el SEDP. El conocimiento estático es el contenido en la base de conocimientos, y es utilizado por el mecanismo de inferencia para formular hipótesis o llegar a conclusiones acerca del problema de malfuncionamiento de la presa seleccionada.

Toda la información aportada por el usuario y las preguntas del SEDP están almacenadas como hechos en una memoria de trabajo. Durante el proceso de inferencia las reglas contenidas en la base de conocimiento son comparadas con el contenido de la memoria de trabajo.

Cuando más de una regla ha logrado satisfacer sus condiciones, se realiza un proceso de selección (generalmente utilizando criterios heurísticos), mediante el cual se determina la regla que será ejecutada.

Una vez hecho esto, su acción o sucedente pasa a formar parte de los hechos almacenados en la memoria de trabajo. Esto origina la formación de nuevas configuraciones de hechos, cuyas condiciones pudieran ser satisfechas por otras reglas de la base de conocimientos.

De esta forma, el proceso continúa recursivamente hasta que ya no sea posible encontrar nuevas reglas que se disparen, o hasta que se haya obtenido la causa del mal funcionamiento.

4.3.3. La memoria de trabajo

La memoria de trabajo, también conocida como base dinámica, es un almacén temporal de información dinámica. En ésta es almacenada, en forma de hechos, toda la información brindada por el usuario al sistema (datos iniciales y respuestas a preguntas formuladas), así como las conclusiones de todas las reglas disparadas en el transcurso de

las inferencias. Todo contenido dinámico de memoria de trabajo se despliega para el usuario cada vez que el SEDP formula nueva pregunta.

Cuando el proceso de solución de un problema particular ha concluido, se hace una conclusión para el usuario y después el contenido de la memoria de trabajo es removido o eliminado, de forma tal que esta memoria quede limpia antes de iniciar la solución de otro problema.

4.3.4. La interfaz de usuario

Interfaces de entrada/salida permiten la comunicación entre el usuario y el sistema. A través de ésta el usuario ofrece datos iniciales al sistema o responde a preguntas formuladas por éste. La gran mayoría de las interfaces de comunicación utilizadas para el desarrollo del SEDP establecen la comunicación usuario-sistema mediante simples menús de selección o utilizando lenguajes restringidos, los cuales son aproximaciones cercanas al lenguaje cotidiano. Por ejemplo, las preguntas del SEDP hacia el usuario siempre inician con las palabras "¿ Es verdad que...?". El sistema proporciona dos opciones "SI" y "NO ES CIERTO". El usuario debe seleccionar su respuesta eligiendo con el ratón una de estas opciones.

4.3.5. El módulo de las explicaciones

El módulo de las explicaciones proporciona al usuario explicaciones acerca del proceso de inferencias, cuando éstas son solicitadas. Las explicaciones ofrecidas al usuario responden a la formulación de las siguientes preguntas.

- ¿Cómo se alcanzó una hipótesis o una conclusión?
- ¿Por qué se requiere cierta información?

Para responder a la primera de las preguntas, el módulo de explicaciones exhibe al usuario, en una forma que resulte de fácil comprensión, la cadena de reglas disparada durante el proceso de inferencias. De esta manera, el usuario puede apreciar la línea de razonamiento seguida por el sistema para arribar a la conclusión.

La respuesta del módulo de explicaciones a la pregunta ¿Por qué? Consiste en explicar al usuario el papel que juega la información solicitada en la consecución de algún paso necesario dentro del proceso de razonamiento.

De esta forma, através del módulo de explicaciones, el usuario puede seguir muy de cerca el proceso de inferencias llevado a cabo durante la solución de un problema.

4.4. Funcionalidad del Sistema Experto

El Sistema Experto desarrollado es en general un programa complejo y multiforme, que representa diferentes funcionalidades:

- La resolución de un problema planteado, asegurada por uno o varios motores de inferencias que manipulan la base de conocimiento.
- La adquisición, la modificación y la actualización del conocimiento, funciones que utiliza el ingeniero de conocimiento para la codificación de la habilidad humana en la formalización adecuada en las fases de ajuste inicial y de mantenimiento posterior.
- La explicación del camino que utiliza el SE para resolver el problema planteado. Esto es importante en el momento de la puesta a punto del sistema, o durante sus utilización, en el caso de un SE destinado a la capacitación.
- La conexión con sistemas exteriores: programas encargados de efectuar ciertas tareas, base de datos que proporcionan información necesaria para el razonamiento, etc.
- La interfaz con el usuario final. Esta funcionalidad es esencial para la buena explotación del sistema y reviste formas muy diferentes: visualización gráfica, utilización de lenguaje natural, entre otros.

En la Figura 4-7 se presenta el esquema funcional de SEDP.

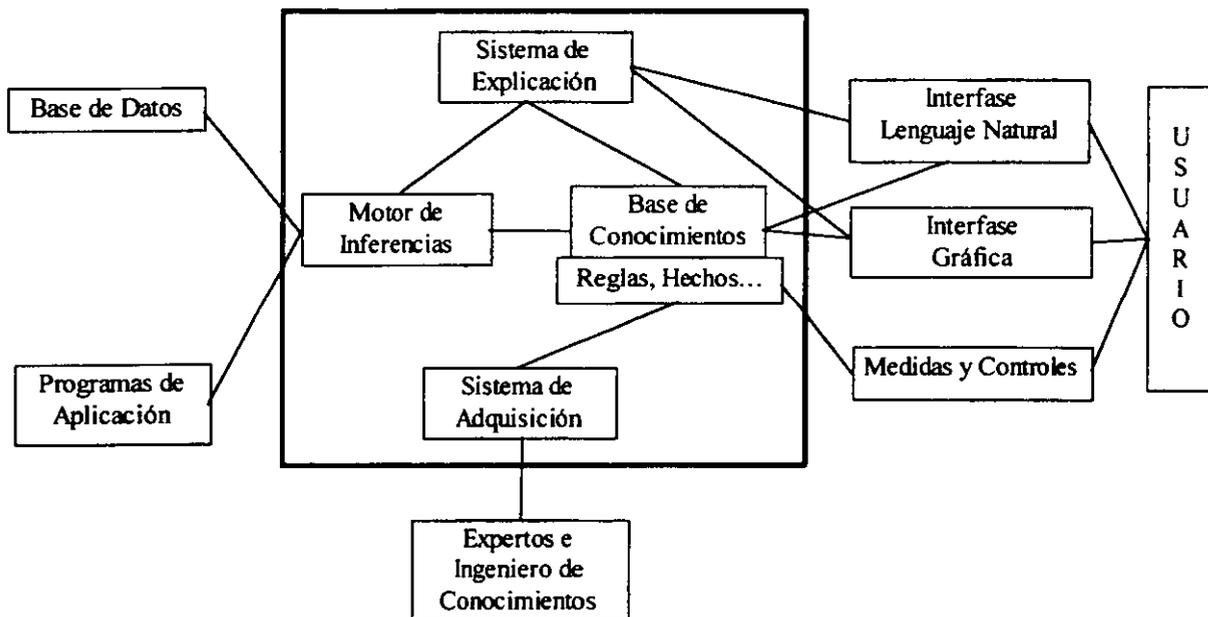


Figura 4-7. Esquema Funcional de SEDP

5. DISEÑO FÍSICO DEL SISTEMA EXPERTO

5.1. Implementación del Sistema de Soporte Informático

5.1.1. Introducción

La importancia del Sistema de Soporte Informático (SSI) que se describe a continuación representa beneficios considerables que se revelan al tomar en cuenta costos de la suma de los esfuerzos aislados en el manejo de información que se practican en la actualidad, y la importancia de sus resultados generalmente caduca pronto, debido a que son mal archivados y de difícil consulta o acceso.

El objetivo del sistema es disponer de una base de información estándar, suficiente y efectiva que proporcione la oportunidad, confiabilidad y calidad deseada en la misma; además de controlar las operaciones a través de herramientas computacionales informáticas que permitan la administración fluida en el manejo de datos, definiendo un ambiente integrado que brinde disponibilidad inmediata de la información en cualquier parte del proceso de las decisiones técnicas, inherentes a la seguridad de la infraestructura de las presas.

Los beneficios más importantes son, por ejemplo:

- Alto grado de control de datos.
- Flujo dinámico de la información entre todas las áreas involucradas en el proceso.
- Un sistema de información con la misma filosofía en cada área técnica operable mediante el uso de los recursos humanos y materiales disponibles.
- Estandarización de criterios y aplicación de experiencias racionales y óptimas que ayudarán a la homogeneización de los procesos directos e indirectos de inspección a presas, detección de lo relevante durante los recorridos de campo, incorporación de la información técnica obtenida de presas visitadas y administración sencilla de esa información, dentro de todos los organismos.
- Atiende a las demandas más insistentes.
- El proceso de reproducción de la actualización evita pérdidas de información, debido a mala protección de los respaldos.
- Es un sistema fácilmente manejable, que no sería afectado por los procesos de rotación de personal y/o cambio de ellos.
- Sistema económico, que no requiere gastos que salen de un presupuesto razonable.

El Sistema Informático se desarrolló con la finalidad de administrar, controlar y apoyar las tareas de consulta, actualización y transferencia de información referente a las presas.

Es un vínculo global diseñado para proporcionar al usuario del SEDP el manejo de información, elaboración de informes, extracción, validación e integración de datos.

5.1.2. Estructura y operación del Sistema de Soporte Informático

La parte de estructura y almacenamiento de datos del SSI fue desarrollado en "software" ORACLE DESIGNER y ORACLE DEVELOPER. El sistema de soporte y manejo de base de datos relacional para obras hidráulicas es ORACLE SERVER V8 y corre en plataforma WINDOWS NT.

Para acceder y manipular los datos fue desarrollado otro componente de SSI (aplicación final utilizando MS Access), que permite correr consultas desde cualquier computadora personal con plataformas WINDOWS NT, WINDOWS 95/98.

El sistema puede ser utilizado en dos modalidades: uso independiente o uso en conjunto con SEDP.

La aplicación de acceso de SSI (AA SSI) consta de una interfaz gráfica, que opera con base en un conjunto de menús estructurados mediante pantallas, ventanas y demás controles manipulados mediante ratón, donde el usuario puede realizar consultas descriptivas de cada una de las partes que componen las presas.

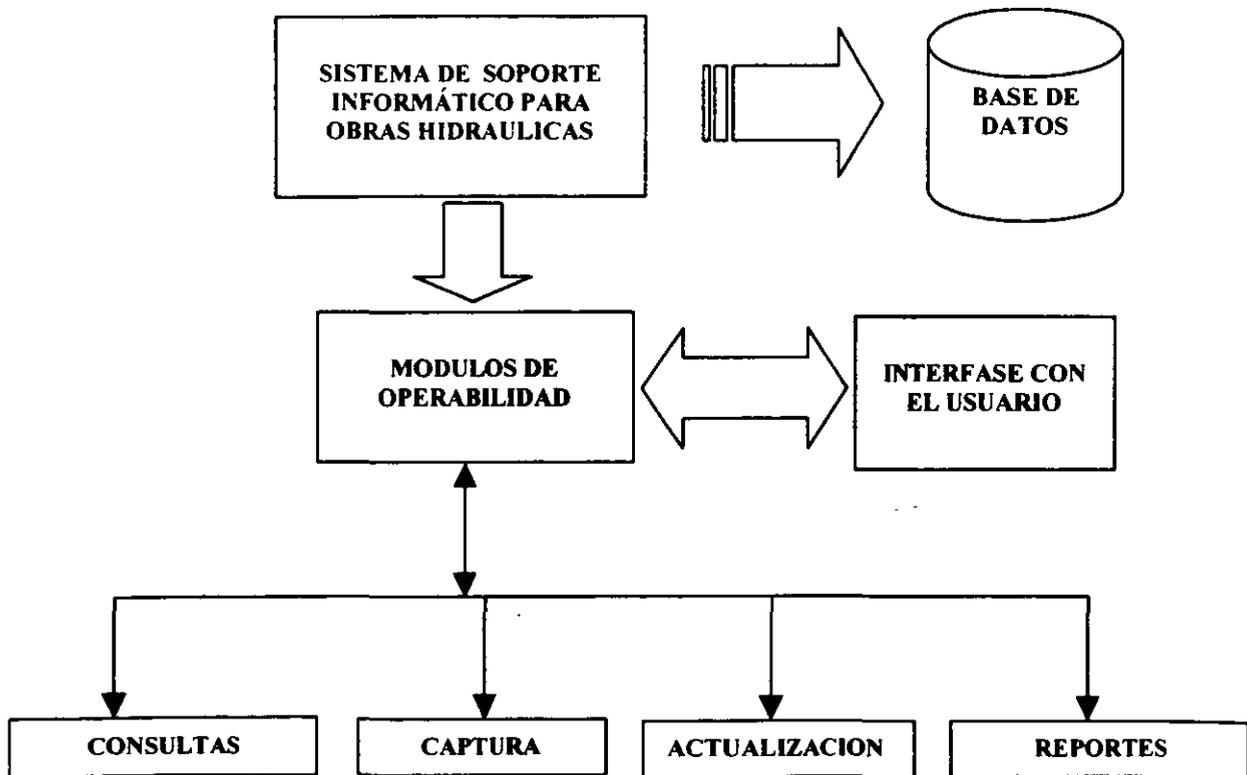


Figura 5-1. Esquema funcional del SSI

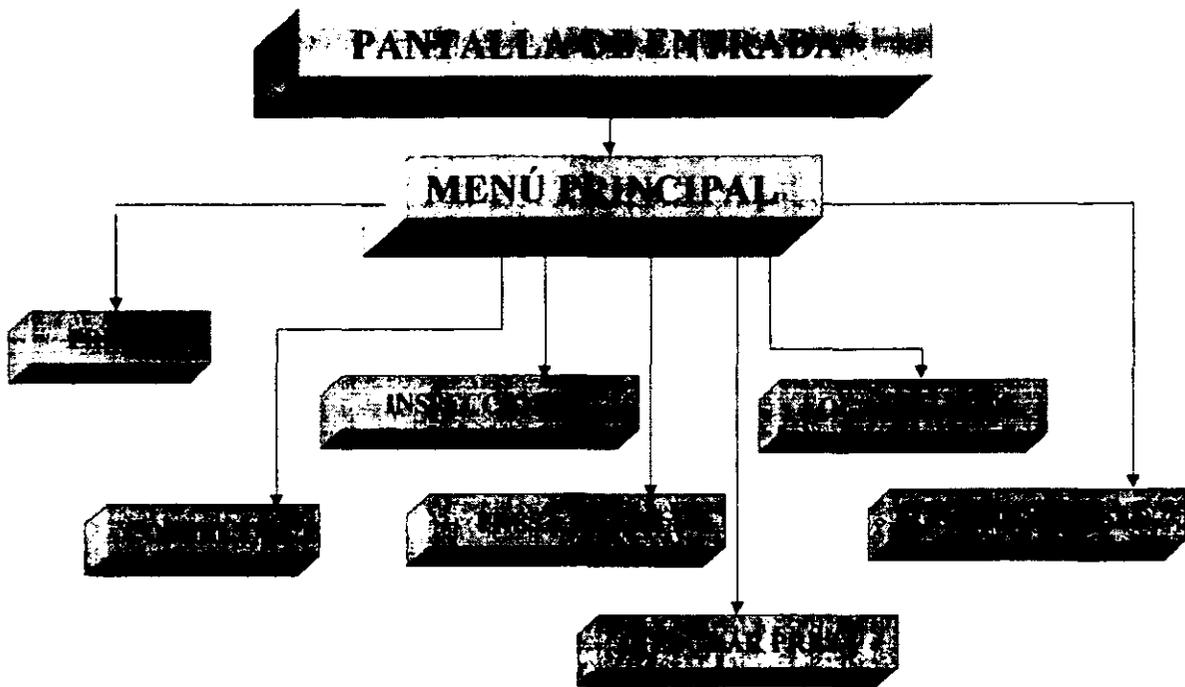


Figura 5-2. La estructura general del AA SSI

En la Figura 5-2 se muestra la estructura general de aplicación de SSI que está integrada con los módulos informáticos siguientes:

- PRESAS
- GRANDES PRESAS
- INSPECCIONES
- CONSULTAS
- LOCALIZACIÓN
- INTEGRAR PRESA
- NUEVA PRESA

El AA SSI funciona mediante pantallas de captura e iconos de acceso a sus distintos módulos. Su interfaz gráfica se maneja mediante el ratón y el teclado.

Al iniciar la sección, el sistema despliega el menú principal. En éste se puede tener acceso a los módulos del SSI mediante un <click> en el botón correspondiente (ver Figura 5-3).

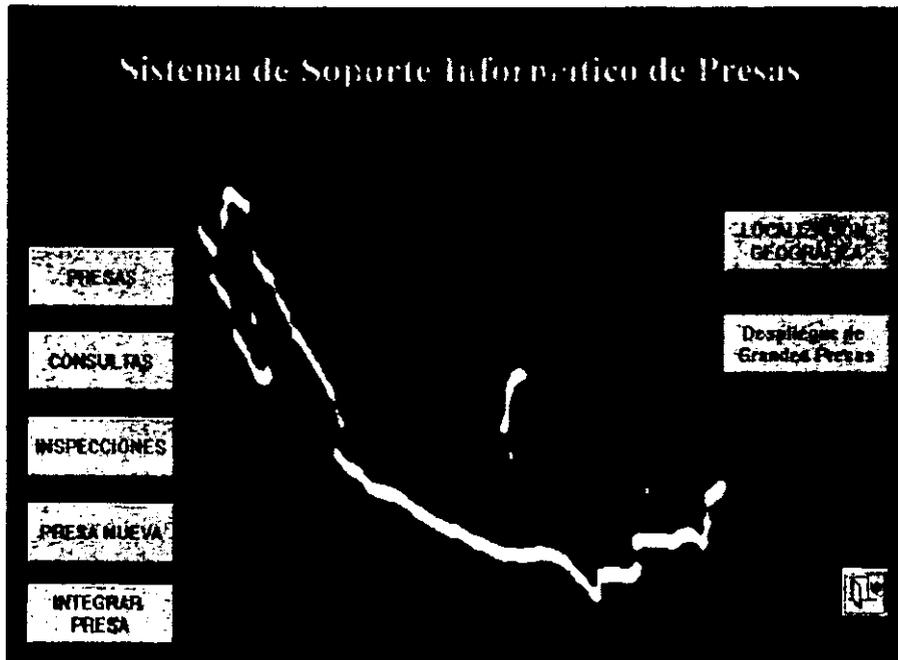


Figura 5-3. Menú principal del AA SSI

Los procesos operativos principales del sistema AA SSI son los siguientes:

1. Consultas a la base de datos del SSI
2. Edición, que permite modificar la información de las presas
3. Extracción de micro archivo
4. Integración de micro archivo
5. Impresión de informes
6. Creación de registro para presa nueva
7. Eliminar una presa de la base de datos

Además de listados, existen otras acciones dentro del esquema general de funcionamiento del SSI, tales como el llenado del formato de inspección de presa y el envío del micro archivo por correo electrónico.

5.1.2.1. Módulo Presas

Este módulo es el punto de partida para las operaciones con el sistema, desde aquí se puede tener acceso a:

- Extraer datos
- Modificar datos
- Generar formato de inspección
- Generar nuevo informe de inspección
- Generar informe sobre la presa

1847	COO CALIENTE	COO CALIENTE
1848	COO DE AGUA	TEPERUAJE
1849	ORGANOS LOS	ORGANOS LOS
1850	OSOFIO	COCRIO
1851	PAJARITOS	PAJARITOS
1852	PALO VERDE	PALO VERDE
1853	PARTIDAS	PARTIDAS
1854	PASAMAN EL	BORDO NUEVO
1855	PASAMAN EL (D1)	BORDO NUEVO
1856	PASAMAN EL (D2)	BORDO NUEVO
1857	PASAMAN EL (D3)	BORDO NUEVO
1858	PATOTO I EL	PATOTO I EL

PRESA seleccionada: PALO VERDE

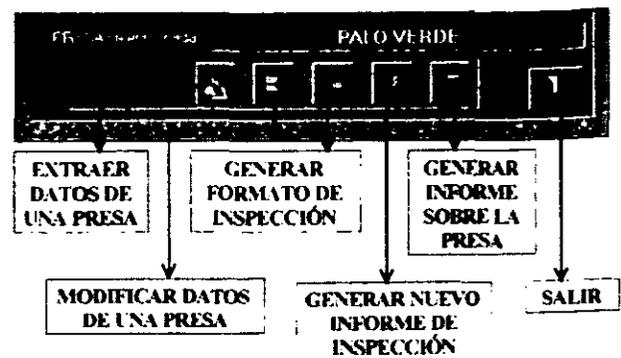


Figura 5-4. Pantalla de módulo PRESAS

Para efectuar cualquier operación, se puede seleccionar previamente la presa con la que se va a trabajar haciendo <click> en la “>” del extremo izquierdo del renglón correspondiente a la presa elegida; el diseño del sistema obliga a trabajar con los datos de una sola presa. Esto es importante, ya que el usuario está utilizando SEDP para una presa a la vez y los datos deben pertenecer a dicha presa antes de poder elegir otra.

Cada botón de la parte inferior, da acceso a diferentes procesos informáticos del sistema, la función de cada uno de ellos se explicará posteriormente en este trabajo. Al acercarse el cursor a cada uno de los iconos aparecen textos que indican la operación disponible en cada módulo, las cuales son:

- **EXTRAER DATOS DE UNA PRESA.** Permite la creación de un micro archivo que contiene todos los datos de la presa seleccionada.
- **MODIFICAR DATOS DE UNA PRESA.** Da acceso al módulo de edición, en el que tendrá la posibilidad de modificar y/o capturar diferentes informaciones referentes a la presa seleccionada.
- **GENERAR FORMATO DE INSPECCIÓN.** Da acceso al despliegue e impresión del formato del informe de inspección visual previo a la visita, que contendrá los datos existentes en la base de datos relativos a la presa seleccionada.
- **GENERAR NUEVO INFORME DE INSPECCIÓN.** Da acceso a generar la plantilla del formato de inspección visual de la presa a visitar.
- **GENERAR INFORME SOBRE LA PRESA.** Da acceso a ver e imprimir el formato del RNP de la presa seleccionada, con los datos existentes en la base de datos.

5.1.2.2. Consultas

El sistema ofrece varias alternativas para hacer consultas a la base de datos. Se puede realizar lo siguiente:

- Consultar la base de datos usando criterios de búsqueda
- Consultar el listado de las Grandes Presas de México
- Consultar la lista de localización geográfica de las presas

➤ Consultar los registros de las visitas de inspección realizadas a presas

5.1.2.2.1. Módulo Consultas

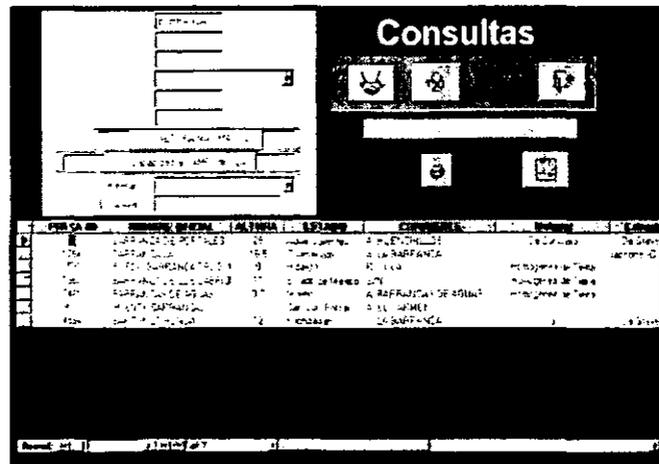


Figura 5-5. Pantalla de módulo Consultas

Este módulo permite consultar la base de datos conforme a las condiciones definidas en el cuadro de criterios, que es el recuadro gris del lado superior izquierdo de la pantalla.

Para realizar una consulta se requiere introducir datos en los campos apropiados (espacios en blanco) del cuadro de criterios. Hay dos tipos de campo: en el de captura directa se teclea directamente el dato apropiado, y el de opciones preestablecidas, donde se hace <click> en la flecha del extremo derecho "v" del campo, que desplegará un catálogo de opciones. Para elegir una opción, se hace <click> en el dato apropiado.

Después de capturar los datos en el recuadro de criterios, se hace <click> en efectuar consulta, posteriormente el sistema desplegará una tabla con registros de presas que cumplen con los criterios de búsqueda establecidos.

Se puede seleccionar cualquier presa del listado para trabajar con ella, haciendo <click> en el extremo izquierdo del renglón correspondiente. Una vez elegida la presa, se puede imprimir el formato del SSI correspondiente, o ingresar al módulo de edición para modificar sus datos.

Si el resultado de la consulta no es el deseado, puede realizar una nueva consulta, siguiendo los siguientes pasos:

- Oprimir el botón BORRAR para generar una nueva consulta
- Llenar de nuevo el cuadro de criterios con aquellos datos que sean apropiados
- Oprimir el botón EFECTUAR CONSULTA

En la parte inferior izquierda aparece un contador que en su extremo derecho le informa del total de registros que cumplen con el criterio.

Como ejemplo en la Figura 5-6 se despliega la lista de las presas del estado de Jalisco cuyas alturas están entre los veinte y los treinta y cinco metros.

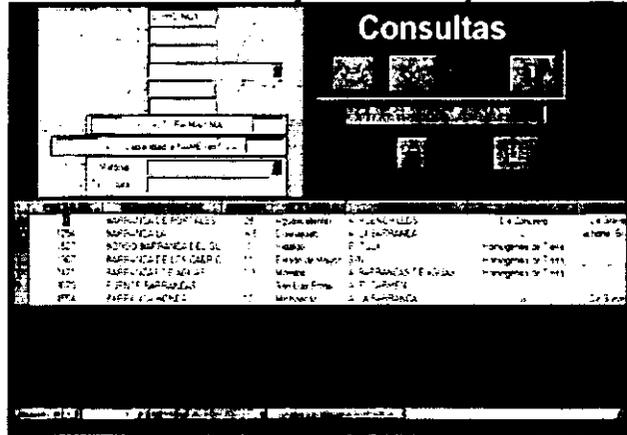


Figura 5-6. Lista de las presas del estado de Jalisco cuyas alturas están entre los veinte y los treinta y cinco metros

5.1.2.2.2. Grandes Presas de México

Al entrar en este módulo, el sistema AA SSI despliega un listado que contiene las grandes presas de México, que son aquellas que cumplen alguna de las condiciones siguientes:

- Altura sobre el cauce mayor a quince metros.
- Altura sobre el cauce entre 10 y 15 m y longitud de corona mayor de 500 m.
- Altura sobre el cauce entre 10 y 15 m y volumen al NAME mayor de un millón de m³.

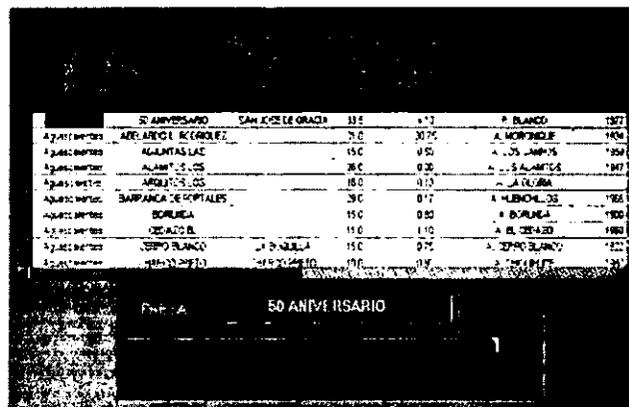


Figura 5-7. Pantalla de módulo Grandes Presas de México

Desde este módulo no se pueden modificar datos. Esta lista tiene un propósito únicamente informativo, ya que desde éste no pueden modificar los datos de ninguna presa, sin embargo se pueden imprimir o copiar a otra aplicación.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

5.1.2.2.3. Localización Geográfica de Presas

Este módulo proporciona un listado ordenado alfabéticamente con las coordenadas de localización geográfica correspondientes a las presas registradas en el SSI. Aunque es únicamente de carácter informativo se puede imprimir o copiar a otra aplicación.

Para salir de este módulo, se debe oprimir el botón SALIR, con lo que regresará al menú principal.

NOMBRE PRESA	CANTÓN	PROVINCIA	CODIGO	COORDENADAS
1. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
2. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
3. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
4. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
5. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
6. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
7. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
8. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
9. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
10. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
11. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
12. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
13. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
14. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
15. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
16. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
17. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
18. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
19. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
20. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
21. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
22. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
23. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
24. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
25. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
26. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
27. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
28. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
29. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W
30. ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	1001110	22 11 07 S 78 00 00 W

Figura 5-8. Pantalla de módulo localización geográfica

5.1.2.2.4. Registros de las visitas de inspección

INSPECCIONES

NÚMERO:
 FECHA INICIAL:
 FECHA FINAL:
 ESTADO:
 REGIÓN:

NÚMERO	NOMBRE PRESA	CANTÓN	PROVINCIA	FECHA
1	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/01
2	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/02
3	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/03
4	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/04
5	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/05
6	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/06
7	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/07
8	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/08
9	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/09
10	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/10
11	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/11
12	ABELARDO	SAN JOSE DE GRACIA	Azuay	2005/12

Figura 5-9. Pantalla de módulo de Inspecciones

Este módulo permite realizar las siguientes operaciones:

- Búsqueda de los registros correspondientes al informe de una visita de inspección visual ya realizada.

- Modificar el contenido de los informes de inspección visual de visita a una presa existentes en la base de datos.
- Impresión del informe de inspección visual de visita a una presa.

Para examinar los registros del RNP correspondientes a las visitas de inspección, estas deben haber sido registradas previamente, ya que únicamente hay acceso a los formatos de inspección visual residentes en la base de datos.

El módulo de Inspecciones cuenta con un cuadro de criterios análogo al módulo de consultas.

Para obtener un listado de los informes de inspección visual, se deben ingresar los datos apropiados en los campos del cuadro de criterios, en los campos de fecha debemos respetar el formato: dd/mm/aa, por ejemplo, la fecha 19 de Agosto de 1997 se capturará: 19/08/97.

Los demás campos del cuadro de criterios son de opciones preestablecidas, funcionan como los del módulo consultas. Al colocar el cursor en la tecla ▼ del extremo derecho del campo y hacer <click>, el sistema desplegará un catálogo de las opciones disponibles; para seleccionar una basta hacer <click> sobre ella. Una vez completo el criterio, se acciona el botón Efectuar Consulta, cuyo resultado es el despliegue de los registros que cumplen con el criterio establecido. A continuación se selecciona el informe de inspección de interés, haciendo <click> en el extremo izquierdo del renglón correspondiente.

Con el informe de inspección seleccionado, se puede proceder ya sea a modificarlo o a imprimirlo accionando el botón apropiado.

5.1.2.3. Edición de datos

El sistema ofrece dos posibilidades para esta actividad.

- Modificar datos de presa
- Modificar formato del informe de inspección visual

Entendiendo como edición a la acción de modificar los datos de un registro ya existente en la base de datos.

5.1.2.3.1. Modificaciones de datos de presa

Se tiene acceso a esta operación tanto desde el módulo presas como desde el módulo consultas, accionando el botón marcado para ese fin.

En cualquiera de los casos, para poder modificar los datos, primeramente debe seleccionarse el registro de la presa con la que va a trabajar; para esto, se debe hacer <click> en la tecla ">" del extremo izquierdo del renglón correspondiente. El diseño del sistema obliga a trabajar con los datos de una sola presa.

Cada botón de la parte inferior da acceso a una diferente operación del sistema, para poder editar datos, se debe accionar el segundo botón de izquierda a derecha del panel. El módulo consultas también cuenta con un botón para este fin, se debe elegir previamente la presa a editar accionando el botón correspondiente. En ambos casos el sistema desplegará la pantalla principal del módulo de edición.

A. Módulo de Edición

La primera pantalla da el acceso a los diferentes temas acerca de la presa, así como la posibilidad de modificarlos.

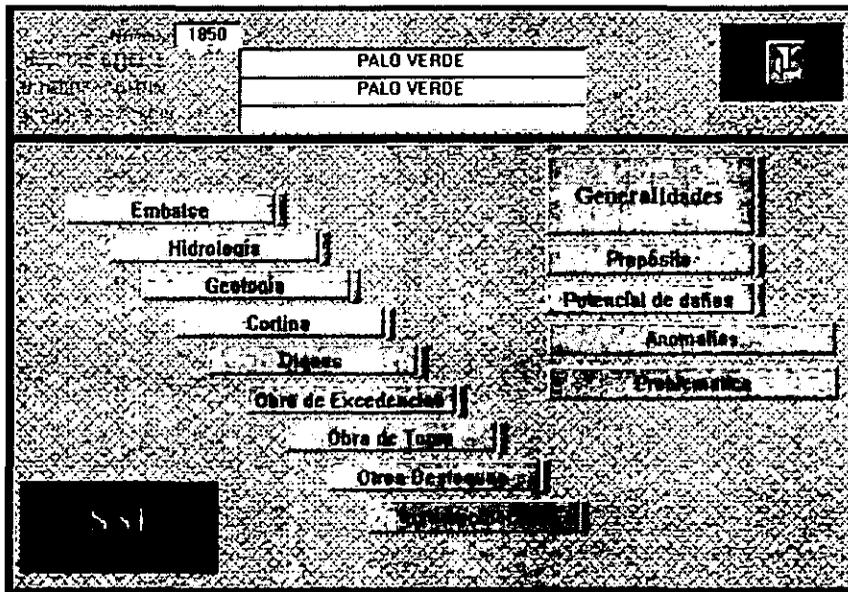


Figura 5-10. Pantalla de módulo de Edición

Para propósito de edición o de captura, los datos de la presa se encuentran agrupados en los siguientes temas:

- Generalidades
- Propósito
- Potencial de daños
- Anomalías
- Problemática
- Embalse
- Hidrología
- Geología
- Cortina
- Diques
- Obra de excedencia
- Obra de toma
- Otros desfogues
- Instrumentación

A continuación se presentan las diferentes pantallas que conforman este módulo junto con los datos que contiene cada una de ellas.

B. Generalidades

Esta Pantalla contiene la información general acerca de la presa aquí se encuentran los siguientes datos:

- Número de la Presa
- Nombre Oficial
- Nombre Común
- Estado
- Municipio
- Plan de Construcción
- Almacenamiento o Derivadora
- Diseñador
- Constructor
- Organismo Responsable
- Reparaciones y Modificaciones
- Comentarios
- Coordenadas de Localización
- Región CNA
- Corriente
- Número de Carta INEGI
- Número de Carta SEDENA
- Vía de Acceso
- Inicio de Construcción
- Fin de Construcción.

The screenshot shows a software interface titled "Generalidades" with a form for entering dam data. The form is organized into several sections:

- Top Section:** Includes a search bar with the number "100" and a small icon.
- Location Fields:**
 - ESTADO: JALISCO
 - MUNICIPIO: CHAPALA
 - Plan de Construcción: [Empty]
- Design and Construction Fields:**
 - DISEÑADOR: [Empty]
 - CONSTRUCCION: [Empty]
 - ORGANISMO RESPONSABLE: [Empty]
 - REPARACIONES Y MODIFICACIONES: [Empty]
- Identification Fields:**
 - REGIÓN CNA: [Empty]
 - CORRIENTE: [Empty]
 - NÚMERO DE CARTA INEGI: [Empty]
 - NÚMERO DE CARTA SEDENA: [Empty]
 - VÍA DE ACCESO: [Empty]
- Timeline Fields:**
 - INICIO DE CONSTRUCCIÓN: [Empty]
 - FIN DE CONSTRUCCIÓN: [Empty]
- Footer:** Shows the year "1972" and "SECRETARÍA DE GOBIERNO FEDERAL" on the right.

Figura 5-11. Pantalla de módulo de Generalidades

C. Propósito

Esta pantalla contiene información referente al propósito de la presa, al hacer <click> en las distintas opciones, el sistema despliega los campos referentes a cada una de ellas. Contiene la siguiente información:

- Control de avenidas
- Superficie protegida
- Riego
- Superficie de proyecto
- Superficie actualmente regada
- Gasto máximo
- Generación eléctrica
- Potencia instalada
- Gasto máximo
- Agua potable
- Volumen
- Gasto máximo

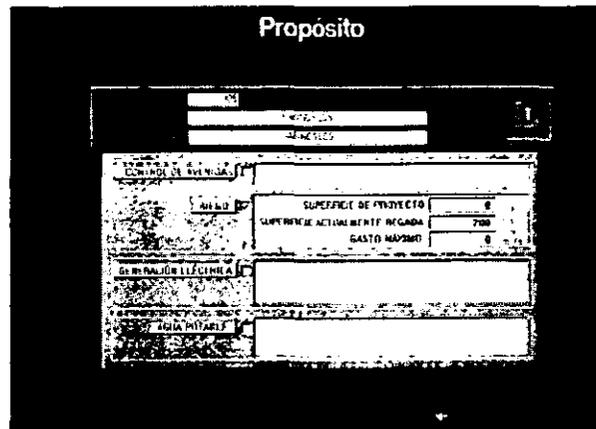


Figura 5-12. Pantalla de módulo de Propósito

D. Potencial de daños

En esta pantalla se reportan las poblaciones que resultarían afectadas en caso de falla de la presa, tiene capacidad para tres poblaciones. Los datos registrados para cada población son:

- Nombre oficial
- Número de presa
- Población afectada
- Nombre
- Número de habitantes
- Distancia de la presa a la población

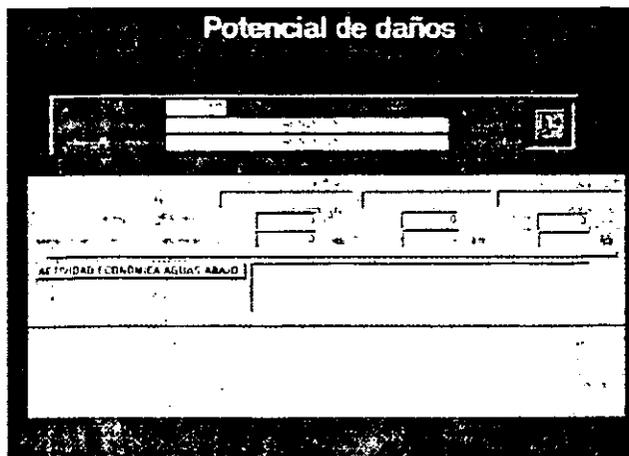


Figura 5-13. Pantalla de módulo de Potencial de Daños

E. Anomalías

En esta pantalla se reportan los principales tipos de anomalías que se encuentren en la presa en forma de un comentario escrito. Las anomalías que puede reportar en esta pantalla se refieren a:

- Filtraciones
- Tubificaciones
- Asentamientos y desplazamientos
- Agrietamientos
- Estabilidad de taludes
- Estabilidad de laderas
- Equipo electromecánico
- Otras observaciones

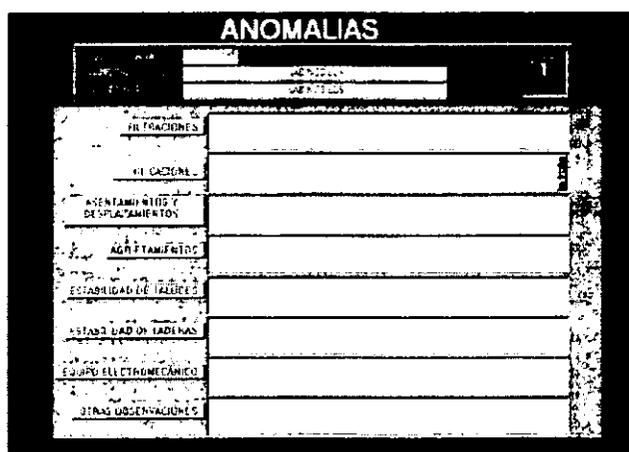


Figura 5-14. Pantalla de módulo de Anomalías

F. Embalse

Esta pantalla, que reúne los datos acerca de los parámetros del embalse de la presa contiene los siguientes datos:

- Nombre oficial
- Volumen al namo
- Volumen al name
- Volumen al namino
- Volumen de azolves
- Control de avenidas anuales
- NAMO
- NAME
- NAMINO
- Fecha de primer llenado
- Elevación de la corona

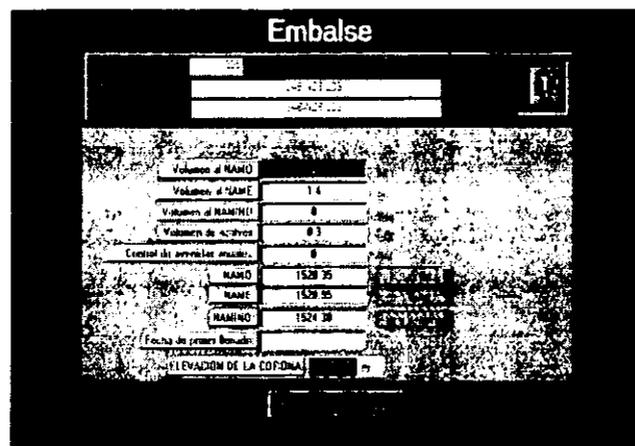


Figura 5-15. Pantalla de módulo de Embalse

G. Tratamientos

En esta pantalla se asentará la información acerca de los tratamientos de la cimentación han sido realizados. Contiene los siguientes datos:

- Drenaje local
- Anclaje
- Inyección local
- Pantalla de impermeabilización
- Pantalla de drenaje
- Losas de concreto

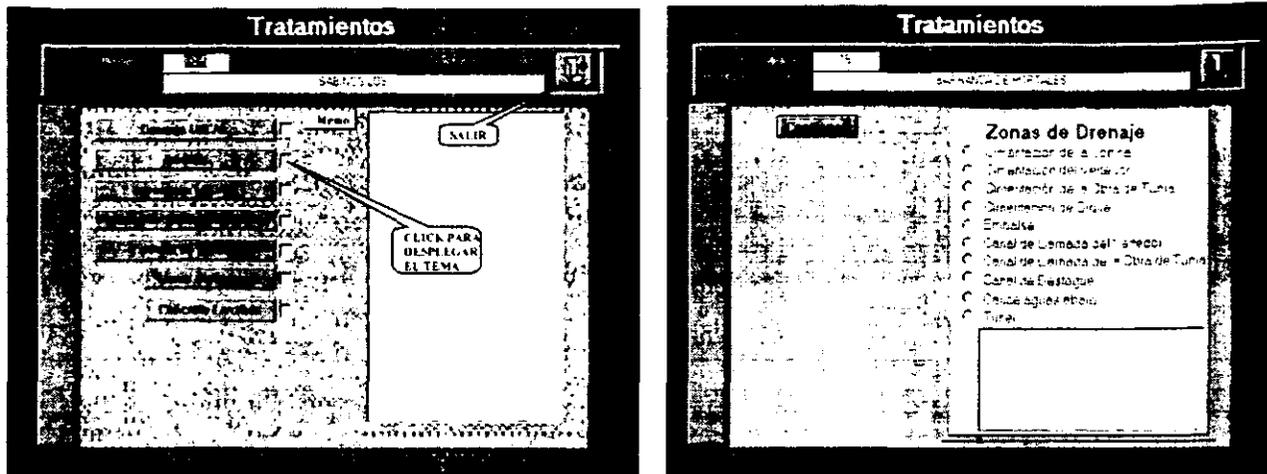


Figura 5-16. Pantallas de módulo de Tratamientos

Al marcar [✓] en alguna de las opciones se despliega otra pantalla donde se registra información más específica. Por ejemplo, si se activa la opción relativa a drenaje local, se despliega la pantalla complementaria a la anterior, donde se registran los siguientes elementos:

- Cimentación de cortina
- Cimentación de vertedor
- Cimentación de obra de toma
- Cimentación de dique
- Embalse
- Canal de llamada del vertedor
- Canal de la obra de toma
- Canal de desfogue
- Cause aguas abajo túnel
- Comentario

Las demás alternativas de la primera pantalla de tratamientos, producen el despliegue de pantallas similares a ésta.

H. Hidrología

En esta pantalla se registran los siguientes datos:

- Avenida de diseño
- Gasto máximo de diseño
- Período de retorno
- Volumen de la avenida
- Avenida máxima registrada
- Volumen
- Gasto máximo
- Precipitación registrada
- Promedio
- Máxima

Figura 5-17. Pantalla de módulo de Hidrología

I. Geología

Aquí se registrarán en forma de comentario, las informaciones relativas a la geología del sitio donde se encuentra la presa, se podrán registrar las siguientes informaciones:

- Geología regional
- Geología del vaso
- Geología de la boquilla
- Exploraciones
- Discontinuidades o fallas tectónicas

Figura 5-18. Pantalla de módulo de Geología

J. Cortina

En esta pantalla se registran los datos de cortinas que cuenta hasta con tres cuerpos.

- Nombre oficial
- ID. presa
- Cuerpo de la cortina
- Material
- Estructura
- Altura máxima
- Elevación de la corona
- Longitud de la corona
- Ancho de la corona
- Ancho base sección máxima
- Talud aguas abajo
- Talud aguas arriba
- Volumen de cuerpo
- Altura sobre el cauce

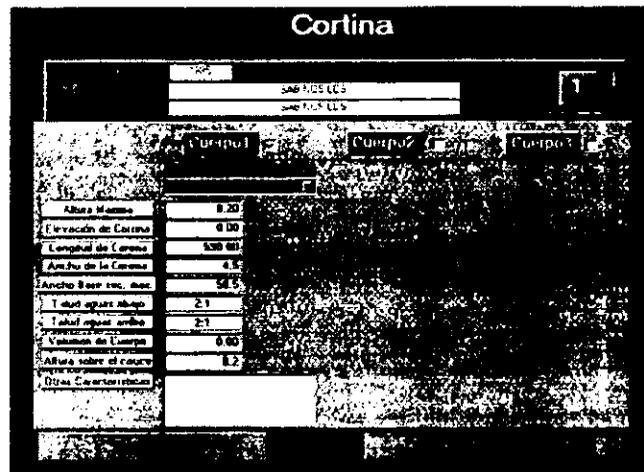


Figura 5-19. Pantalla de módulo de Cortina

K. Cimentación de Cortina

Complementa a la pantalla anterior.

- Tipos de suelo o roca
- Permeabilidad
- Descripción

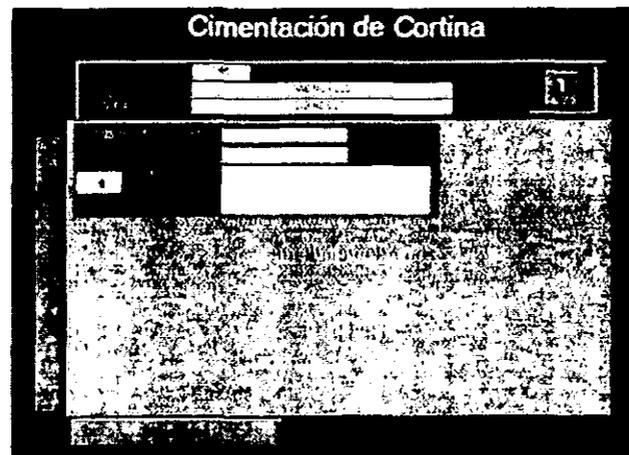


Figura 5-20. Pantalla de módulo de Cimentación de la Cortina

L. Diques

Puede registrar la siguiente información para presas con un máximo de tres diques.

- Material
- Estructura
- Altura máxima
- Elevación de corona
- Longitud de corona
- Ancho de la corona
- Taludes aguas abajo
- Taludes aguas arriba
- Volumen de cuerpo

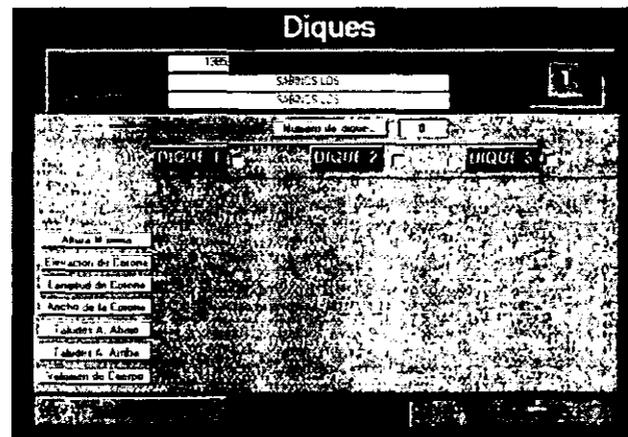


Figura 5-21. Pantalla de módulo de Diques

De esta pantalla se puede pasar a las de tratamientos y cimentaciones que son análogas a las anteriormente vistas.

M. Obra de Excedencias

El sistema tiene capacidad para un máximo de tres vertedores, en esta pantalla se registran los siguientes datos:

- Tipo
- Disipador
- Descarga máxima
- Capacidad al name
- Cresta
- Elevación
- Longitud
- Agujas
- Altura
- Número de compuertas
- Tipo
- Descripción
-

A partir de aquí, también hay acceso a tratamientos y cimentaciones, accionando el botón correspondiente.

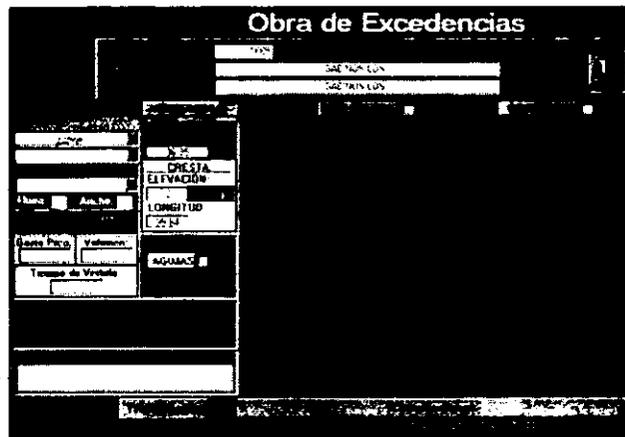


Figura 5-22. Pantalla de módulo de Obra de Excedencias

O. Obra de Toma

El sistema tiene capacidad para registrar un máximo de tres obras de toma, cada una de ellas contiene los siguientes datos:

- Gasto combinado
- Obra de toma

- Tipo
- Capacidad
- Elevación umbral
- Compuertas
- Cantidad
- Tipo de compuertas
- Alto
- Ancho
- Rejillas
- Válvulas
- Cantidad
- Tipo de válvulas
- Conducto

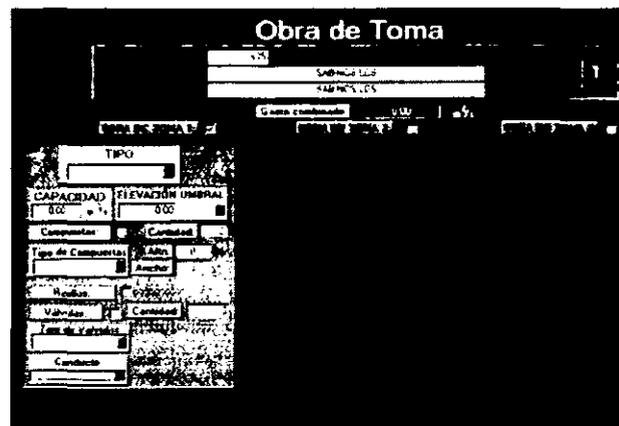


Figura 5-23. Pantalla de módulo de Obra de Toma

P. Otros Desfogues

Aquí se registrarán las obras de desfogue adicionales existentes en la presa, contiene los siguientes datos:

- Presencia: [✓]
- Propósito
- Tipo
- Capacidad
- Dimensiones
- Elevación del umbral

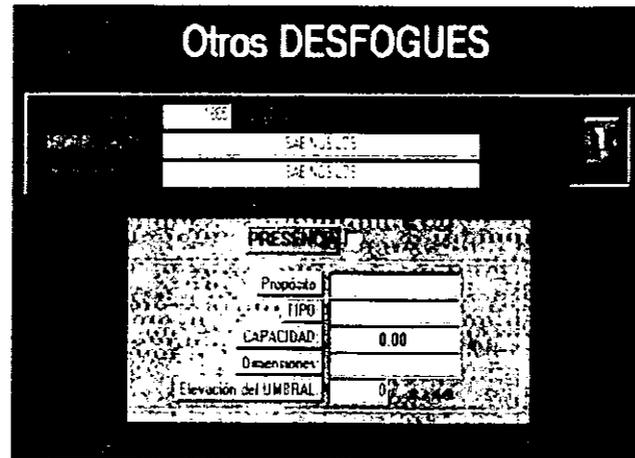


Figura 5-24. Pantalla de módulo de Otros Desfogues

Q. Instrumentación

Aquí se registran los instrumentos de medición existentes en la presa, contiene los siguientes datos para cada instrumento:

- Nombre
- Cantidad
- Descripción
- Localización

Los instrumentos considerados en el RNP son los siguientes:

- Medidores de nivel
- Medidores de gastos
- Red de nivelación
- Red de colimación
- Red de triangulación
- Acelerógrafos
- Celdas de presión
- Piezómetros
- Inclínómetros
- Medidores de juntas
- Péndulos
- Extensómetros
- Termómetros

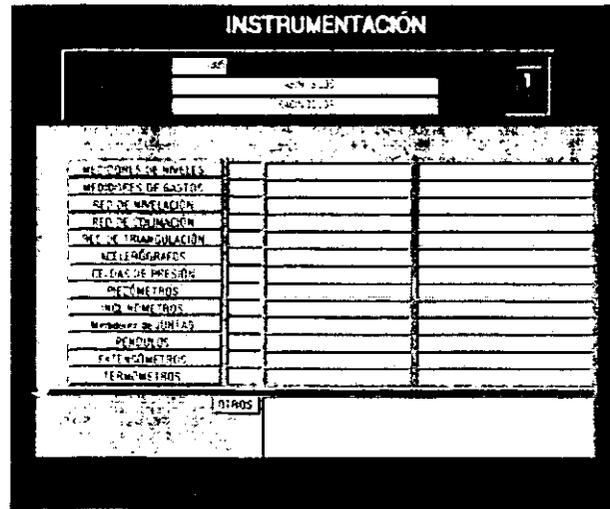


Figura 5-25. Pantalla de módulo de Instrumentación

5.1.2.3.2. Modificación de los datos del formato para informe de inspección visual

El acceso a esta operación es a través del módulo Inspecciones (ver Figura 5-9) del menú principal, al accionar este botón el sistema despliega la pantalla de la izquierda. El sistema despliega la pantalla de inspecciones.

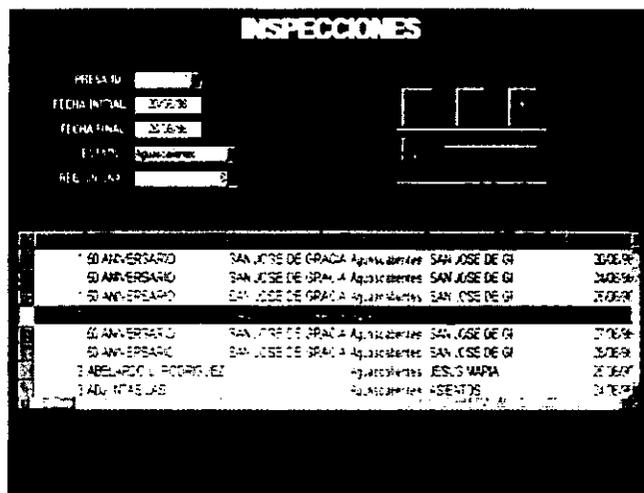


Figura 5-26. Pantalla de Inspecciones

El procedimiento es el siguiente:

- Se selecciona el reporte de visita de inspección a la presa que sea de interés.
- Se llena el recuadro de criterios con los datos apropiados
- Se acciona el botón EFECTUAR CONSULTA

El sistema desplegará la lista de reportes de visita a presa que cumplan con el criterio establecido (ver Figura 5-9).

- Se selecciona el reporte de interés haciendo <click> en el extremo izquierdo del renglón correspondiente.
- Se acciona el botón MODIFICAR INFORME.

El sistema despliega una segunda pantalla, en la cual puede capturarse la información (Figura 5-27) . Para recorrer el informe se utilizan las barras de desplazamiento

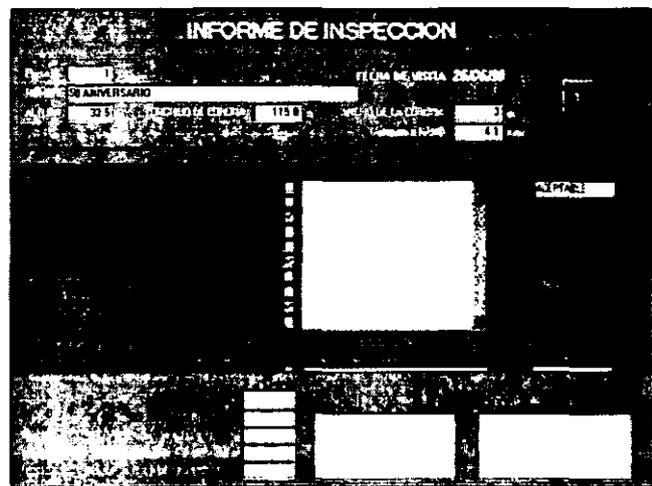


Figura 5-27. Pantalla de edición del informe de inspección

El sistema actualiza la información en tiempo real.

Una vez terminada la edición del informe, se acciona el botón SALIR para regresar al módulo de Inspecciones.

5.1.2.4. Creación de un nuevo registro en la base de datos (Presa Nueva)

Esta actividad se lleva a cabo por única vez cuando hay que capturar la totalidad de los datos correspondientes a una presa nueva.

La entrada a este módulo se realiza desde el menú principal (ver Figura 5-3); al activarlo el sistema muestra la pantalla de edición(Figura 5-10).

Este módulo también modifica de manera permanente el contenido de la base de datos y es el único módulo del sistema que permite la captura de absolutamente todos los datos de la presa.

5.1.2.5. Extracción de datos de la presa (micro archivo)

Esta actividad tiene lugar una vez que se han llevado a cabo las modificaciones a los datos de la presa. Tales modificaciones son resultado de la información recabada en la visita de inspección y subsecuente proceso de captura de tal información.

El acceso a este proceso es a partir del módulo PRESAS (Figura 5-4).

El sistema produce el microarchivo que contiene todas las tablas de la presa seleccionada.

Al concluir esta tarea, el sistema manda un mensaje avisando de la conclusión exitosa de la tarea y de la localización del microarchivo producido.

5.1.2.6. Integración de microarchivo a la base de datos

Permite actualizar la información del SSI a partir de los "micro" archivos producidos en el proceso de extracción. La entrada en este proceso se encuentra en módulo de Presas (Figura 5-4).

El funcionamiento de este módulo altera de manera permanente el contenido de la base de datos del SSI, por lo cual se debe utilizar únicamente con información validada y verificada. Para poder integrar un micro archivo a la base de datos del SSI, éste debe existir en la carpeta PRESAS_PARA_INTEGRAR desde la cual se podrá integrar automáticamente por el sistema a la base de datos.

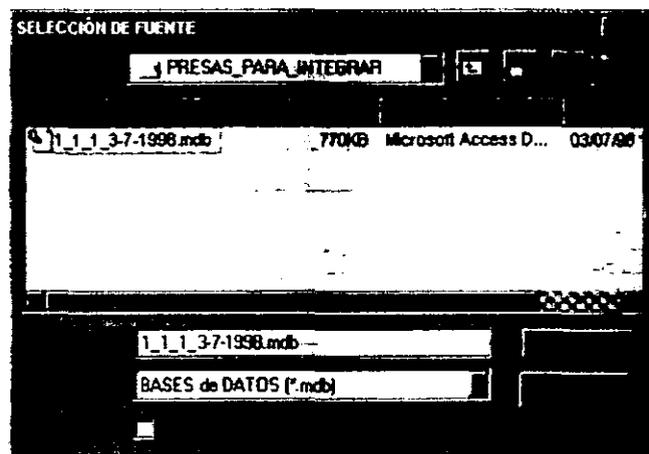


Figura 5-28. Pantalla de módulo Integrar Presa

5.1.2.7. Impresión de informes

El sistema tiene varias opciones para la impresión de informes, en particular:

- Informe de Inspección Visual
- Datos sobre la presa

5.1.2.7.1. Impresión de Informe de Inspección Visual de Seguridad de Presas

El Informe de Inspección Visual se realiza desde el módulo Inspecciones.

5.1.2.7.2. Impresión de datos sobre la presa

Para entrar a impresión existen dos posibilidades:

- Desde el módulo Consultas
- Desde el módulo Presas

En el módulo PRESAS.

Se selecciona la presa sobre la que se requiere imprimir los datos. Se acciona el botón GENERAR INFORME SOBRE LA PRESA (ver Figura 5-4).

El sistema desplegará un menú de impresión que permite imprimir toda la información disponible en la base de datos relativa a la presa seleccionada (Figura 5-29).

Dentro del menú de impresión se selecciona la opción correspondiente a los temas de interés y el sistema despliega una vista previa del informe a imprimir.

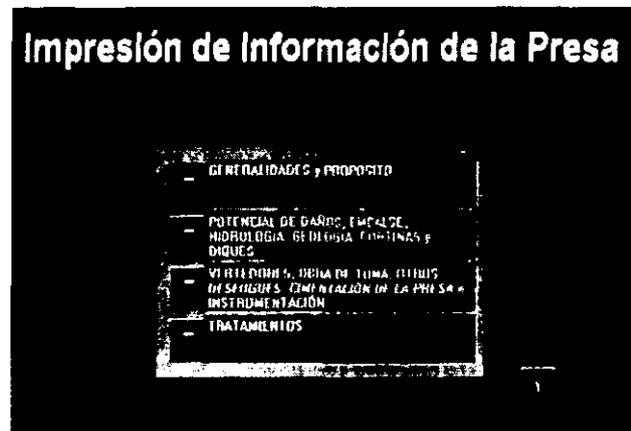


Figura 5-29. Pantalla de menú de impresión de los datos de la presa

Desde el módulo CONSULTAS:

Se selecciona la presa y se acciona el icono de la impresora.

El sistema desplegará un menú que permite imprimir toda la información disponible en la base de datos relativa a la presa seleccionada.

Dentro del menú de impresión se selecciona la opción correspondiente a los temas de interés. El sistema despliega una vista previa del informe a imprimir.

DATOS DE LA PRESA			
GENERALIDADES	11	NOMBRE SEXUAL	CUNILLA
	12	NOMBRE COMÚN	CUNILLA
	13	ESTADO	LIBRE
	14	PAIS	
	15	EXPERIENCIA	A. ANCHO
	16	TITULO DE INGENIERIA	
	17	EDUCACION	
	18	EDUCACION	
	19	FECHA DE NACIMIENTO	
	20	FECHA DE NACIMIENTO	
	21	FECHA DE NACIMIENTO	
	22	FECHA DE NACIMIENTO	
	23	FECHA DE NACIMIENTO	
	24	FECHA DE NACIMIENTO	
	25	FECHA DE NACIMIENTO	
26	FECHA DE NACIMIENTO		
27	FECHA DE NACIMIENTO		
28	FECHA DE NACIMIENTO		
29	FECHA DE NACIMIENTO		
30	FECHA DE NACIMIENTO		
31	FECHA DE NACIMIENTO		
32	FECHA DE NACIMIENTO		
33	FECHA DE NACIMIENTO		
34	FECHA DE NACIMIENTO		
35	FECHA DE NACIMIENTO		
36	FECHA DE NACIMIENTO		
37	FECHA DE NACIMIENTO		
38	FECHA DE NACIMIENTO		
39	FECHA DE NACIMIENTO		
40	FECHA DE NACIMIENTO		
41	FECHA DE NACIMIENTO		
42	FECHA DE NACIMIENTO		
43	FECHA DE NACIMIENTO		
44	FECHA DE NACIMIENTO		
45	FECHA DE NACIMIENTO		
46	FECHA DE NACIMIENTO		
47	FECHA DE NACIMIENTO		
48	FECHA DE NACIMIENTO		
49	FECHA DE NACIMIENTO		
50	FECHA DE NACIMIENTO		
51	FECHA DE NACIMIENTO		
52	FECHA DE NACIMIENTO		
53	FECHA DE NACIMIENTO		
54	FECHA DE NACIMIENTO		
55	FECHA DE NACIMIENTO		
56	FECHA DE NACIMIENTO		
57	FECHA DE NACIMIENTO		
58	FECHA DE NACIMIENTO		
59	FECHA DE NACIMIENTO		
60	FECHA DE NACIMIENTO		
61	FECHA DE NACIMIENTO		
62	FECHA DE NACIMIENTO		
63	FECHA DE NACIMIENTO		
64	FECHA DE NACIMIENTO		
65	FECHA DE NACIMIENTO		
66	FECHA DE NACIMIENTO		
67	FECHA DE NACIMIENTO		
68	FECHA DE NACIMIENTO		
69	FECHA DE NACIMIENTO		
70	FECHA DE NACIMIENTO		
71	FECHA DE NACIMIENTO		
72	FECHA DE NACIMIENTO		
73	FECHA DE NACIMIENTO		
74	FECHA DE NACIMIENTO		
75	FECHA DE NACIMIENTO		
76	FECHA DE NACIMIENTO		
77	FECHA DE NACIMIENTO		
78	FECHA DE NACIMIENTO		
79	FECHA DE NACIMIENTO		
80	FECHA DE NACIMIENTO		
81	FECHA DE NACIMIENTO		
82	FECHA DE NACIMIENTO		
83	FECHA DE NACIMIENTO		
84	FECHA DE NACIMIENTO		
85	FECHA DE NACIMIENTO		
86	FECHA DE NACIMIENTO		
87	FECHA DE NACIMIENTO		
88	FECHA DE NACIMIENTO		
89	FECHA DE NACIMIENTO		
90	FECHA DE NACIMIENTO		
91	FECHA DE NACIMIENTO		
92	FECHA DE NACIMIENTO		
93	FECHA DE NACIMIENTO		
94	FECHA DE NACIMIENTO		
95	FECHA DE NACIMIENTO		
96	FECHA DE NACIMIENTO		
97	FECHA DE NACIMIENTO		
98	FECHA DE NACIMIENTO		
99	FECHA DE NACIMIENTO		
100	FECHA DE NACIMIENTO		

Figura 5-30. Vista previa de uno de los reportes de datos de la presa

5.1.3. Manejo de datos de inspecciones

En esta sección se describen, desde el punto de vista informático, las actividades que debe hacer el ingeniero inspector *después* de realizar una visita de inspección a una presa.

5.1.3.1. Llenado manual de los formatos

Una vez finalizada la visita, el ingeniero inspector asienta sus datos y observaciones en los formatos de inspección.

El formato del Informe de Inspección Visual de Seguridad de Presas se llena manualmente; se marca con una ✓ en el cuadro correspondiente al problema de que se trate, si es que éste se presenta en la presa que se inspeccionó; en caso contrario se deja en blanco.

5.1.3.2. Generación del informe de inspección

Es importante que la información creada durante las visitas de inspección se concentre en el sistema automatizado del SSI para capturarla.

El sistema cuenta con opciones para obtener e imprimir Formato del Informe de Post-Inspección Visual de Seguridad de Presas.

- Para capturar los datos de una visita se procederá conforme a los siguientes pasos:
 - Dentro del módulo *Presas* se selecciona la presa requerida en la columna identificador de la presa (ID) y se presiona entonces el botón *Generar nuevo informe de inspección*. Se despliega una caja de diálogo que solicita la fecha en la cual se realizó la visita de inspección a la presa seleccionada. Automáticamente el programa asigna la fecha del

sistema, pero el usuario proporcionará la fecha correspondiente. Hecho esto se presionará el botón *Aceptar* para continuar con el proceso o *Cancelar* para suspenderlo.

- Se abre entonces en la pantalla una forma múltiple titulada "*Informe de Inspección Visual*". En la parte superior esta forma presenta un bloque donde despliega información que identifica a la presa; esta información no es editable y no se puede modificar. En la zona intermedia se presentan los bloques de la *Sección 2* del formato, donde se enlistan problemas que podrán detectarse sobre diferentes componentes de la presa. Los bloques son: talud aguas arriba; corona; talud aguas abajo; obra de toma; vertedores; monitoreo, mantenimiento y reparación; y, aspectos sociales y ambientales de la zona.

El programa es de uso sencillo, similar al manejo del formato de papel. Así que cada sección se llenará de acuerdo a los datos asentados previamente en forma manual por el ingeniero inspector; si cierto problema se presenta en uno de los aspectos considerados de la presa, se marca con una ✓, en caso contrario se deja en blanco. Una vez que se haya llenado el bloque actual, el usuario podrá pasar al siguiente bloque con la barra de desplazamiento, localizada en el lado derecho de la ventana.

Las Secciones 3 y 4 del formato se llenan escribiendo los comentarios pertinentes, en espacios en blanco reservados para tal propósito. Una vez terminada la sesión de captura de datos del Informe de Inspección Visual de Seguridad de Presas, se cierra esta forma de entrada-datos, presionando el botón *Salir*. Al hacerlo, la información se graba automáticamente en el sistema.

5.2. Implementación del Sistema Experto

5.2.1. Introducción

Se trata en esta etapa de plasmar en forma lógica, mediante árboles de causas y consecuencias, algunos conocimientos sobre el comportamiento de las presas.

El Sistema Experto se ha desarrollado dentro del ámbito LEVEL 5. OBJECT R:3.5 que puede usarse para aplicaciones "inteligentes". Usa un lenguaje llamado PRL (Production Rule Language), simple de aprender y leer con una sintaxis muy parecida a la utilizada por cualquier idioma. Puede proporcionar respuestas educadas y consistentes con las necesidades del ingeniero y permite el rastreo del razonamiento empleado. Cuenta con un interfaz gráfico para el usuario, ventanas y desplegados, además de un control general de los objetos de interfaz del usuario. Sus capacidades de lógica compleja son notables y cuenta con un acceso robusto y fácil a bases de datos, en particular orientadas en arquitectura de cliente-servidor. Es completamente portable a otras plataformas de "hardware" y sistemas operativos.

El campo de análisis de los problemas se ha dividido en los siguientes componentes:

- CIMENTACIÓN
- EMBALSE
- VERTEDOR
- PRESA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO
- PRESA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO
- PRESA DE CONCRETO

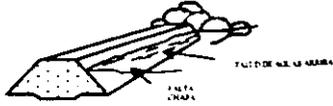
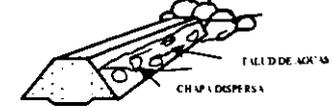
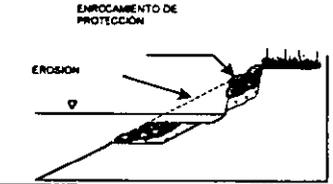
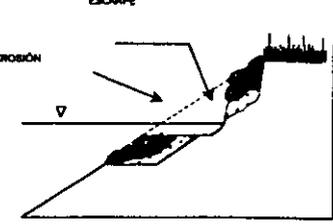
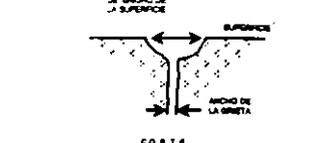
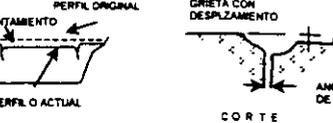
5.2.2. Tablas de signos y síntomas de fallas (manifestaciones).

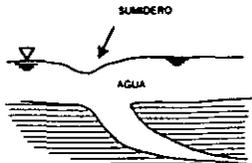
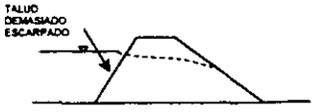
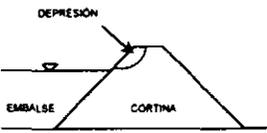
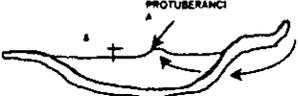
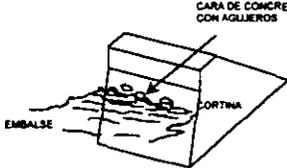
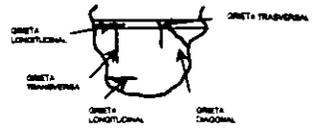
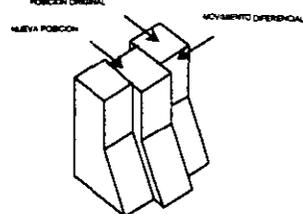
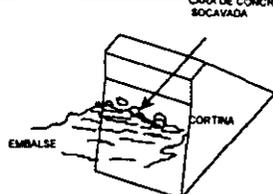
Como se expresó anteriormente, la seguridad de una presa en operación puede ser controlada por un grupo de parámetros, llamados los parámetros diagnósticos. La medición y análisis de esos parámetros permite tomar oportunamente las decisiones necesarias para el diagnóstico del comportamiento de la presa.

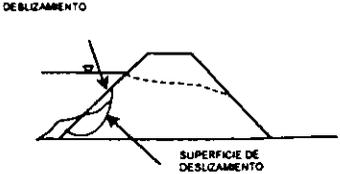
Basándose en datos y síntomas proporcionados por las inspecciones, los reportes, los análisis de base del comportamiento iniciados por el usuario o grupo de usuarios, el Sistema Experto podrá ayudar a descubrir un mal funcionamiento de la obra hidráulica seleccionada y ofrecer a los especialistas una lista de causas posibles.

En esta etapa del trabajo fueron desarrolladas las listas y tablas de deficiencias (síntomas o manifestaciones) de mal funcionamiento de la obra hidráulica (ver Apéndices). Todas las manifestaciones fueron agrupadas por el lugar de origen en forma de tablas. Por ejemplo, en la Tabla 5-1 están representados los fenómenos para talud aguas arriba de la presa de tierra y enrocamiento con cara de concreto.

Tabla 5-1

TÉRMINO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
CHAPA DE ROCA FALTA	Cuando no existe un recubrimiento de roca en el talud.	
CHAPA DE ROCA DISPERSA	Cuando existe parcialmente o de manera aislada un recubrimiento de roca en el talud.	
CHAPA DE ROCA DESPLAZADA	Cuando el recubrimiento de roca del talud ha sido movido de su lugar original debido a factores ambientales.	
CHAPA DE ROCA ALTERADA	Cuando el recubrimiento de roca del talud esta deteriorado debido principalmente a los agentes intemperizantes.	
EROSIÓN POR OLEAJE	Cuando la acción continua del oleaje en el talud de aguas arriba provoca orillas lavadas, escarpes y degradación de la protección del talud.	
EROSIÓN POR OLEAJE CON ESCARPES	Es el tipo de erosión donde la acción del oleaje y de congelamiento del talud de aguas arriba, así como el asentamiento local debido a la remoción del material de apoyo, produce la erosión y el deslizamiento de los suelos y rocas hacia la parte baja del talud.	
GRIETAS	Aberturas en las superficies del talud distribuidas irregularmente.	
GRIETAS CON DESPLAZAMIENTOS	Son grietas que dan lugar a movimientos de bloques del cuerpo de la cortina.	

<p>SUMIDEROS</p>	<p>Es un drenaje que se forma en algún sitio de la presa.</p>	
<p>DEMASIADO ESCARPADO</p>	<p>La inclinación del talud es muy fuerte. Podrían propiciarse deslizamientos e inestabilidad del talud.</p>	
<p>ASENTAMIENTOS EXCESIVOS</p>	<p>Es un asentamiento en el talud de la presa. Podría ocasionar el corrimiento del cuerpo de la presa en dirección de aguas arriba o aguas abajo.</p>	
<p>PROTUBERANCIAS</p>	<p>Son salientes del material que compone la cortina debido a esfuerzos internos.</p>	
<p>CARA DE CONCRETO CON AGUJEROS</p>	<p>Cuando la superficie del concreto del talud presenta depresiones cónicas poco profundas como resultado de la presión interna, impactos, abrasión o por desintegración localizada.</p>	
<p>CARA DE CONCRETO CON GRIETAS</p>	<p>Cuando la superficie del concreto del talud presenta la separación de una o más partes produciendo un espacio entre estas. La dirección de las grietas puede ser longitudinal, transversal, horizontal, vertical, diagonal o en patrones aleatorios.</p>	
<p>CARA DE CONCRETO CON DESPLAZAMIENTOS</p>	<p>Cuando la superficie del concreto del talud presenta grietas anchas de tipo estructural. La abertura puede ensancharse como resultado de la carga propia, hidrostática y térmica.</p>	
<p>CARA DE CONCRETO SOCAVADA</p>	<p>La superficie presenta una erosión o desgaste debido al paso de caudales veloces con materiales abrasivos, grava, piedras etc. arrastrados por el agua.</p>	

<p>DESLIZAMIENTOS</p>	<p>Se presenta cuando un talud, estructura o un componente se mueve de su posición original debido a hundimiento de la cimentación, reacciones químicas del concreto, comportamiento estructural de la presa o por aplicación de cargas de magnitud excepcional.</p>	
-----------------------	--	---

Todas estas manifestaciones fueron agrupadas según el tipo de cortina y según la división estructural de la obra hidráulica en modelo del problema (CORTINA, CIMENTACIÓN, VERTEDOR, etc.). Ejemplo de esta parte del trabajo está representado en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2

	CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO	CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO	CORTINA DE CONCRETO
	Vegetación	Vegetación	
	Agrietamiento superficial (<i>Longitudinal, Transversal</i>)		Agrietamiento superficial
	Asentamiento de la superficie	Asentamiento de la superficie	ASENTAMIENTOS excesivos
	Inclinación de postes	Inclinación de postes	Inclinación de postes
	Deformación de parapeto	Deformación de parapeto	Deformación del parapeto
	Sumideros		
	Desplazamientos HORIZONTALES	Desplazamientos HORIZONTALES	Desplazamientos HORIZONTALES
	Erosión por oleaje	Erosión por oleaje	
		Desplazamientos en las juntas de contracción	
Talud de aguas arriba	Vegetación	Vegetación	
	Deslizamiento	Deslizamiento	
	Sumideros	Vertices	
	Asentamientos	Asentamientos	
	Agrietamiento superficial (<i>Longitudinal, Transversal</i>)	Agrietamiento superficial	GRIETAS
	Escombros sobre el talud	Escombros sobre el talud	
	Madrigueras		
	Alteración de RIP-RAP	Deterioro del concreto	
		Defectos en juntas	DISCONTINUIDADES (JUNTAS abiertas o con desplazamiento TANGENCIAL, CONTACTOS de COLADO)
	Erosión por oleaje		
Talud de aguas abajo	Vegetación	Vegetación	
	Deslizamiento	Deslizamiento	
	Asentamiento	Asentamiento	
	Desplazamiento horizontal	Desplazamiento horizontal	
	Agrietamiento superficial (<i>Longitudinal, Transversal</i>)		DISCONTINUIDADES (JUNTAS abiertas o con desplazamiento TANGENCIAL, CONTACTOS de COLADO)
	Escombros sobre el talud	Escombros sobre el talud	
	Filtración (>? Tubificación)	Filtración (>? Tubificación)	Filtración(>? DISOLUCION de concreto)
	Dren de pie DEFICIENTE	Pozos de alivio o dren de pie DEFICIENTES	
	Sumideros	Sumideros	
	Alteración del enrocamiento superficial	Alteración del enrocamiento superficial	GRIETAS
	Madrigueras		

Después toda la información sobre las consecuencias de manifestaciones fue organizada en forma de en listados de entradas a los árboles de fallas.

Las posibles manifestaciones de una deficiencia observada o medida en cada uno de los componentes se enlistan en el Apéndice A.2, relacionándolas con el punto de observación, por ejemplo: CORONA, TALUD de AGUAS ARRIBA, etc. La introducción en el programa de las manifestaciones observadas permite la entrada al correspondiente árbol de diagnóstico (causas) o pronóstico (consecuencias).

En efecto en los listados se presentan, para cada uno de las componentes de la obra, la relación existente entre manifestaciones observadas y punto de entrada en los árboles de causas y consecuencias. Por ejemplo la **Lista No.4** esta constituida por tres grupos de manifestaciones (**1, 2, 3**) de acuerdo con el lugar en que se observó. En cada uno de estos grupos se enlistan las manifestaciones observadas en neग्रillas (por ejemplo en el grupo **1**, las posibles manifestaciones son las denominadas **1.1**, a **1.9** que coinciden con las presentadas en la figura 4 para el TALUD de AGUAS ARRIBA). Cada uno de los 1.i, se asocia con un punto de entrada en el correspondiente árbol de causas y consecuencias que se presentan en las figuras 7 a 12. Por ejemplo la manifestación **1.8** denominada "Escombros sobre el talud" se asocia, en el programa, con los puntos de entrada **10** del árbol de la figura 10a ("Erosión por oleaje talud aguas arriba") y **4** del árbol de la figura 7a ("Inestabilidad en cauce y los apoyos").

5.2.3. Árboles de fallas

Durante el presente trabajo fueron generados doce arboles de fallas de obras hidráulicas para diferentes tipos de cortinas y sus componentes con aproximadamente 400 nodos en total.

En las figuras 7 a 12 se presentan los árboles de diagnóstico y pronóstico para los casos de las deficiencias analizadas y para cada uno de las componentes de la obra.

Progresando hacia la izquierda en el árbol de diagnóstico, el usuario de SEDP contesta a las preguntas que el sistema experto le plantea y detecta la o las causas del mal funcionamiento observado. Opuestamente, progresando hacia la derecha en el árbol de pronóstico correspondiente, el ingeniero define las posibles consecuencias del mal funcionamiento observado. Cuando sea necesario, el usuario realiza consultas a base de datos sobre la presa utilizando AA SSI.

El número de preguntas planteadas al ingeniero durante el proceso de diagnóstico puede ser muy grande cuando el ingeniero no intuye algunas de las posibles causas del problema. En caso contrario el ingeniero puede abreviar considerablemente el proceso si parte de una causa probable y comprueba mediante un proceso de pronóstico que las manifestaciones de deficiencia observadas coinciden con las proporcionadas por el sistema experto.

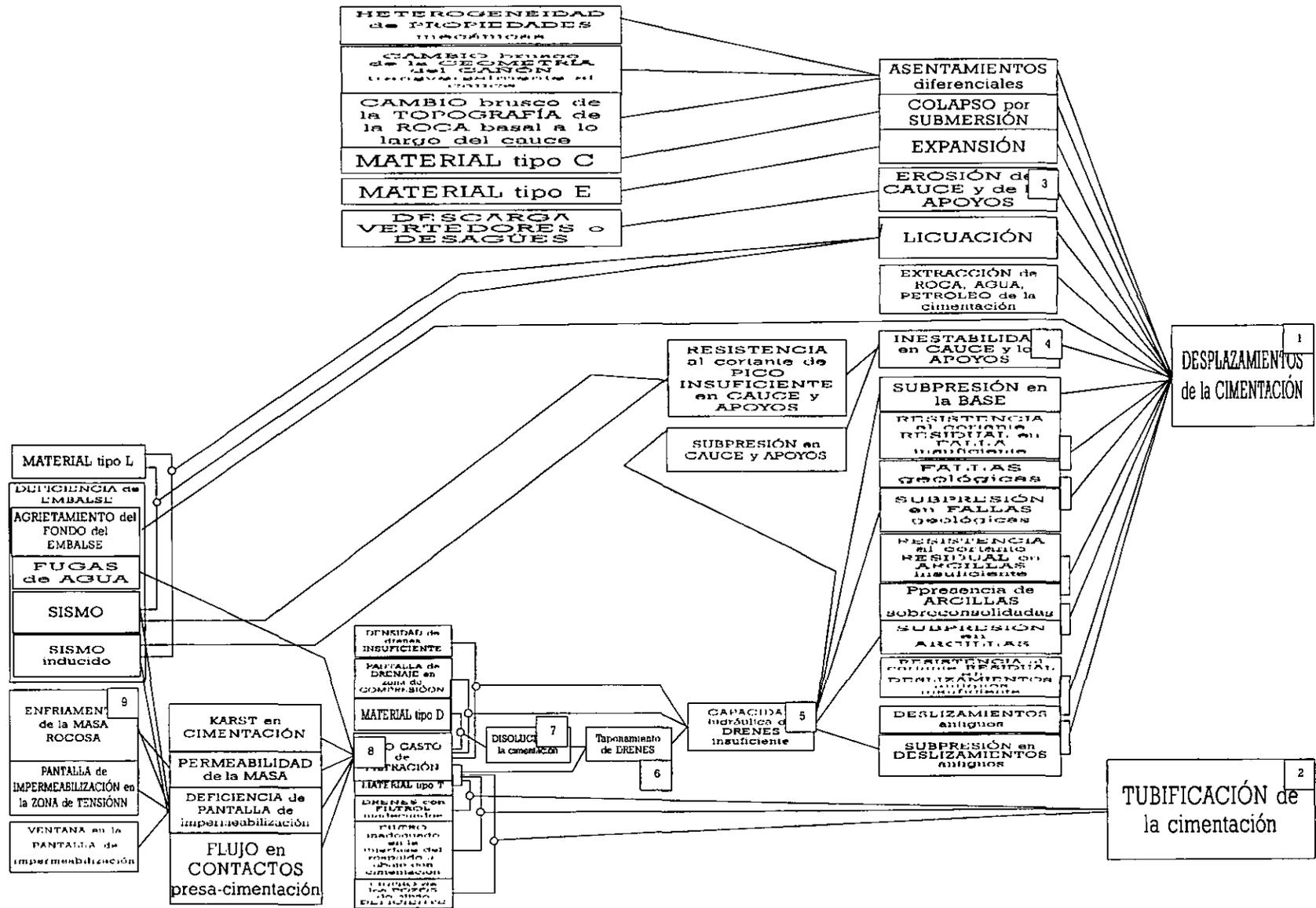


Figura 5-31. Diagnóstico de causas de una deficiencia en CIMENTACIÓN

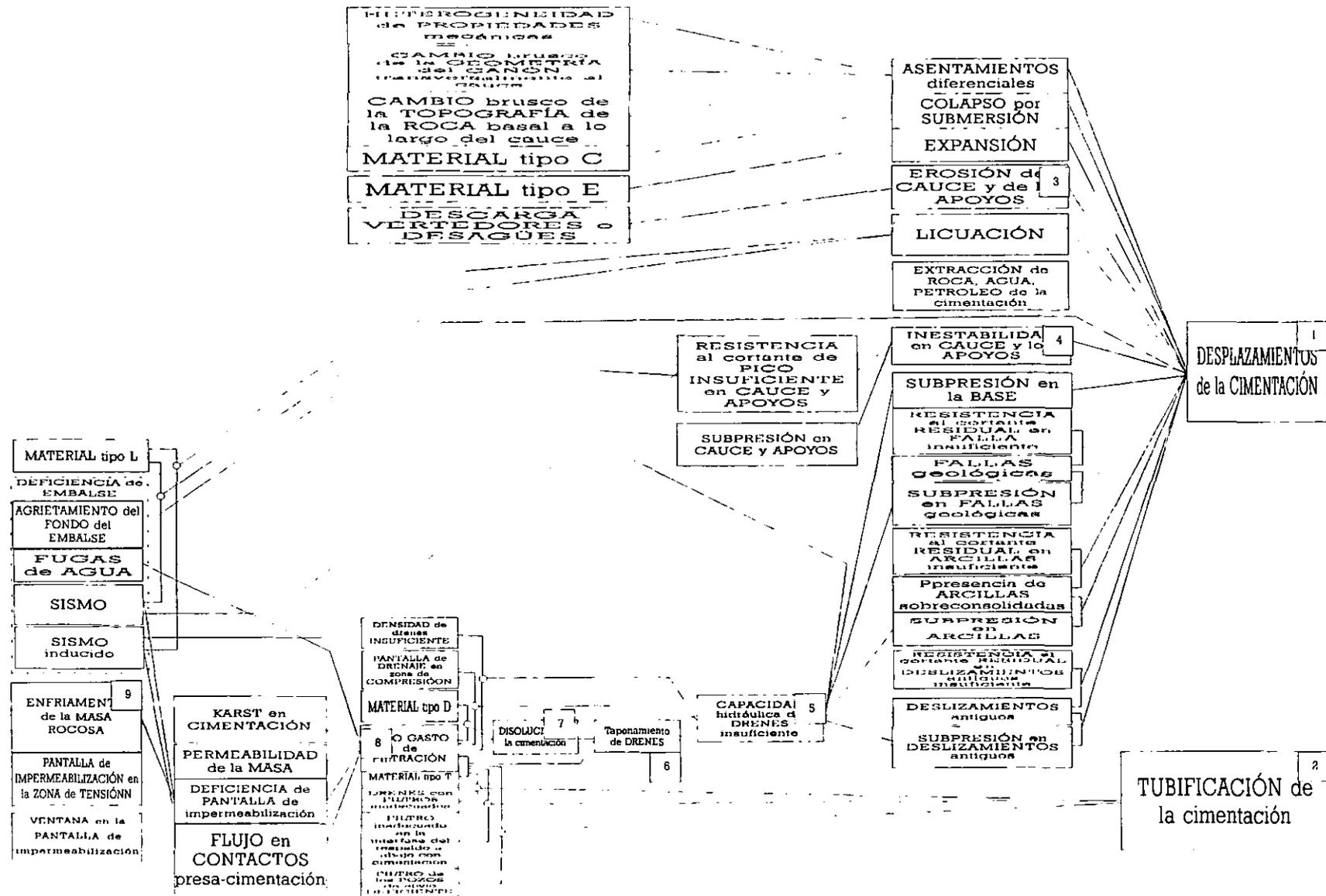


Figura 5-32. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en CIMENTACIÓN

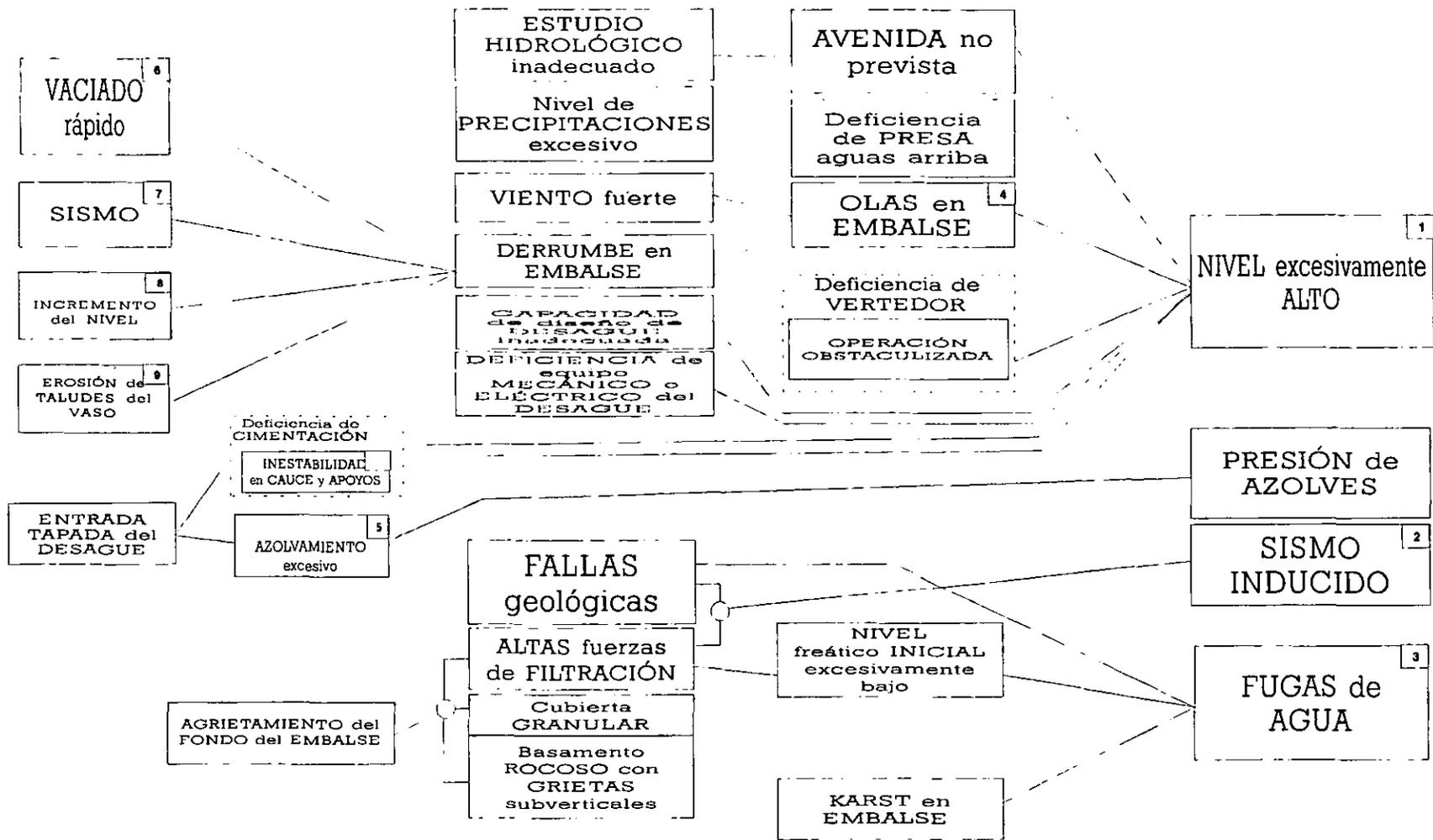


Figura 5-33. Diagnóstico de causas de una deficiencia en EMBALSE

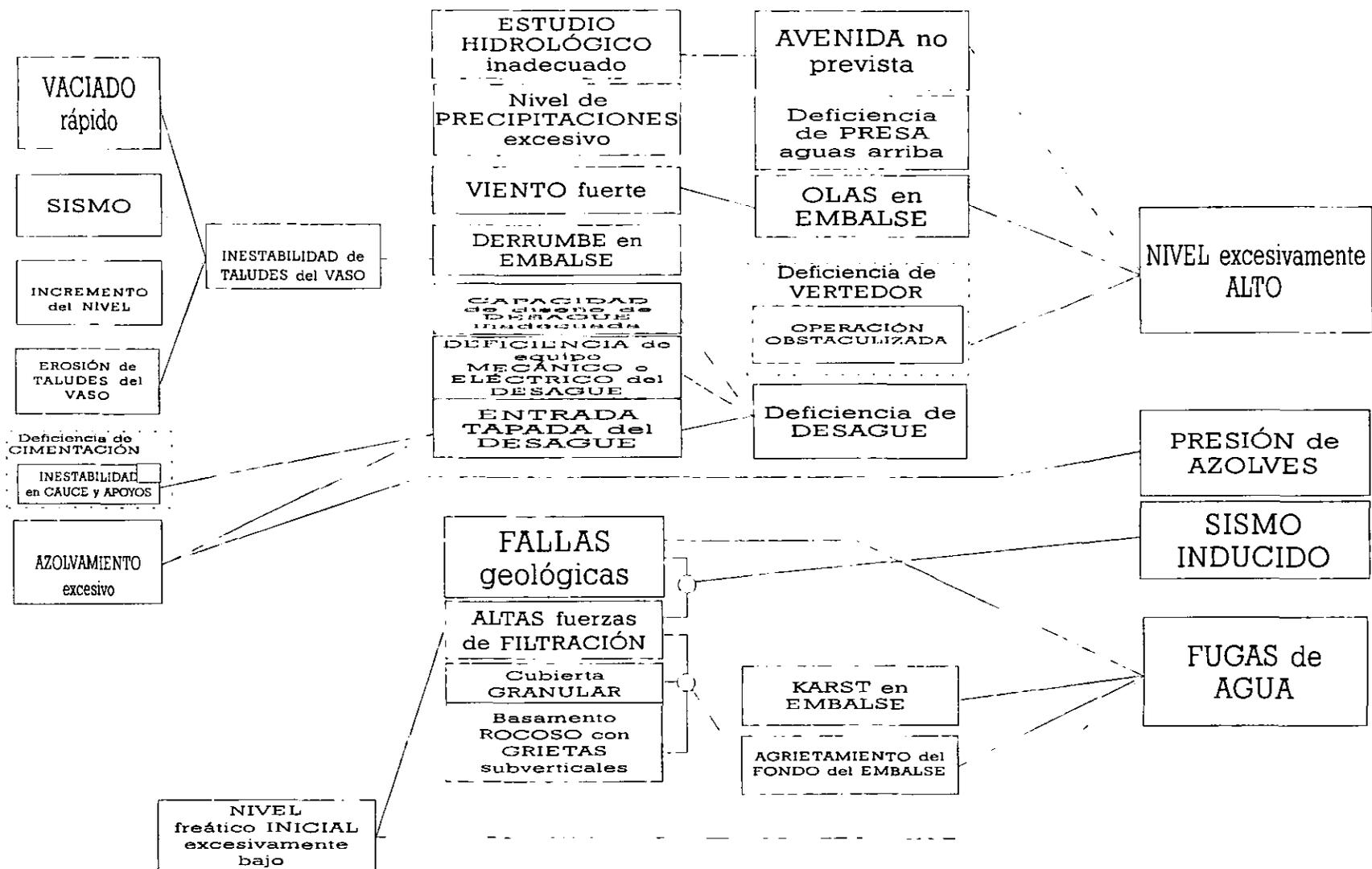


Figura 5-34. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en EMBALSE

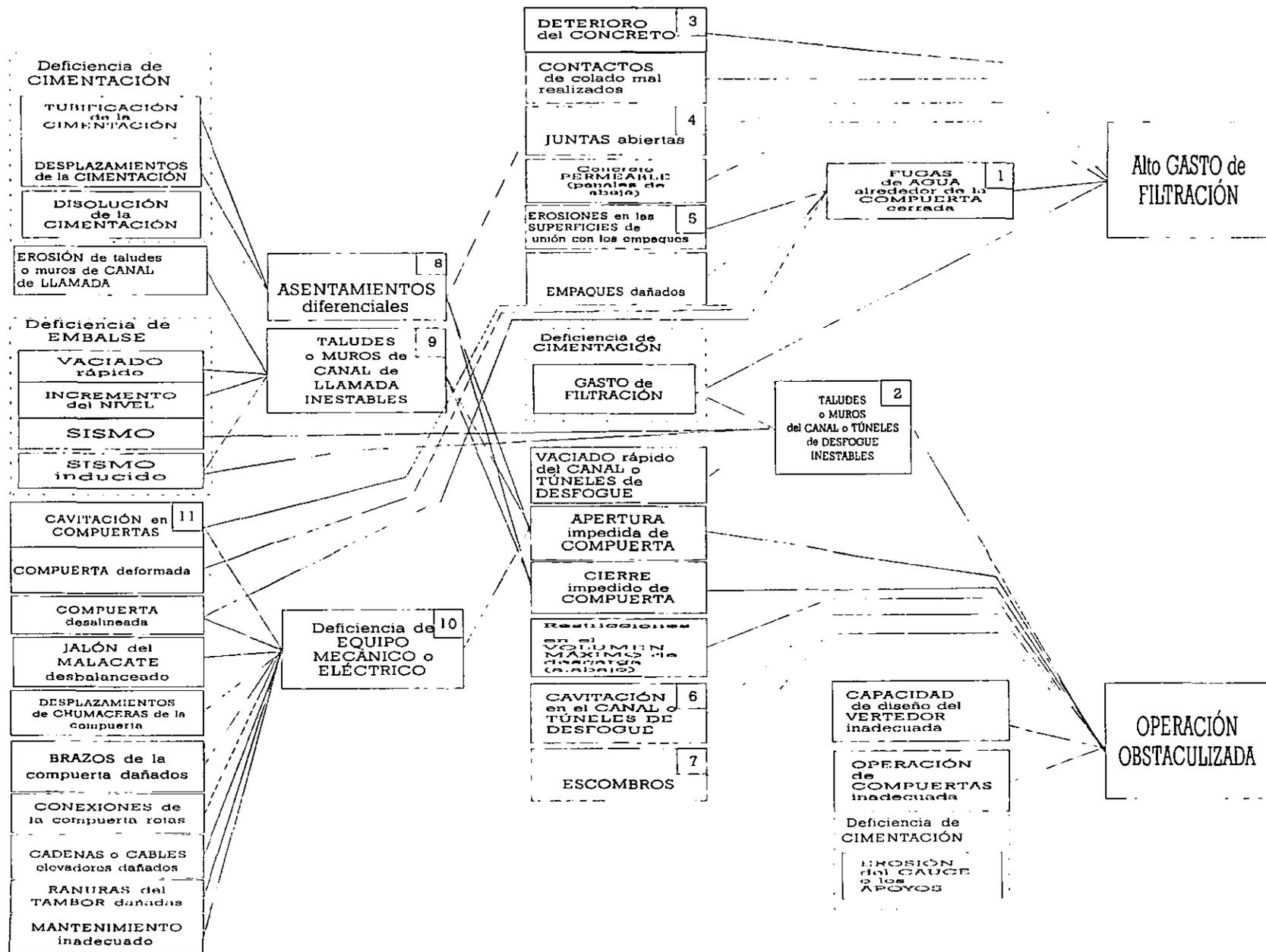


Figura 5-35. Diagnóstico de causas de una deficiencia en VERTEDOR

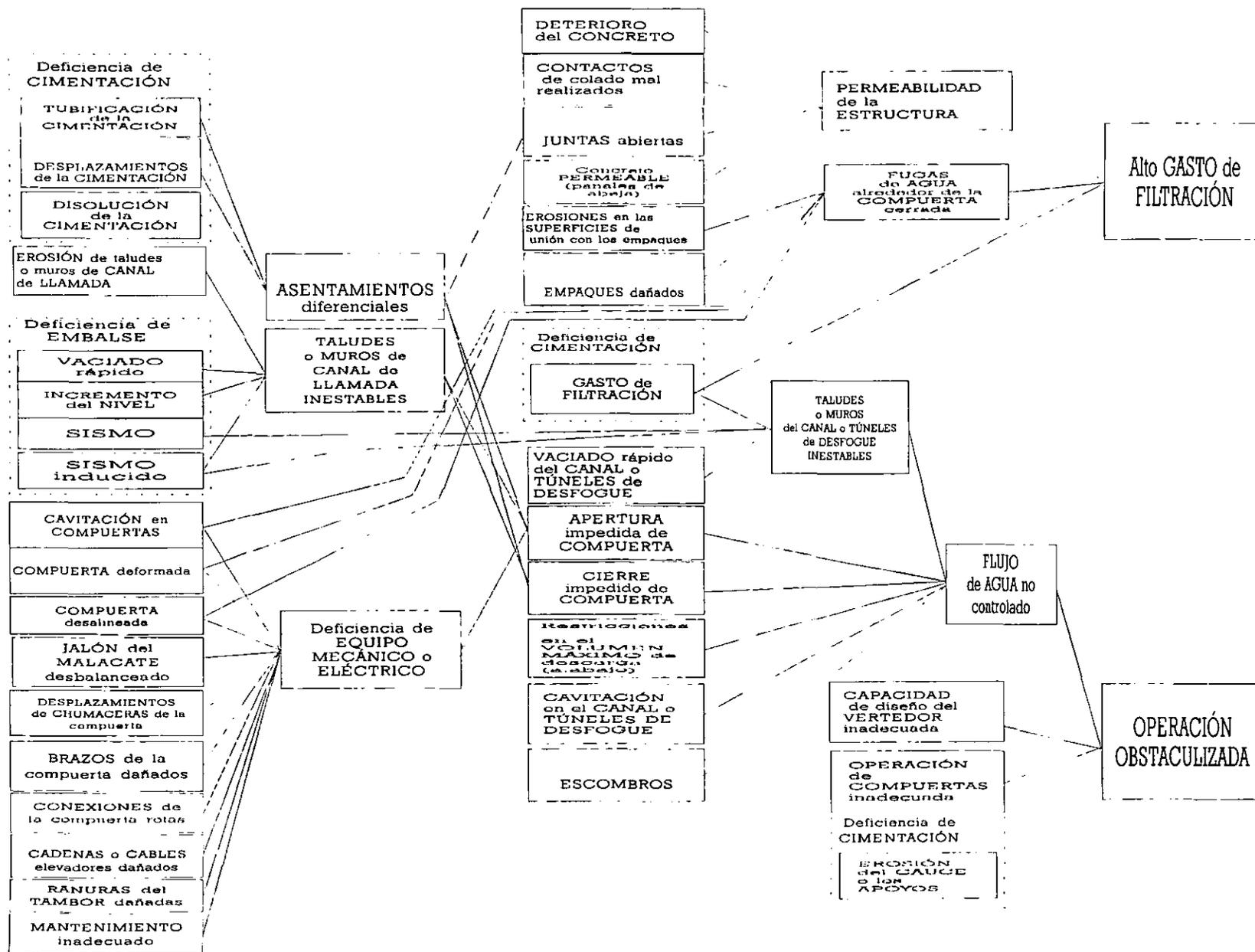


Figura 5-36. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en VERTEDOR

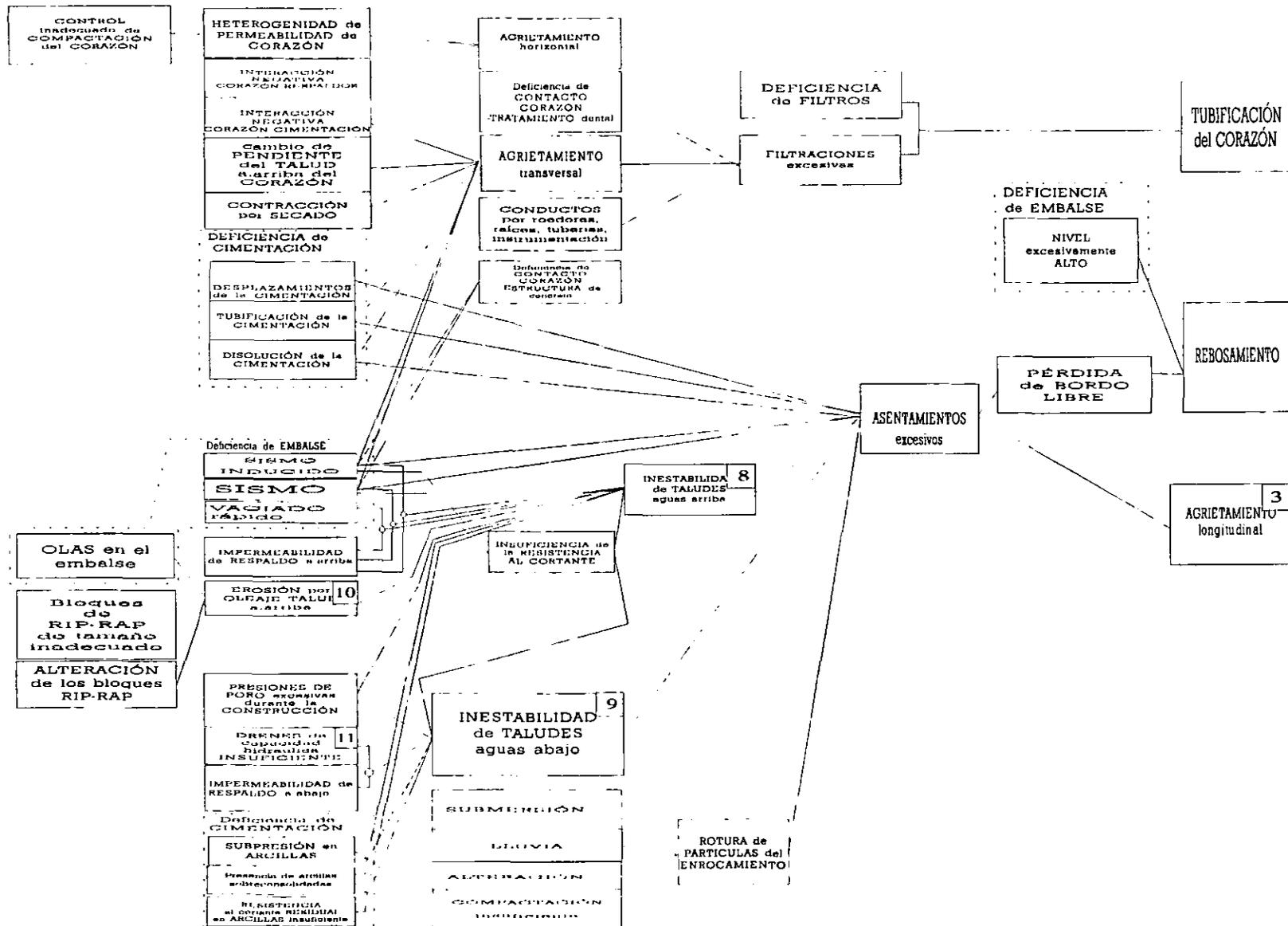


Figura 5-38. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en CORTINA de TIERRA y ENROCAMIENTO

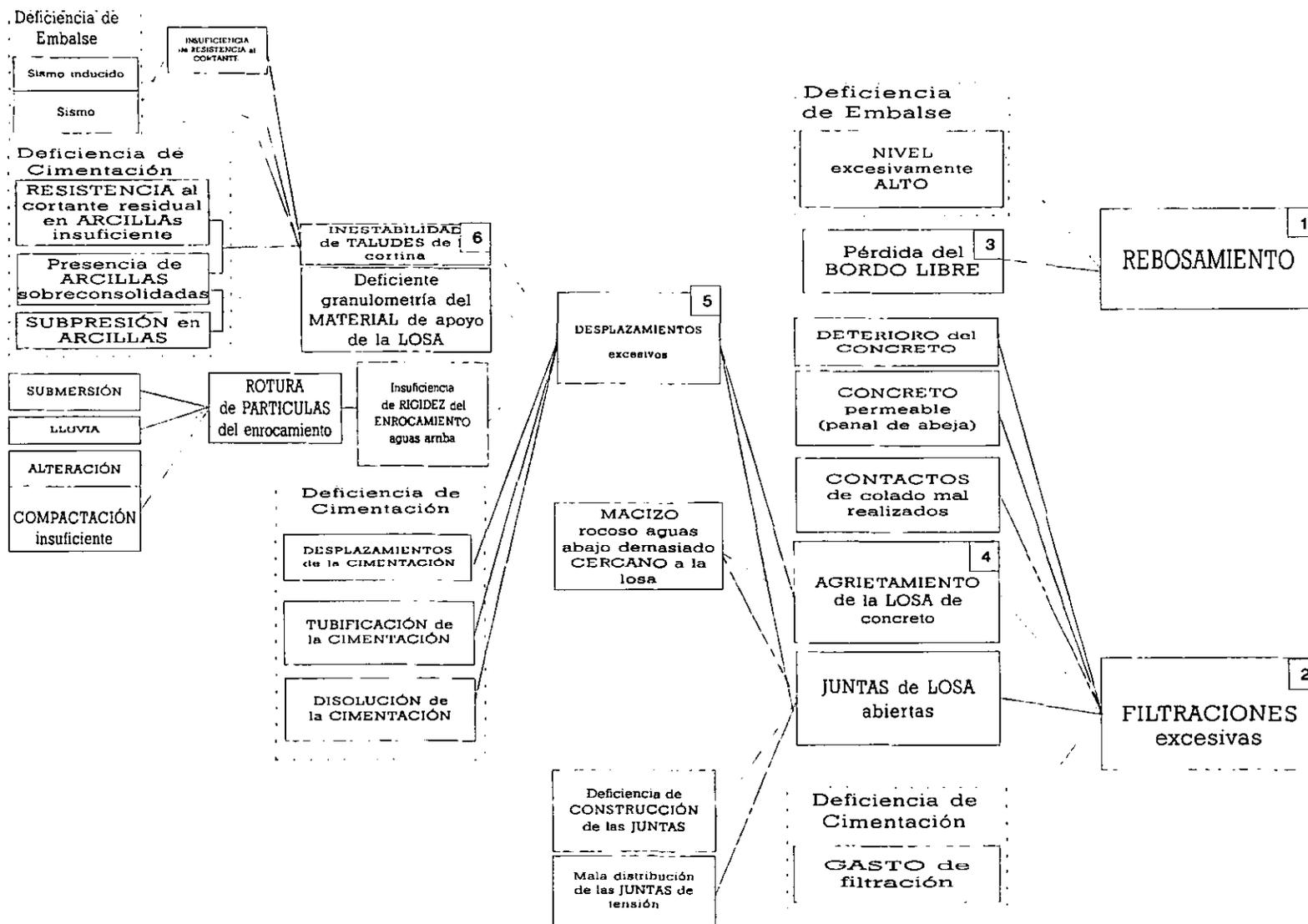


Figura 5-39. Diagnóstico de causas de una deficiencia en CORTINA de ENROCAMIENTO con CARA de CONCRETO

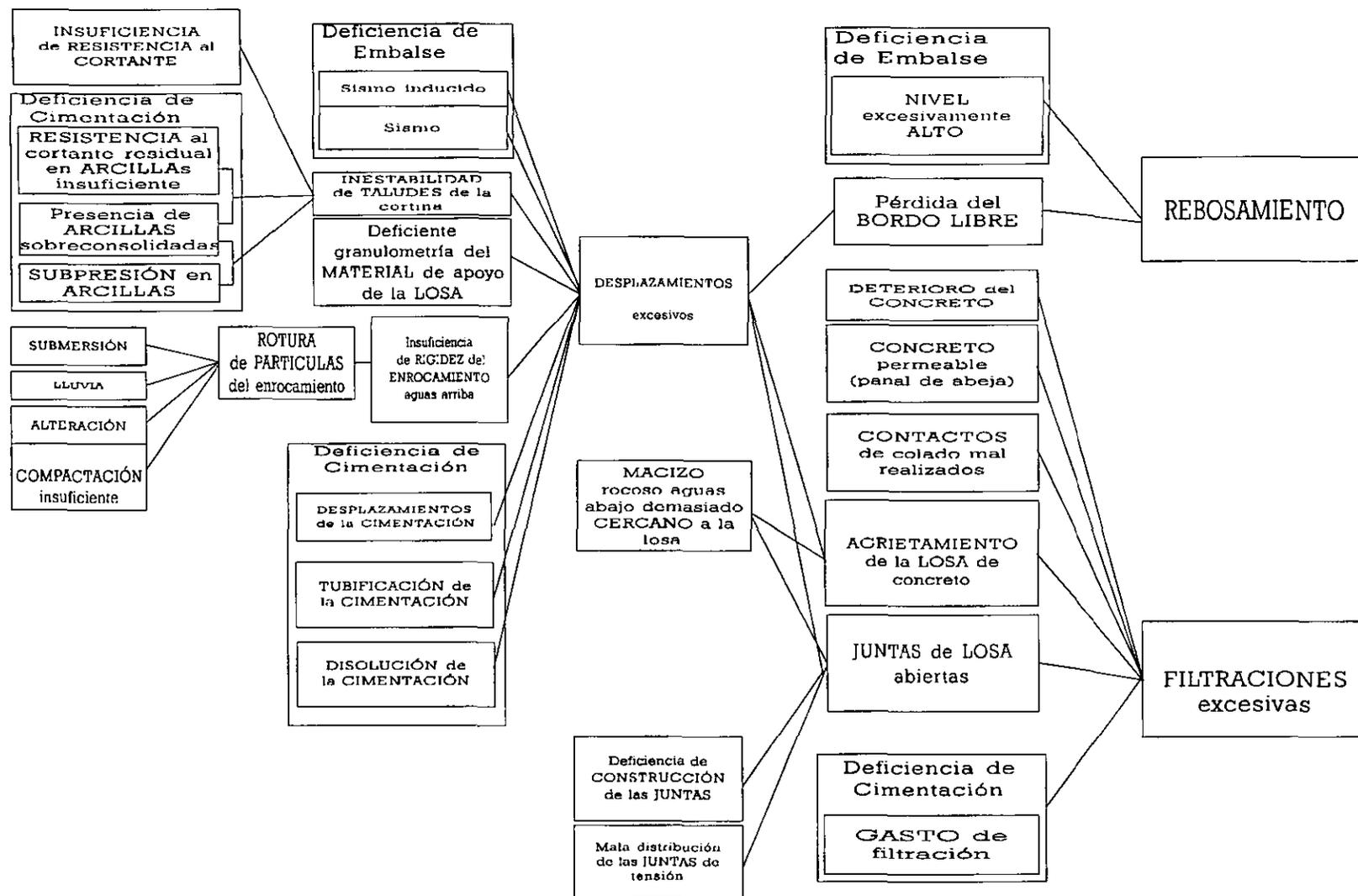


Figura 5-40. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en CORTINA de ENROCAMIENTO con CARA de CONCRETO

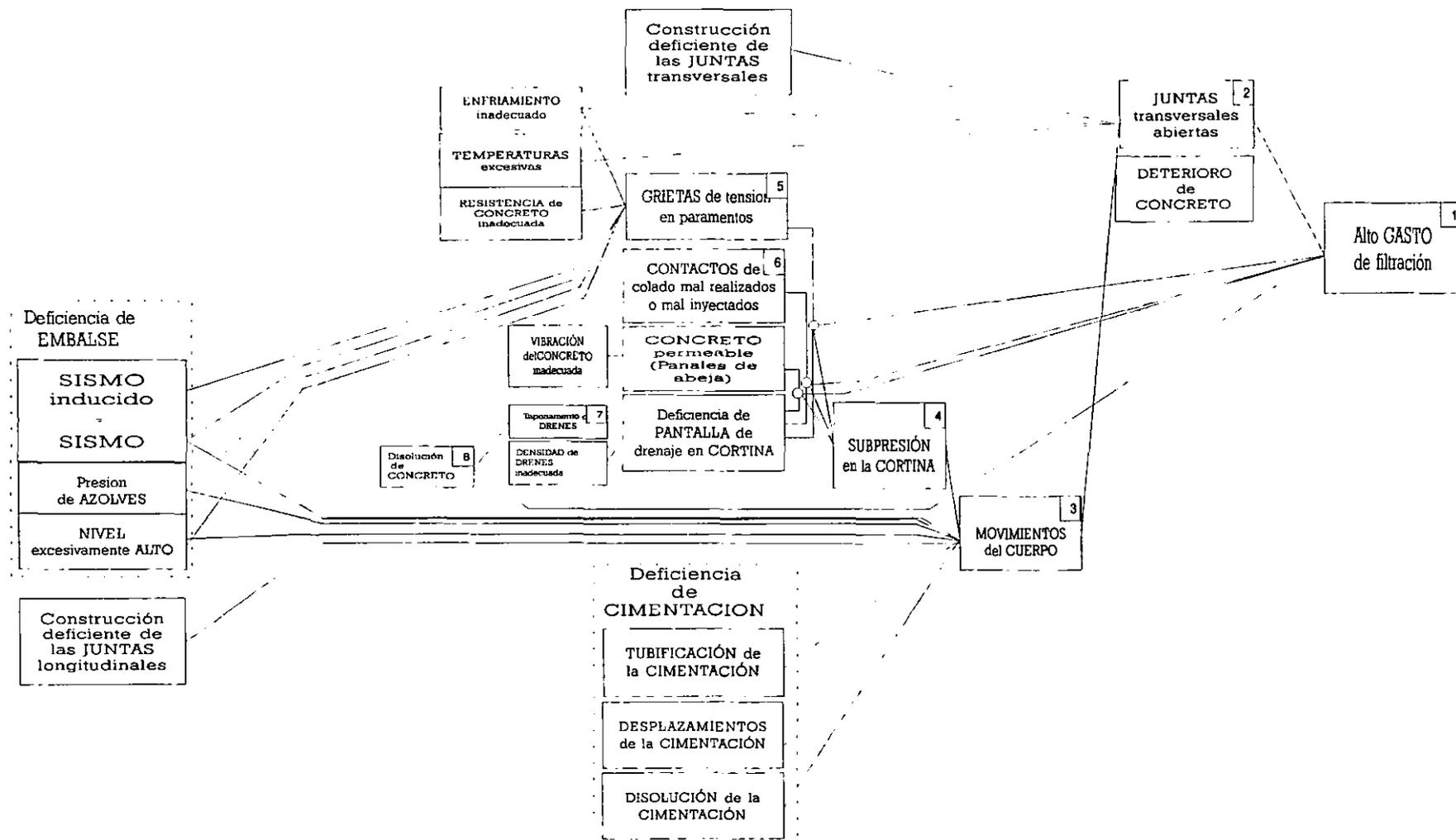


Figura 5-41. Diagnóstico de causas de una deficiencia en CORTINA de CONCRETO

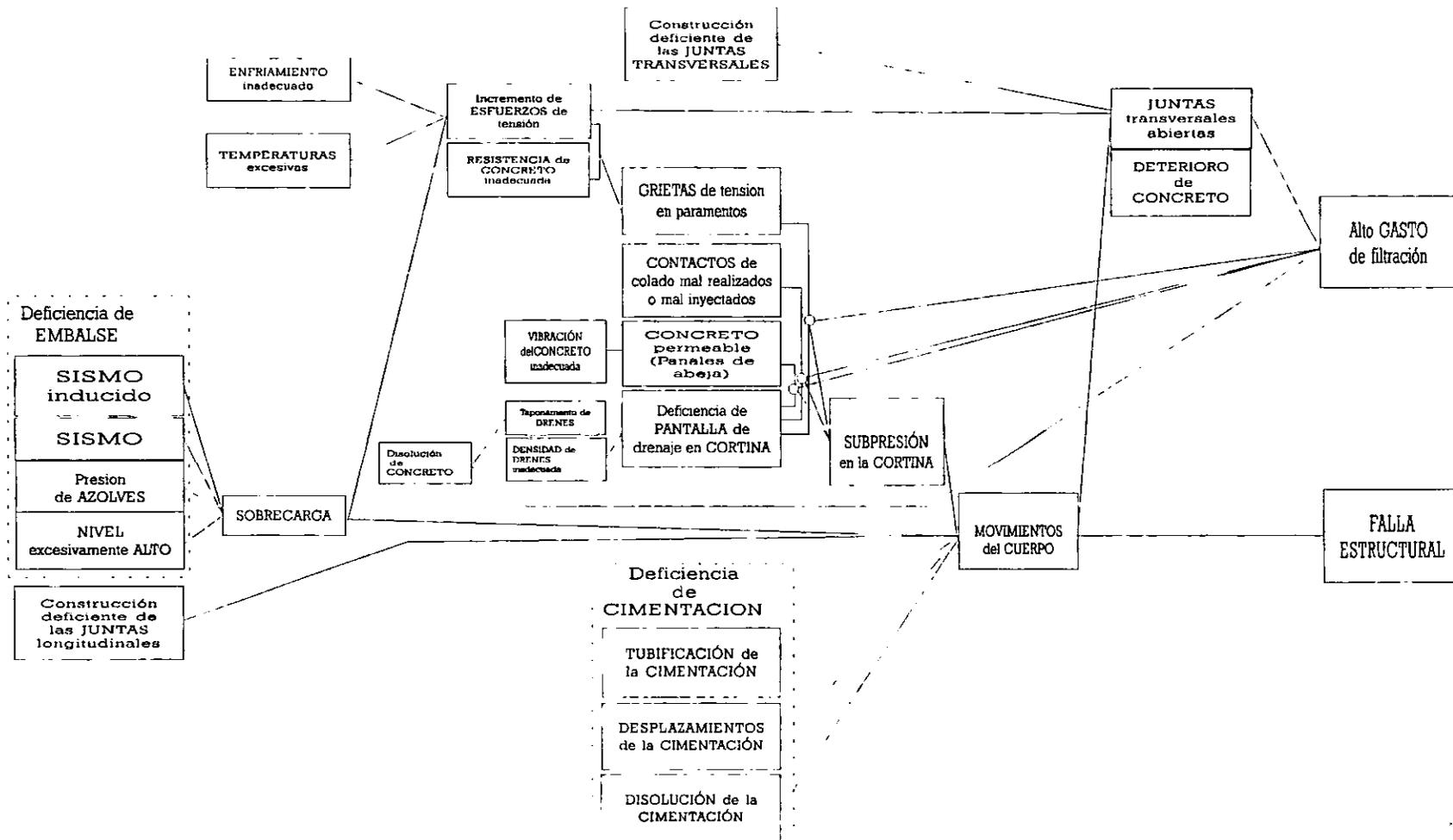


Figura 5-42. Pronóstico de consecuencias de una deficiencia en CORTINA de CONCRETO

5.2.4. Interfase del usuario de SEDP

La interfaz de usuario permite la comunicación entre el usuario y el sistema. A través de ésta el usuario ofrece datos iniciales al sistema o responde a preguntas formuladas por éste. La interfaz desarrollada para SEDP establece la comunicación usuario-sistema mediante simples menús de selección o utilizando lenguaje restringido ("es verdad, que...", preguntas SI/NO, etc.), los cuales son aproximaciones cercanas al lenguaje cotidiano.

Cuando el usuario arranca la aplicación el SEDP muestra la pantalla inicial (Figura 5-43).

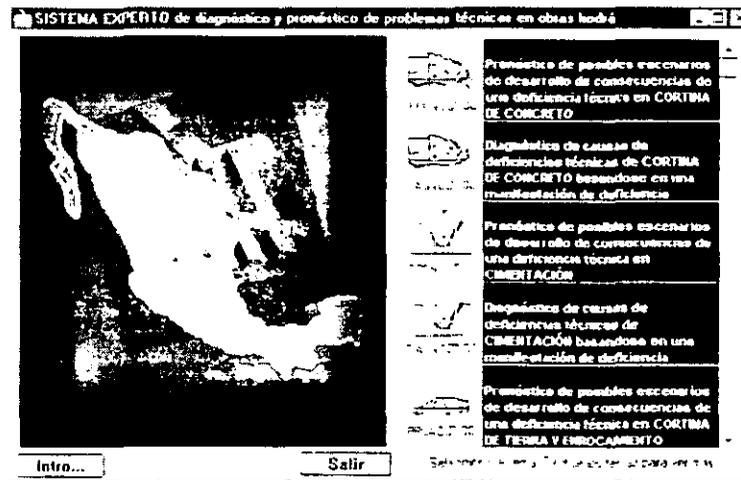


Figura 5-43. Pantalla principal de SEDP.

En la parte derecha de la ventana hay una lista deslizable de entrada en los módulos del SEDP. Son dos grupos de botones acompañados con explicaciones: diagnóstico y pronóstico. Para desplegar más temas el usuario debe deslizar un grupo de botones hacia abajo.

El programa permite el diagnóstico y el pronóstico para las siguientes componentes de una obra hidráulica:

CORTINA

- Cortina de tierra y enrocamiento;
- Cortina de enrocamiento con cara de concreto;
- Cortina de concreto.

CIMENTACIÓN

EMBALSE

VERTEDOR

Las pantallas de manifestaciones observadas de mal funcionamiento de una obra hidráulica para sus componentes seleccionados están representadas en figuras 5-44 – 5-49.

CIMENTACIÓN

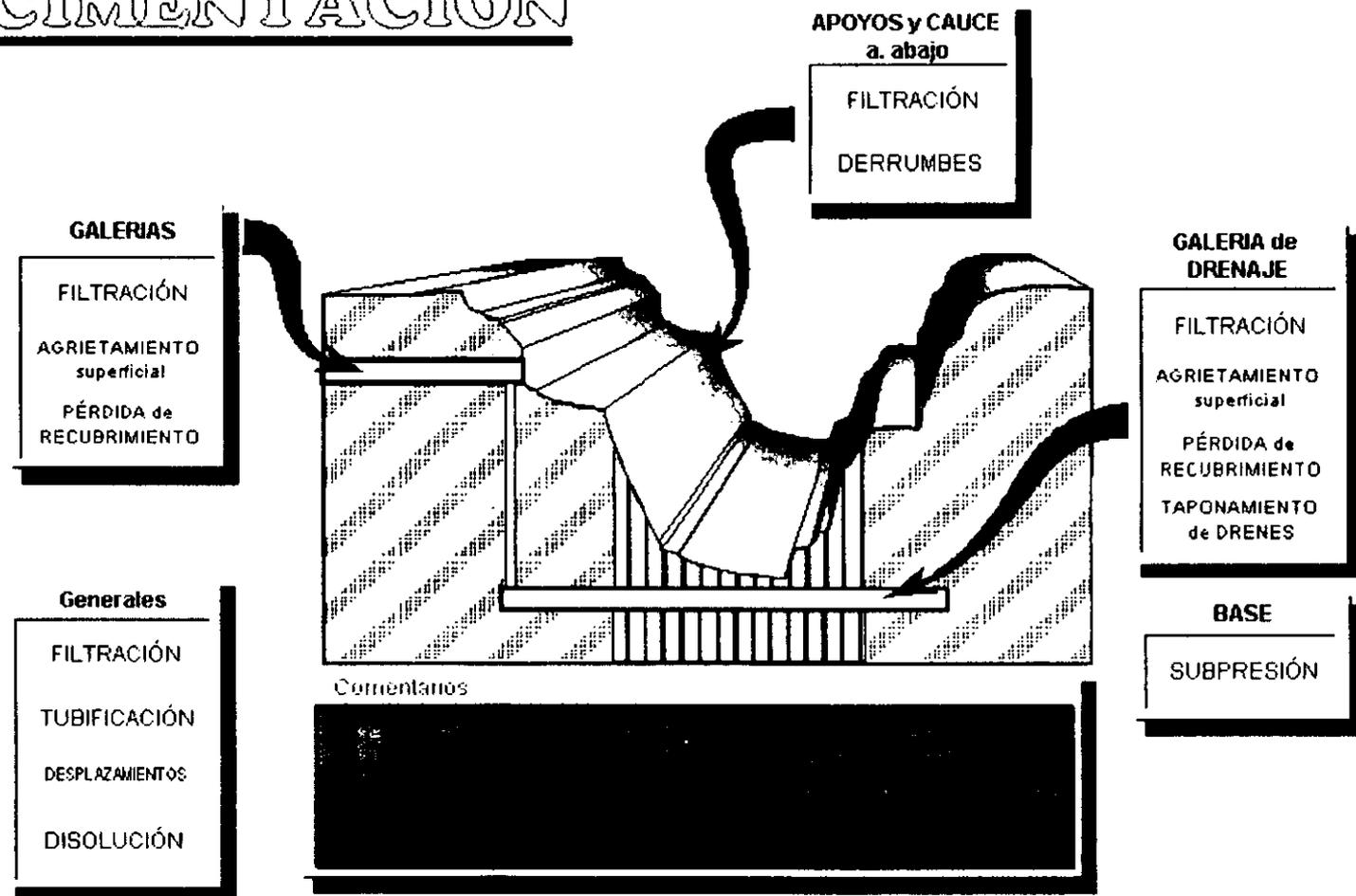


Figura 5-44. Manifestaciones observadas en CIMENTACIÓN

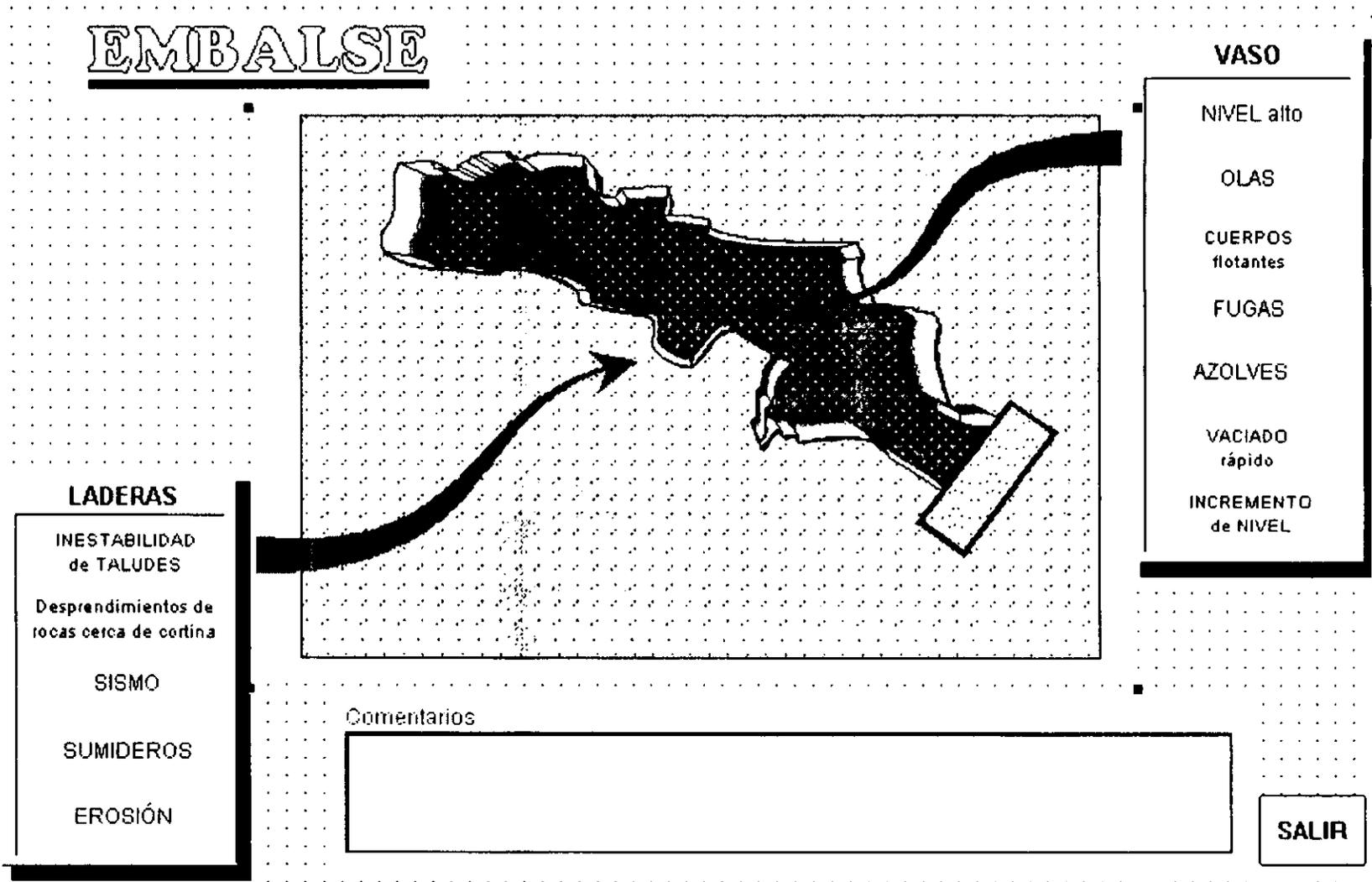


Figura 5-45. Manifestaciones observadas en EMBALSE

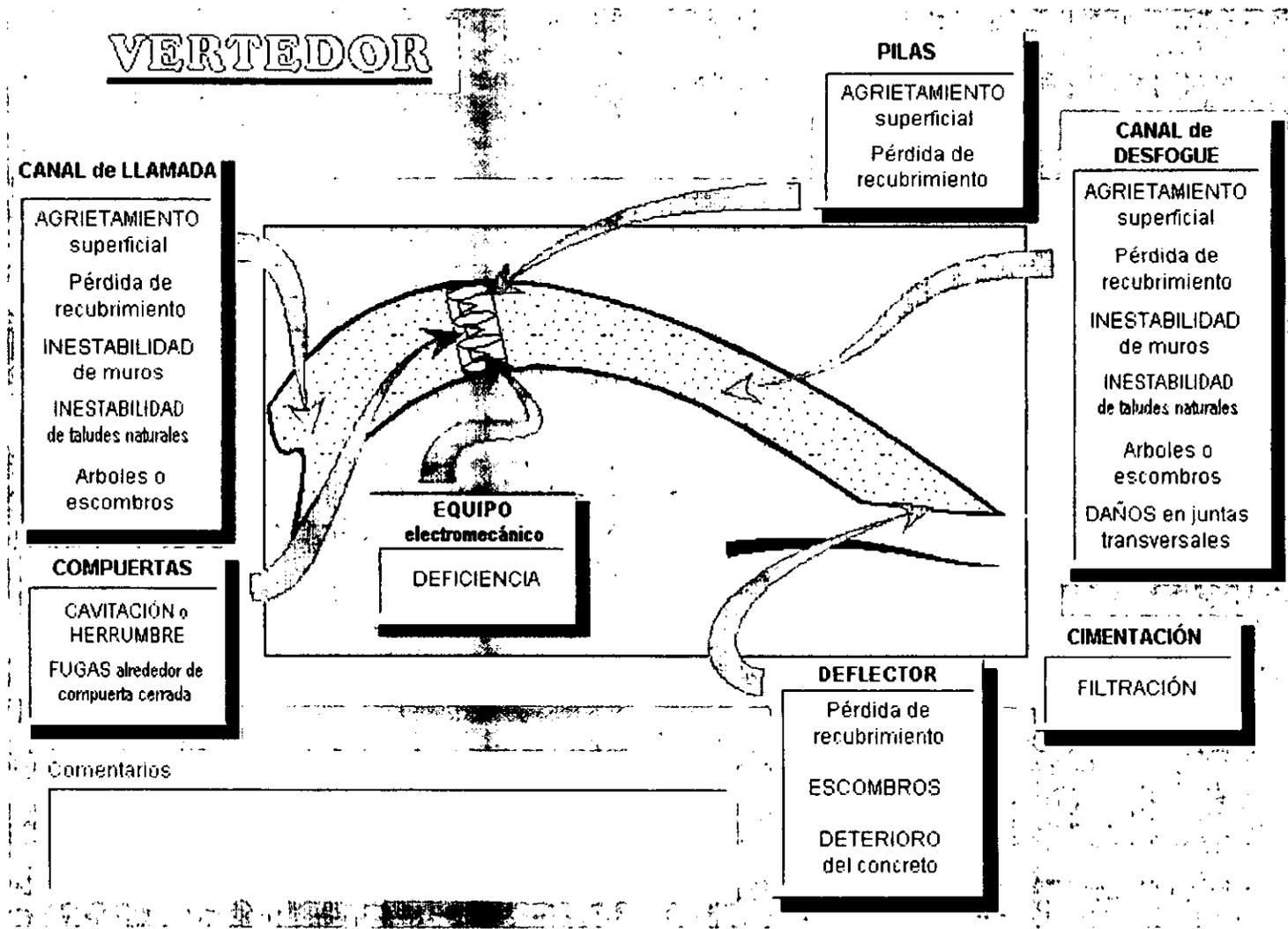


Figura 5-46. Manifestaciones observadas en VERTEDOR

CORTINA de TIERRA y ENROCAMIENTO

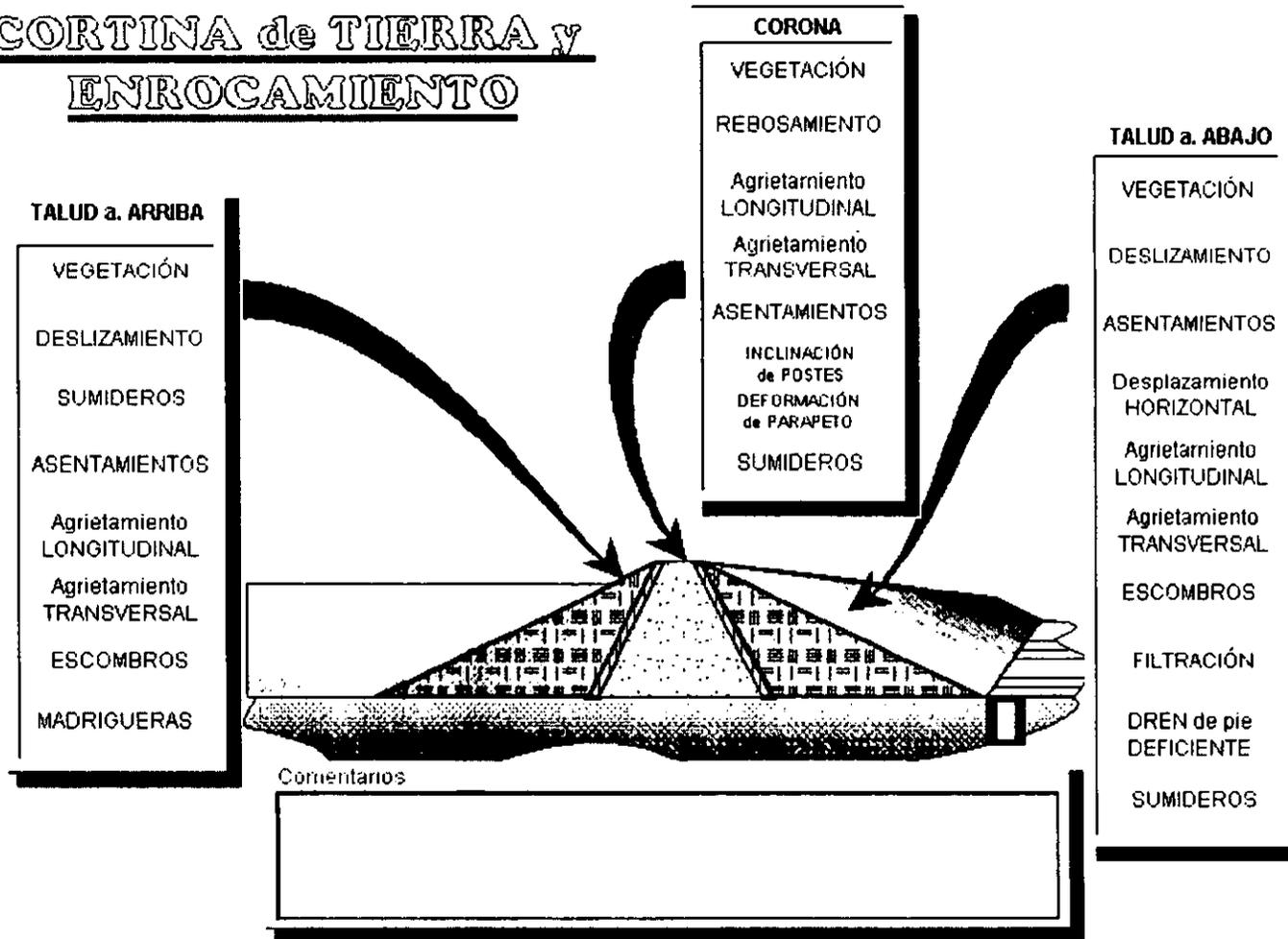


Figura 5-47. Manifestaciones observadas en CORTINA de TIERRA y ENROCAMIENTO

CORTINA de ENROCAMIENTO con cara de CONCRETO

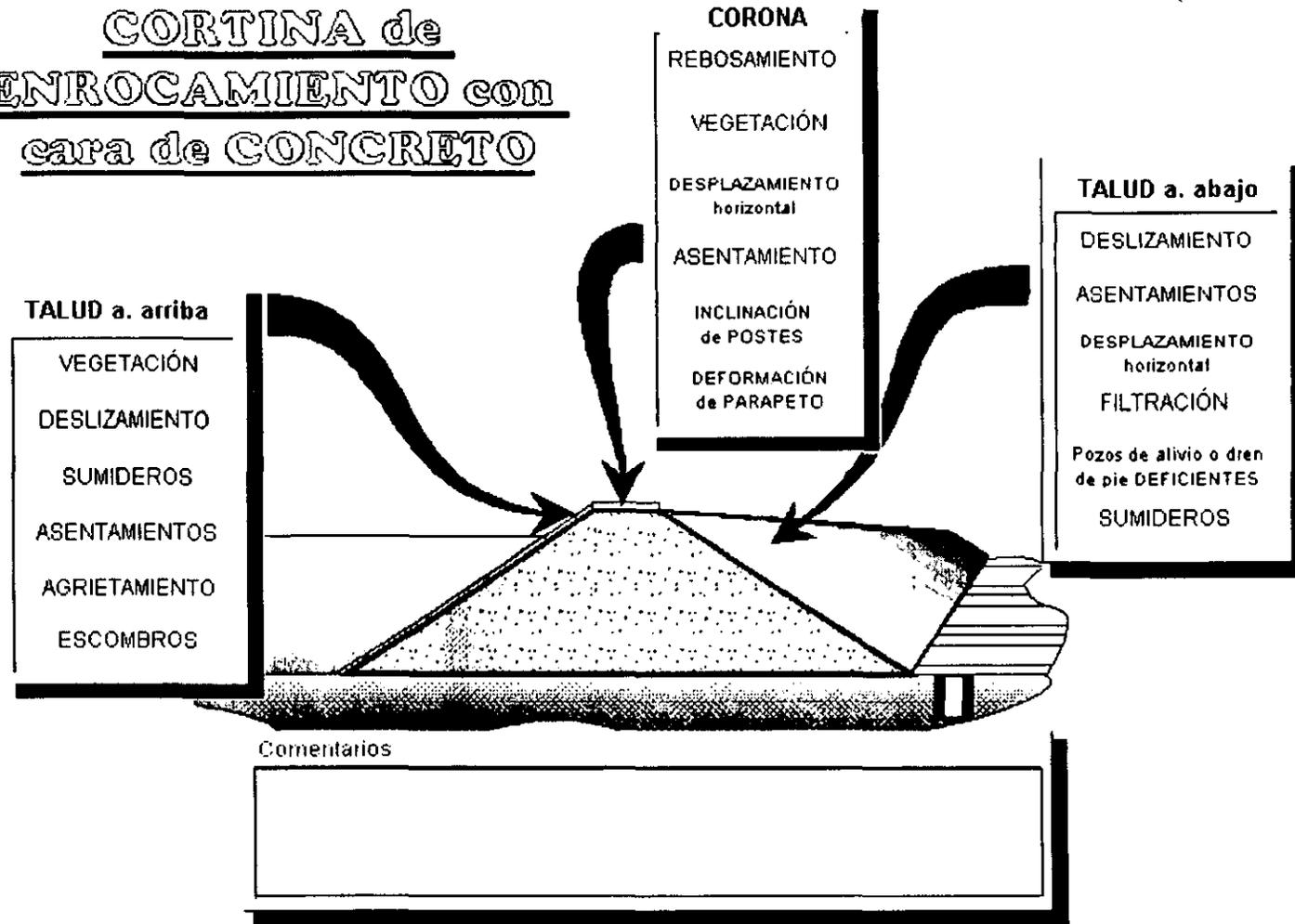


Figura 5-48. Manifestaciones observadas en CORTINA de ENROCAMIENTO con CARA de CONCRETO

CORTINA de CONCRETO

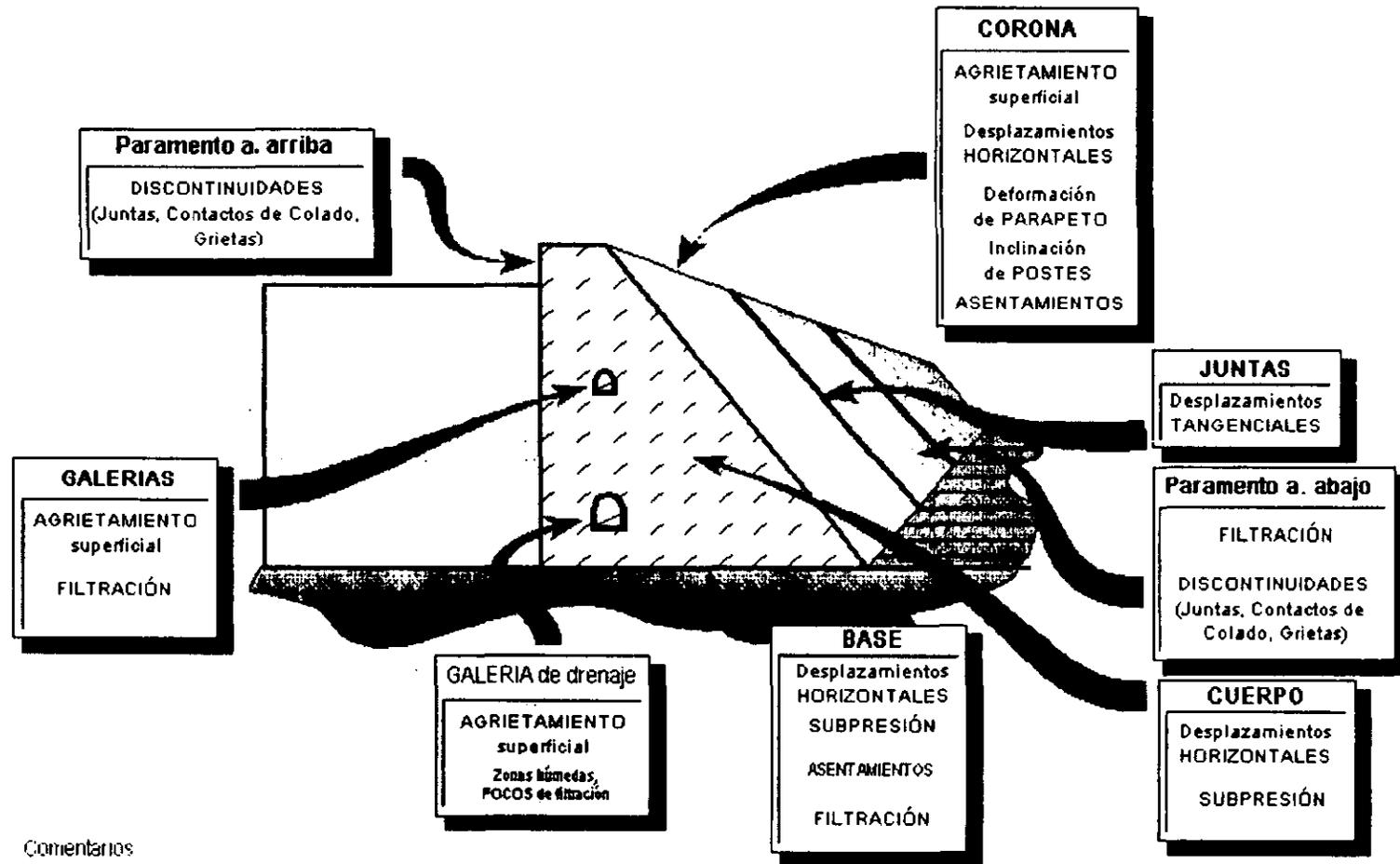


Figura 5-49. Manifestaciones observadas en CORTINA de CONCRETO

5.3. Proceso de DIAGNÓSTICO

El usuario debe seleccionar con el "ratón" el tema de interés del menú principal (Figura 5-43).

Como ejemplo se puede analizar la secuencia de trabajo con un proceso de diagnóstico para Cortina de Concreto (Figura 5-49).

Después de seleccionar el botón necesario aparece la pantalla de MANIFESTACIONES de mal funcionamiento de CORTINA de CONCRETO.

Para cada componente seleccionado de la obra hidráulica las correspondientes manifestaciones (uno o varios signos de deficiencia considerados alarmantes y que son sujeto de análisis y diagnóstico) están agrupadas según su lugar de aparición. El usuario simplemente elige con el "ratón" la manifestación observada (el indicador del "ratón" cambia de flecha a esquema de "mano" cuando es posible elegir la manifestación en pantalla). Se puede elegir sólo una manifestación. En caso de presencia (observación) de múltiples manifestaciones hay que repetir el diagnóstico varias veces entrando cada vez con otra manifestación. La respuesta, en ese caso, va a formarse después de un análisis con múltiples respuestas. En el marco COMENTARIOS el usuario puede introducir alguna información recordatoria. El contenido de este marco va a desplegarse durante todo el ejercicio.

Después de elegir la manifestación de interés, el programa puede ofrecer una de dos pantallas: CUESTIONARIO:

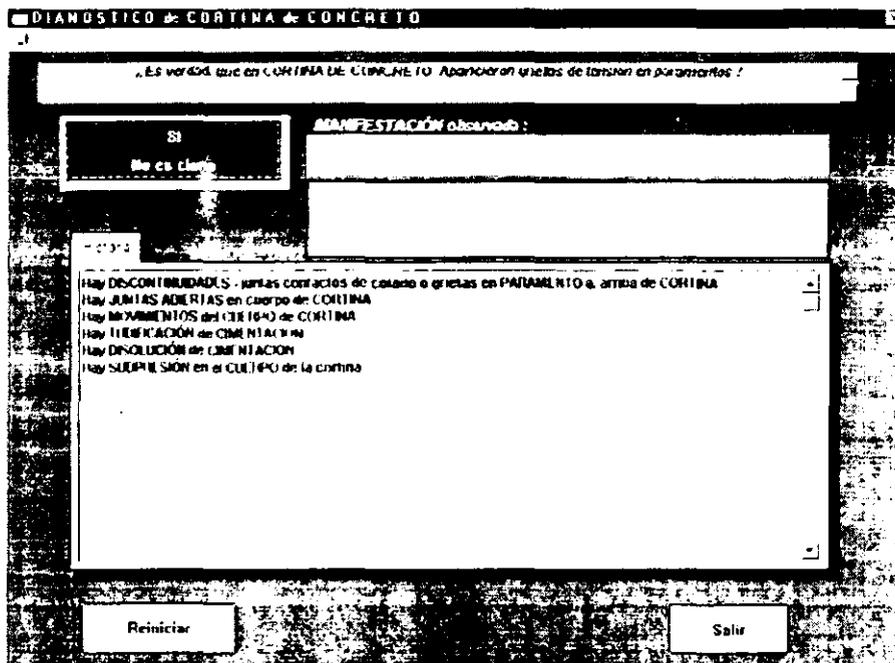


Figura 5-50. Pantalla CUESTIONARIO DE SEDP.

o, cuando la manifestación de interés corresponde a otra componente de la obra hidráulica se presenta la pantalla CONCLUSIÓN directamente. En el último caso el usuario puede reiniciar el diagnóstico llamando otro bloque del programa según la sugerencia de la pantalla CONCLUSIÓN apretando el botón "Reiniciar".

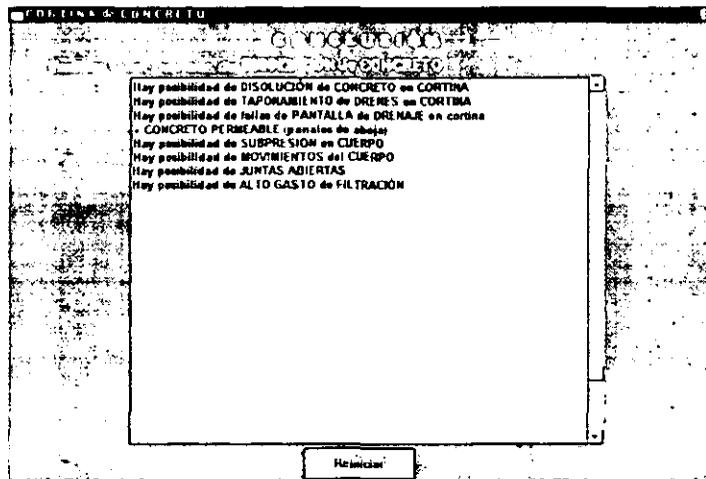


Figura 5-51. Pantalla CONCLUSIÓN de SEDP.

En caso de presentarse la pantalla CUESTIONARIO el usuario debe contestar las preguntas que aparecen en la parte superior de la pantalla (las preguntas siempre inician con las palabras "¿ Es verdad que en .. ").

Más abajo se presenta un botón con dos opciones "SI" y "NO ES CIERTO". El usuario debe seleccionar su respuesta eligiendo con el ratón una de estas opciones. Después, el usuario debe oprimir la marca OK! en la parte izquierda de la barra superior de la ventana. Cada vez que aparece la pregunta, ella misma contiene el lugar (o parte de obra hidráulica) involucrado con mayúsculas y, el tipo de fenómeno actuante. Teóricamente, para poder responder a las preguntas en forma SI o NO ES CIERTO, el usuario debe realizar estudios y/o análisis de cada pregunta accediendo a la base de datos de la presa utilizando AA SSI (Figura 5-3) y otra información.

Cuando el usuario no está muy seguro de la respuesta que ha de dar puede elegir el "SI" y después, analizando la conclusión, llegar a una solución de compromiso. Como ayuda para el usuario, más abajo en la pantalla hay una lista de historia de respuestas (sólo respuestas "SI"). Además el usuario puede detener el diagnóstico y reiniciarlo desde el principio o salir del programa.

Cuando el programa concluye con las preguntas, se presenta en la pantalla la CONCLUSIÓN. En esta pantalla hay dos campos: MANIFESTACIÓN OBSERVADA, y CONCLUSIÓN del DIAGNÓSTICO (causas detectadas). El usuario puede guardar los resultados en un archivo, o imprimirlos en la impresora que esta instalada en Windows. En caso de dudas en cuanto a la bondad de la conclusión, el usuario puede desplegar la historia lógica del ejercicio oprimiendo el botón EXPLICACIONES (Figura 5-51).

5.4. Proceso de PRONÓSTICO

Como en la sección anterior, el usuario debe seleccionar con el "ratón" el tema de interés en menú principal (Figura 5-43).

Después de seleccionar el botón necesario, aparece la pantalla de ESTRUCTURA del árbol de DEFICIENCIAS.

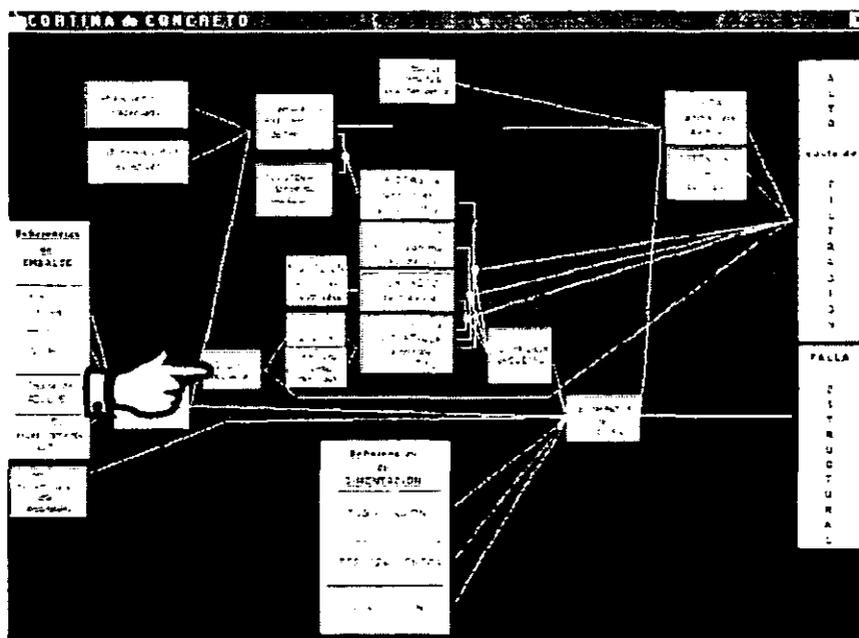


Figura 5-52. Pantalla de ESTRUCTURA del árbol de DEFICIENCIAS.

Para cada componente seleccionado de la obra hidráulica las deficiencias (manifestaciones) están representadas en forma gráfica como cuadritos ligados con líneas (en forma de árboles de causas y consecuencias). El usuario simplemente elige con el "ratón" la deficiencia en cuestión (el indicador del "ratón" cambia de flecha a esquema de "mano" cuando es posible elegir la deficiencia en pantalla). Se puede elegir sólo una deficiencia (manifestación). En caso de una inspección con múltiples deficiencias (manifestaciones) hay que repetir el pronóstico varias veces entrando cada vez con otra manifestación. La respuesta, en ese caso, se formará después de un análisis de múltiples respuestas.

Después de elegir la deficiencia de interés, el programa ofrece la pantalla CONCLUSIÓN DEL PRONÓSTICO:

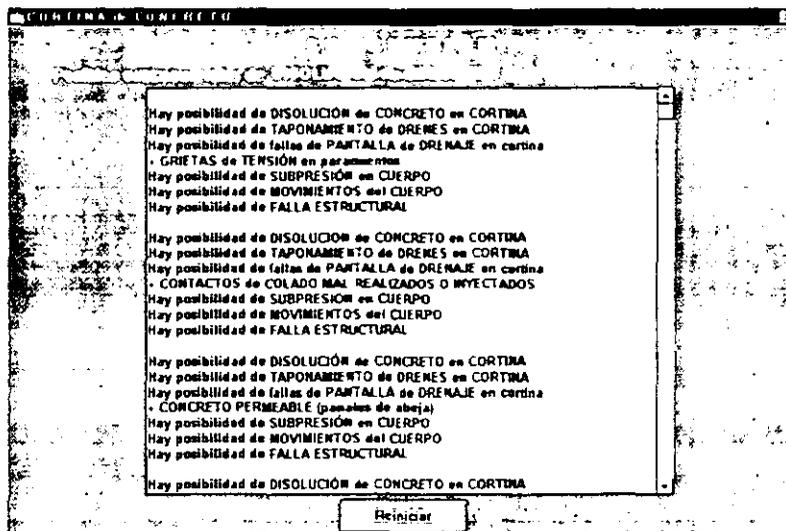


Figura 5-53. Pantalla CONCLUSIÓN del PRONÓSTICO de SEDP

En esta pantalla se presenta, en ventana deslizante, la lista de todos los posibles escenarios de desarrollo de consecuencias de la deficiencia (manifestación) elegida. Cada escenario se presenta por separado.

El usuario puede guardar los resultados en un archivo o imprimirlos en la impresora instalada en Windows.

Además el usuario puede detener el pronóstico y reiniciarlo desde el principio o salir del SEDP.

6. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA FINAL

El acceso a las partes del sistema (es decir a SSI y SEDP) se realiza a través de los iconos de acceso directo a las aplicaciones desde la pantalla de ESCRITORIO de WINDOWS (Figura 5-54).

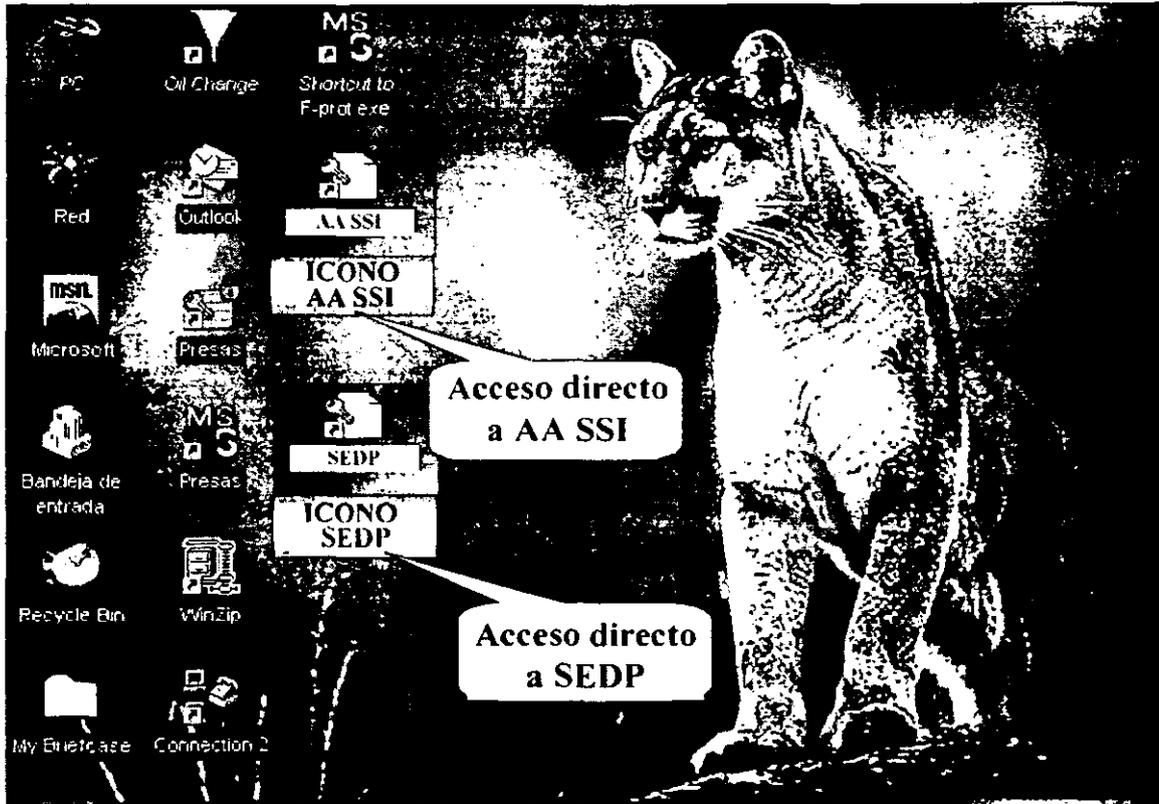


Figura 6-1.. Pantalla de ESCRITORIO de WINDOWS con iconos de acceso al sistema.

Se puede elegir una aplicación a la vez o trabajar con ambas. En el último caso la pantalla de ESCRITORIO de WINDOWS con dos aplicaciones activas se va a ver como está representada en Figura 6-1.

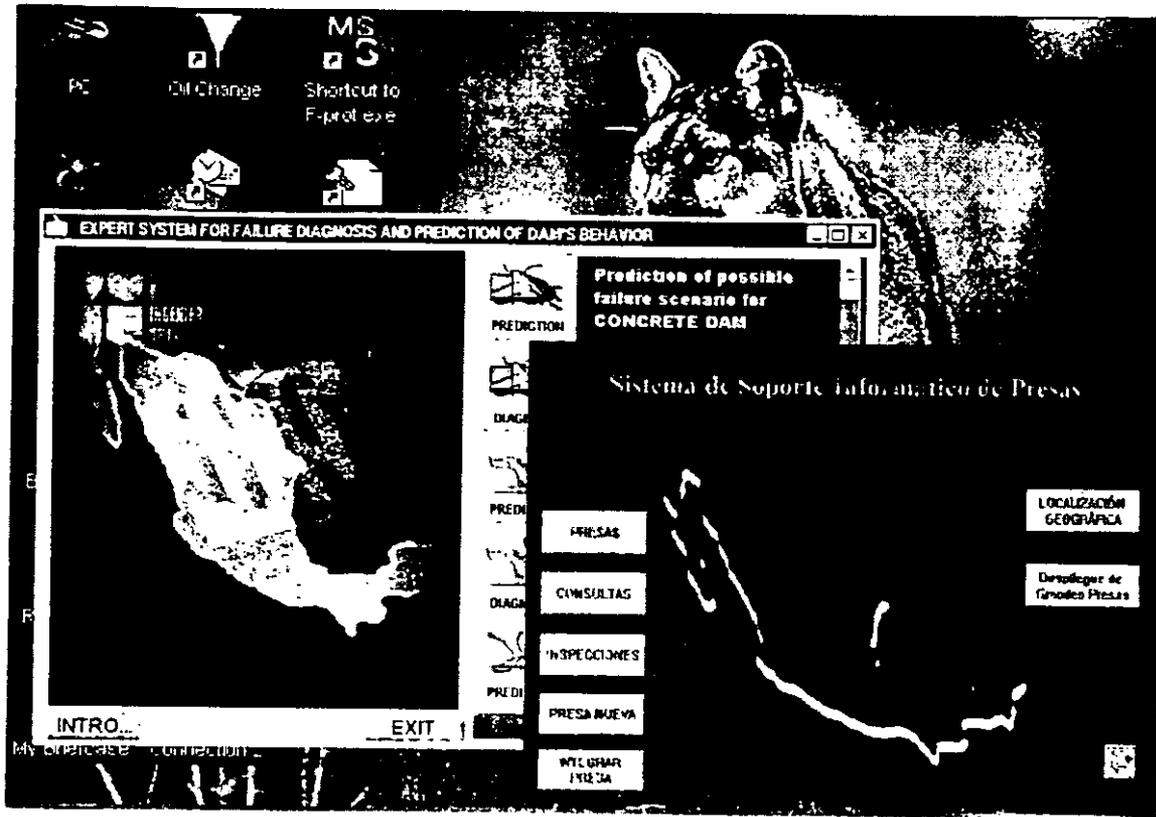


Figura 6-2.. Pantalla de ESCRITORIO de WINDOWS con dos aplicaciones activas

7. VALIDACIÓN Y PRUEBAS

7.1. Pruebas de Escritorio de SSI

Una vez construido el diagrama Entidad Relación (E-R) se realizan pruebas de escritorio para las distintas tablas de las etapas de Diseño, Construcción y Operación, con la finalidad de poder detectar las posibles fallas y problemas que se presentan en el diseño de la Base de Datos y de esta forma hacer las correcciones y mejoras pertinentes para tener un mejor diseño.

Las pruebas de escritorio para las etapas de Diseño, Construcción y Operación se hacen en papel, se construyen las tablas con sus atributos y se llenan con la información recopilada de los distintos documentos de las Obras Hidráulicas. Habrá que tener cuidado de no colocar datos cuyos nombres sean sinónimos, pues esto generaría duplicidad de información, así como también revisar que cada uno de los datos contenidos en los documentos tengan un campo de almacenamiento en la base y verificar minuciosamente que las relaciones con las demás entidades (por medio de la llave foránea) se lleven a cabo correctamente. Si estas pruebas de escritorio se realizan con las indicaciones antes mencionadas, entonces no habrá que modificar el diseño y éste podrá ser implementado en la computadora.

Un ejemplo de prueba escritorio para la tabla **D_DG_PLANTA** está en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1

ID	NOMBRE OFICIAL	NOMBRE COMUN	ESTADO	MUNICIPIO
15	Presa "Solís"	"Solís"	Guanajuato	Acámbaro
16	Presa "Falcón"	"Falcón"	Tamaulipas	Mier
17	Presa Marte R. Gómez	"El Azúcar"	Tamaulipas	Cámargo
18	Presa de "La Soledad"	"La Soledad"	Guanajuato	Guanajuato
19	Presa de "Cointzio"	"Cointzio"	Morelia	Morelia

Como se puede observar esta tabla, llamada **D_DG_PLANTA** (donde D=Diseño, DG=Datos Generales), está compuesta por cinco columnas: ID (llave primaria), NOMBRE OFICIAL, NOMBRE COMÚN, ESTADO Y MUNICIPIO. Esta tabla fue llenada con cinco presas, a cada una de las cuales se le da un ID, es decir, una "llave primaria" la cual tiene como función identificar de manera única cada renglón de la tabla. Esta tabla está vinculada con la tabla **D_CORTINAS Y DIQUES**, la relación es de "Uno a Muchos" debido a que una planta puede poseer una o más cortinas y/o diques. La llave primaria de la tabla **D_DG_PLANTA** se pone en la tabla **D_CORTINAS Y DIQUES** en el atributo **Id-Planta**, es decir, se convierte en una "llave foránea" porque se migra para hacer referencia a otro renglón en la otra tabla.

Por ejemplo, la planta con el ID=17 en la tabla D_DG_PLANTA puede hacer referencia a la tabla D_CORTINAS Y DIQUES por medio de la llave foránea Id-Planta=17, con lo cual podemos encontrar varios renglones que nos indican que la Presa Marte R. Gómez "El Azúcar", en el Municipio de Cámargo, Estado de Tamaulipas, posee una cortina y tres diques.

Esta información esta en la tabla D_CORTINAS Y DIQUES (Tabla 7-2).

Tabla 7-2

ID	GRUPO	NOMBRE	NUMERO	CLASE	TIPO	Id-Planta
27	CORTINA			TIERRA	NUCLEO CENTRAL	15
28	DIQUE	SAN CAYETANO		TIERRA Y ENROCAMIENTO	NUCLEO CENTRAL	15
29	CORTINA			TIERRA	NUCLEO CENTRAL	16
30	CORTINA		1	TIERRA	NUCLEO CENTRAL	17
31	DIQUE		1	TIERRA	NUCLEO CENTRAL	17
32	DIQUE		2	TIERRA	NUCLEO CENTRAL	17
33	DIQUE		3	TIERRA	NUCLEO CENTRAL	17
34	CORTINA			TIERRA Y ENROCAMIENTO	NUCLEO CENTRAL	18
35	CORTINA			TIERRA Y ENROCAMIENTO	NUCLEO CENTRAL	19

De la misma manera, en la tabla D_CORTINAS Y DIQUES, la llave primaria ID=30 pasa como llave foránea Id-Cortina en la tabla C_DATOS GENERALES (C=CONSTRUCCION), haciendo referencia a un renglón. Por tanto, estableciendo relaciones entre las tres tablas, podemos decir que la Presa Marte R. Gómez "El Azúcar", en el Municipio de Camargo.

Estado de Tamaulipas, tiene una cortina con Clase de Tierra, con Tipo de Núcleo Central y un Período de construcción entre los años de 1950 a 1953 , en la cual se emplearon en total 4,919,690 m3 de materiales (Cubicación de Materiales).

Esta información está presentada en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3

ID	CUBICACION DE MATERIALES	PERIODO DE CONSTRUCCION	ID-CORTINA
01	En la construcción de materiales de la cortina se emplearon 1,743,990 m2 de materiales...	De 1939 a 1949	27
02	En la construcción de este dique se emplearon: 175,058 m3 de tierra y 68,883 m3 de roca y rezaga	De 1939 a 1949	28
03	En la construcción de la cortina, utilizaron las siguientes cantidades de tierra, grava, arena y roca....	De 1950 a 1953	29
04	En la construcción del cortina se emplearon a total 4,919,690 m3 de materiales, que ...	De 1950 a 1953	30
05	En la construcción de los diques se emplearon 643,990 m3 de materiales...	De 1936 a 1946	31
06	En la construcción de los diques se emplearon 643,990 m3 de materiales...	De 1936 a 1946	32
07	En la construcción de los diques se emplearon 643,990 m3 de materiales...	De 1936 a 1946	33
08	En la construcción de la cortina se emplearon en total 604,726 m3 de materiales que ...	De 1946 a 1949	34
09	En la construcción de las cortinas se utilizaron en total 394,900m3 de materiales que.	De 1946 a 1949	35

7.2. Pruebas de SEDP

A continuación se presentan tres casos concretos de utilización del Sistema Experto. El primero es el relativo a la presa de tierra y enrocamiento de El Batán, cuyo comportamiento durante el primer llenado queda reseñado en la referencia 1. El segundo se refiere a la presa de concreto Huites (Luis Donald Colosio), cuyas deficiencias iniciales se reportan en la referencia 2. El tercero trata de la presa La Boquilla cuyas deficiencias se analizan en la referencia 4.

7.2.1. Diagnóstico

7.2.1.1. Diagnóstico de la presa de tierra y enrocamiento El Batán

El ejercicio efectuado con el Sistema Experto para el diagnóstico en relación con la presa El Batán (referencia 1) se inicia con el esquema de manifestaciones presentado en la Figura 7-1, señalando con el "ratón" que se notaron sumideros en la corona de la presa. Las Figuras 7-2 a 7-6 muestran la secuencia de las preguntas que el programa plantea al usuario y la figura 7-7, resume las causas de la manifestación observada.

Evidentemente las respuestas a las preguntas planteadas son fundamentales en el proceso y en este caso se respaldan en los estudios efectuados y reportados en la referencia 1. A futuro las respuestas a las preguntas planteadas para otros casos de presas deberán apoyarse en los bancos de datos y de conocimientos que se habrán de elaborar

QKI

CORTINA de TIERRA y ENROCAMIENTO

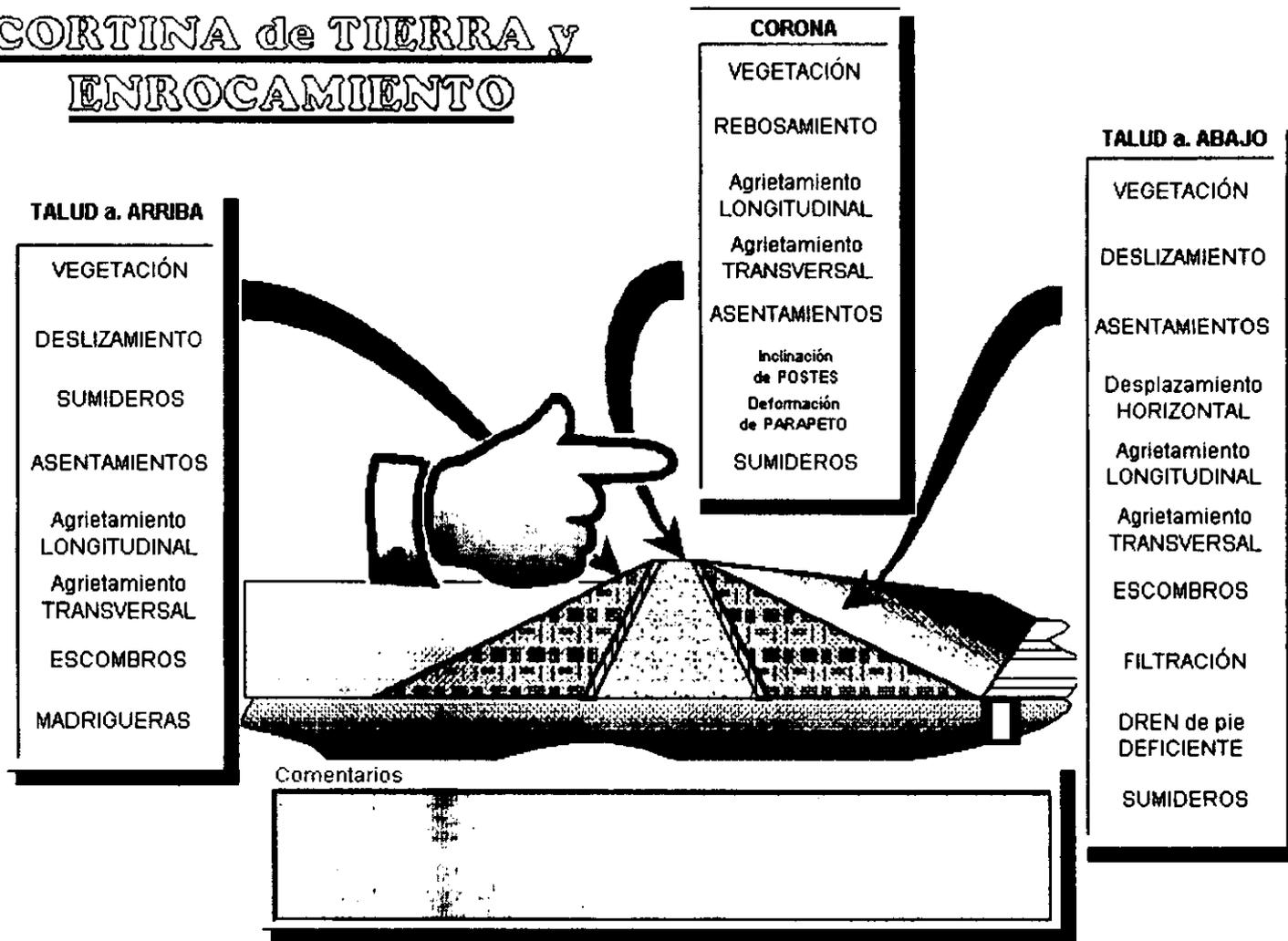


Figura 7-1. Presa El Batan. Diagnóstico. Lista de posibles manifestaciones.  - manifestación señalada en este caso.

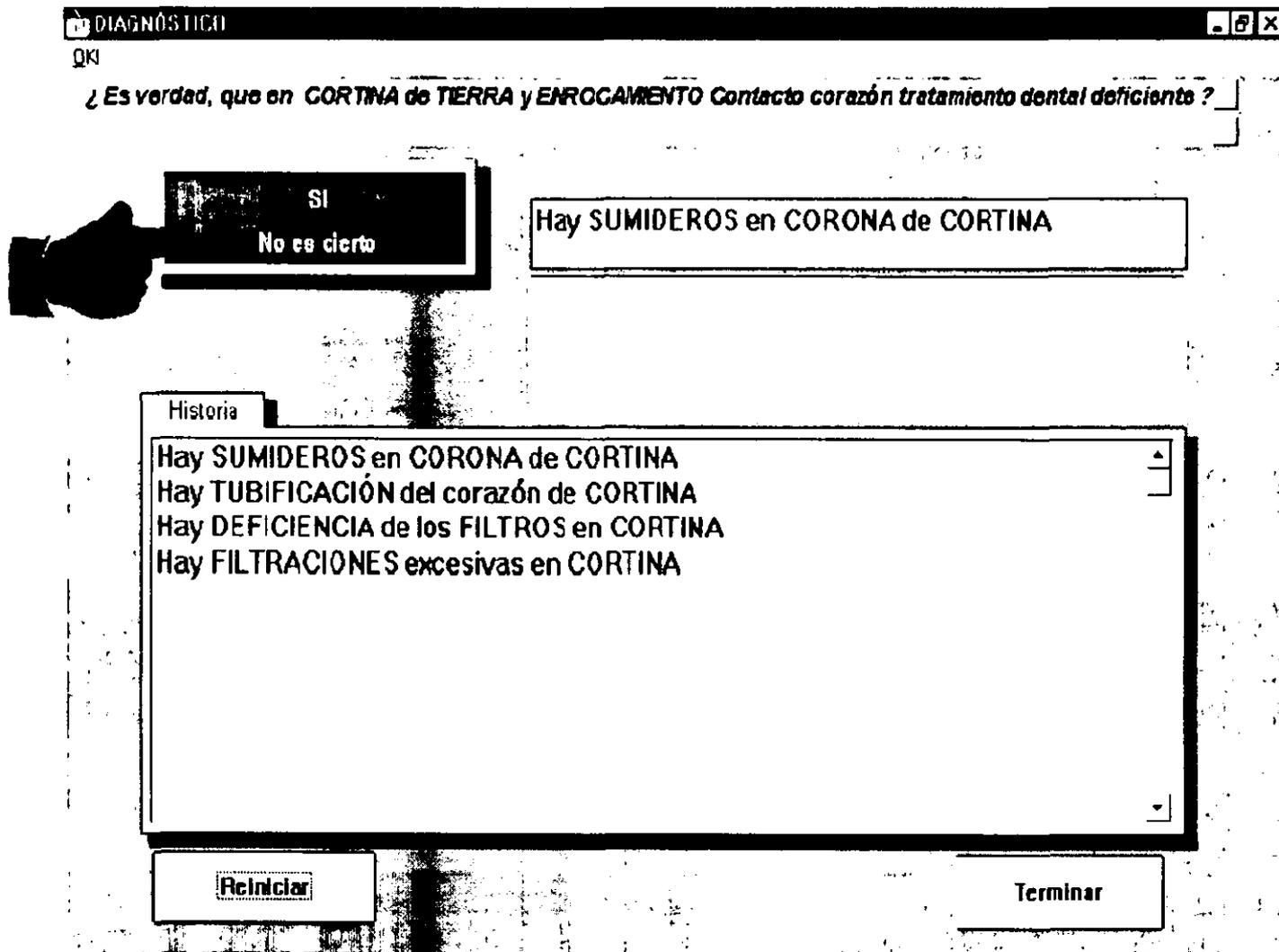


Figura 7-2. Presa El Batán. Diagnóstico. Primera pregunta.  - respuesta del Ingeniero.

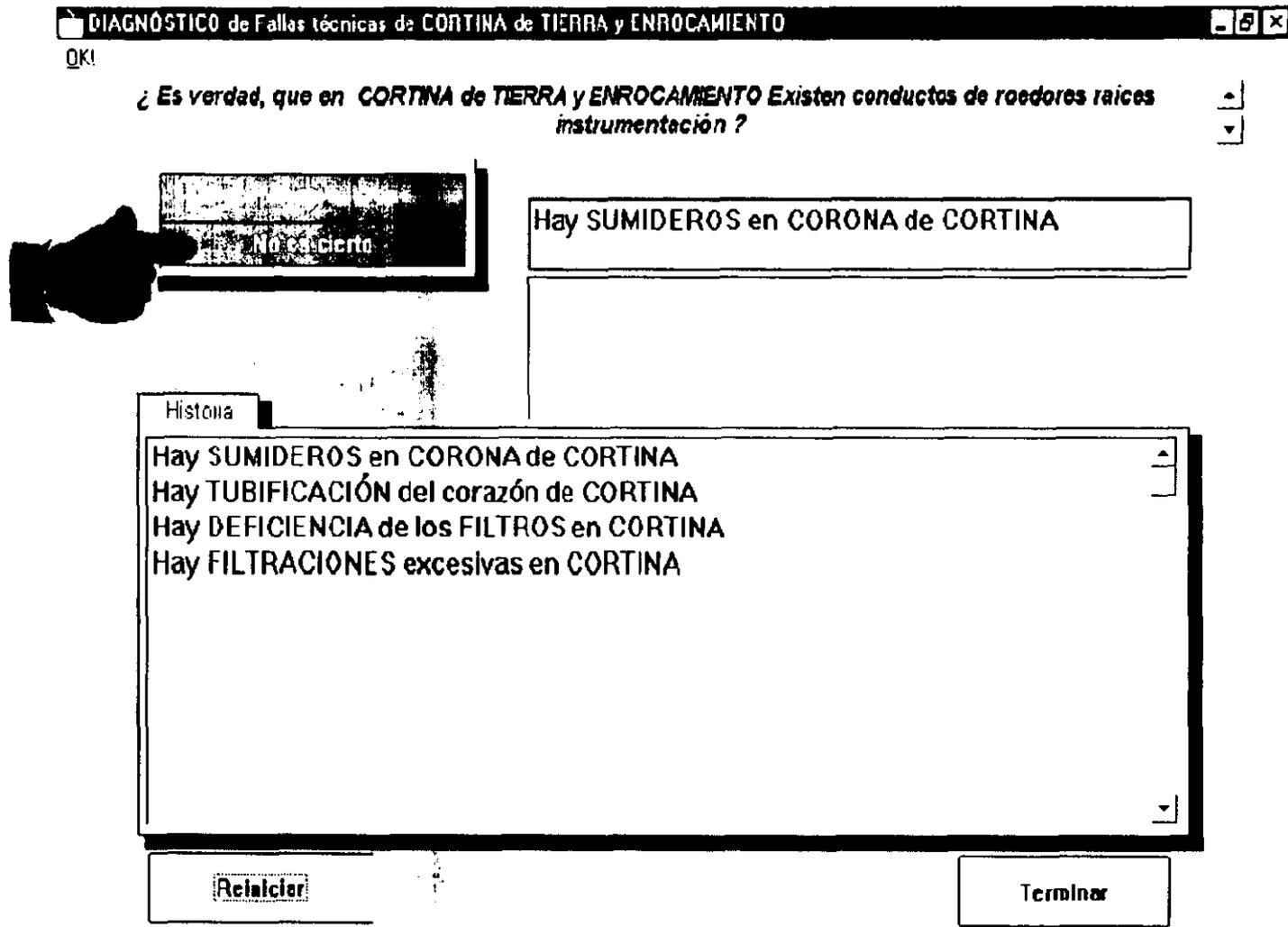


Figura7-3. Presa El Batán. Diagnóstico. Segunda pregunta.  - respuesta del Ingeniero.

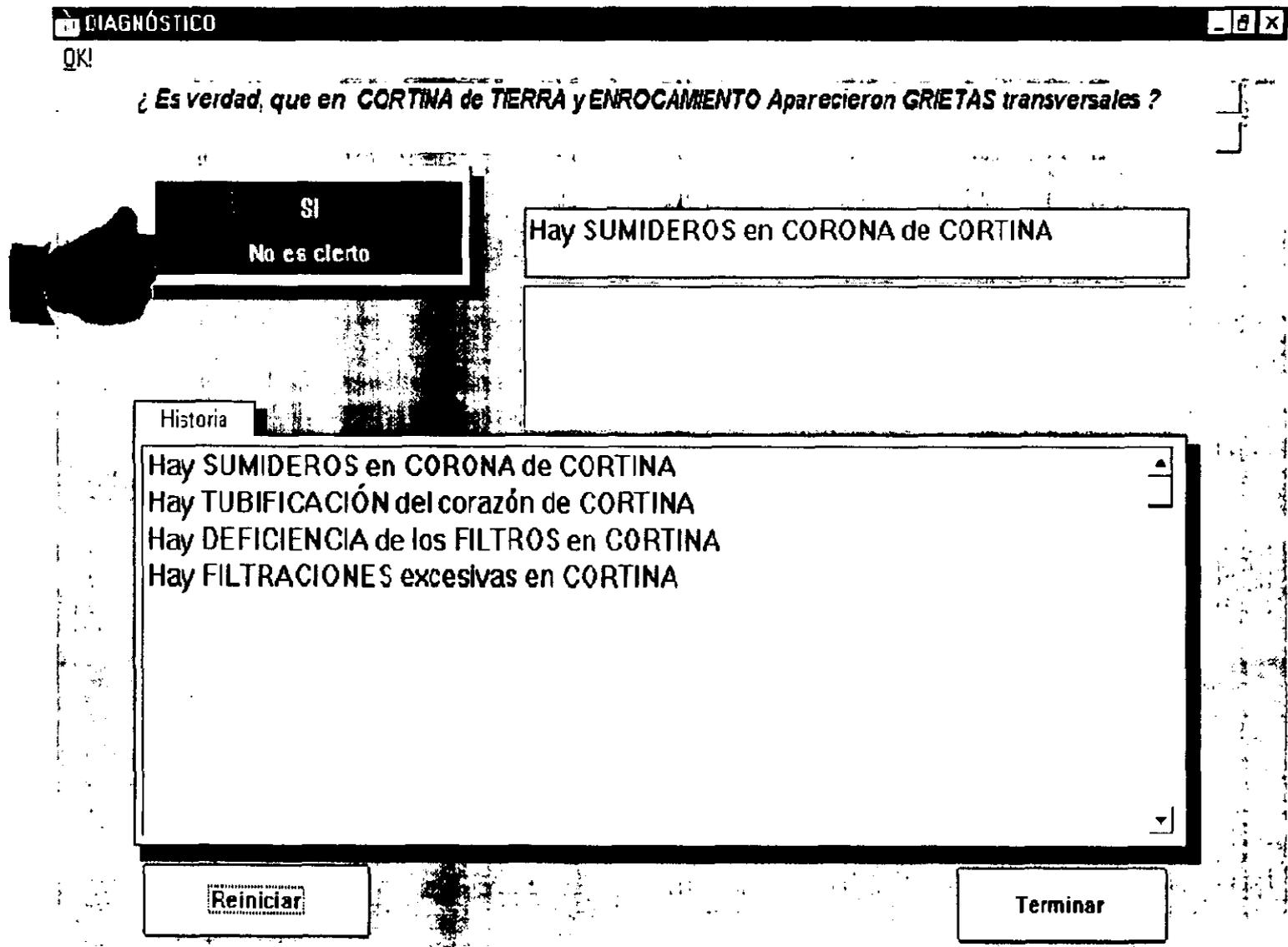


Figura 7-4. Presa El Batán. Diagnóstico. Tercera pregunta.  - respuesta del Ingeniero.

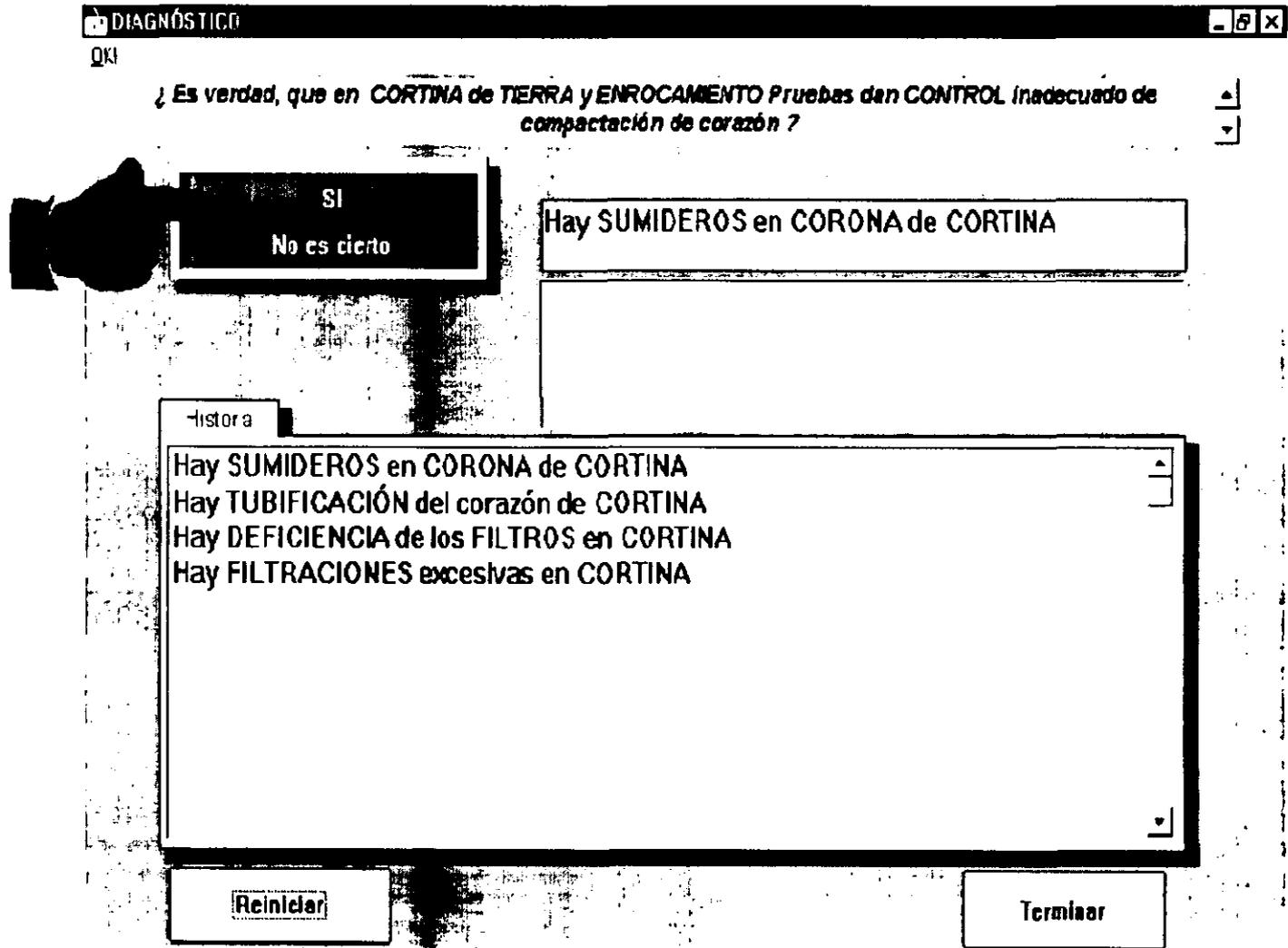


Figura 7-5. Presa El Batán. Diagnóstico. Cuarta pregunta.  - respuesta del Ingeniero.

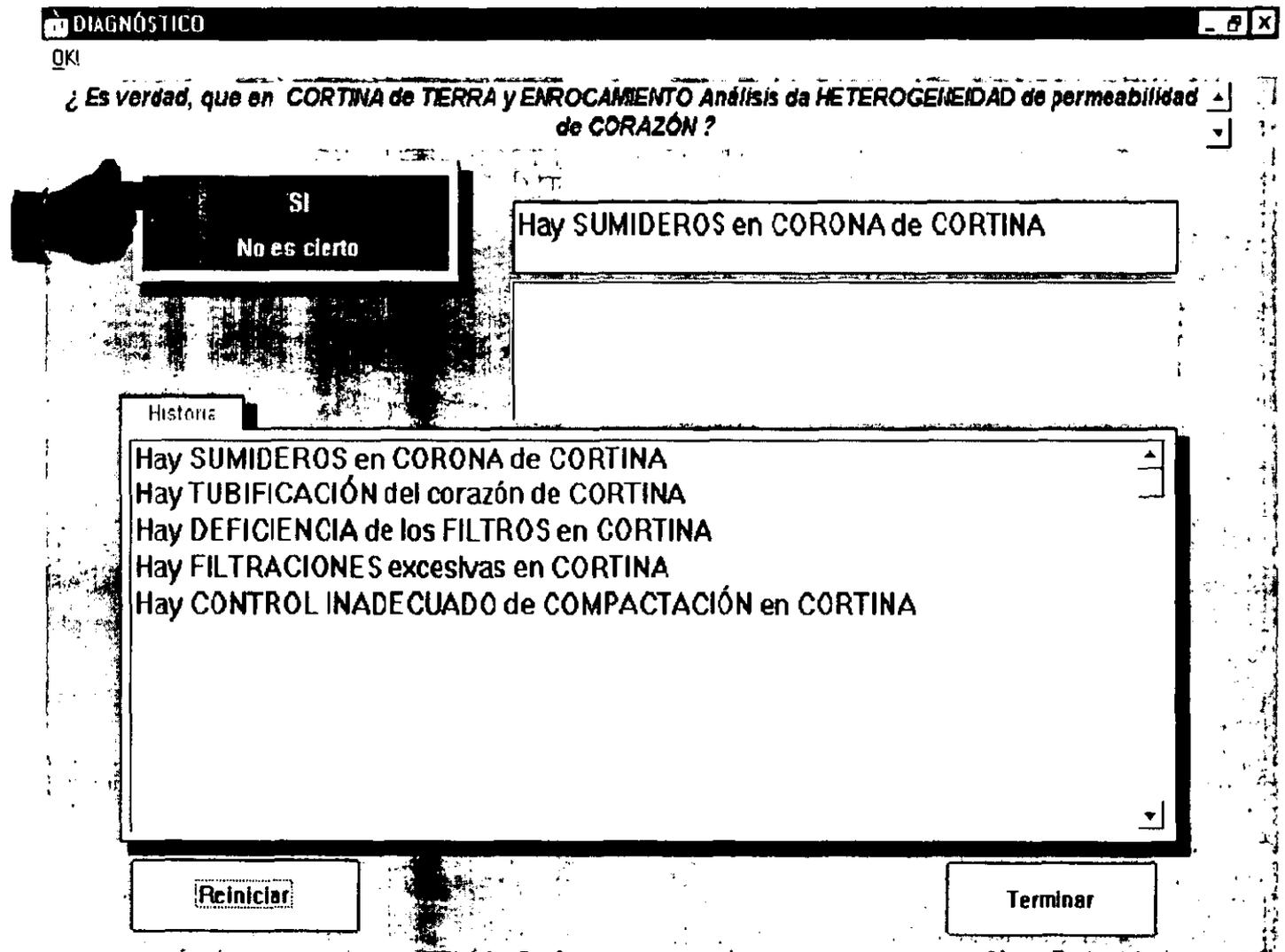


Figura 7-6. Presa El Batán. Diagnóstico. Quinta pregunta.  - respuesta del Ingeniero.

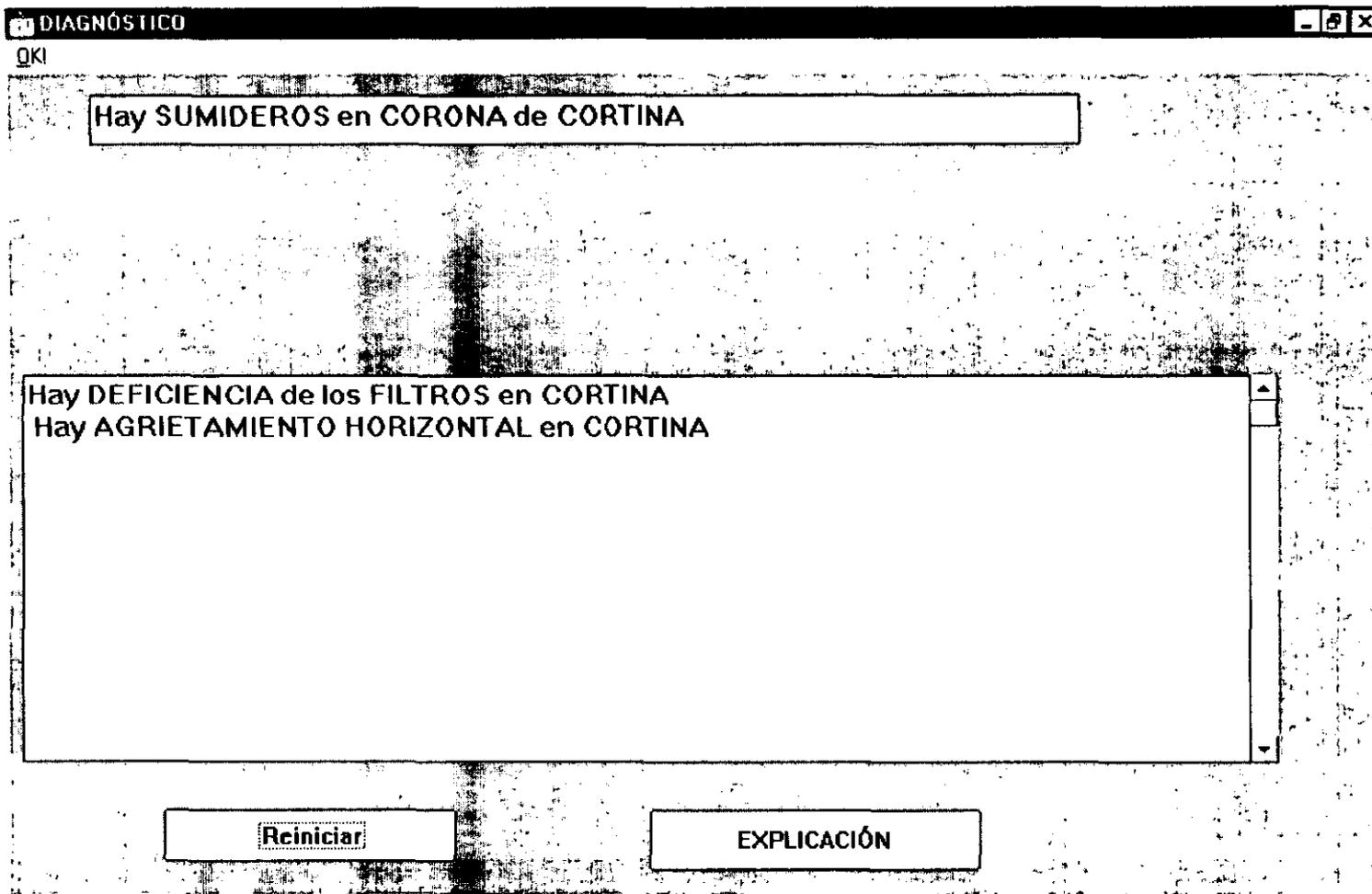


Figura 7-7. Presa El Batán. Diagnóstico. Causas detectadas.

7.2.1.2. Diagnóstico de la presa de concreto Huites (Luis Donaldo Colosio).

El ejercicio efectuado con el Sistema Experto para el diagnóstico de la presa de concreto Huites (Luis Donaldo Colosio) se realizó para dos manifestaciones observadas desde el llenado del embalse (referencia 5) :

- 1). El problema de la permeabilidad del cuerpo de la cortina se presentó al iniciar el llenado del embalse. Cuando la elevación del embalse llegó a 250.6 msnm se observaron numerosas salidas de agua a través de las juntas de colado provenientes del cuerpo de la cortina y el gasto total de filtraciones alcanzó 197.7 l/s. El ejercicio se inicia con el esquema de manifestaciones presentado en la Figura 7-8, señalando con el "ratón" "Filtración" en el parámetro aguas abajo. Las Figuras 7-9 a 7-17 muestran la secuencia de preguntas que el programa plantea al usuario con la respuestas del mismo. La figura 30 resume la causas de la manifestación observada.
- 2). Los desplazamientos horizontales de la cortina son comparativamente elevados. El ejercicio se inicia señalando con ratón en el esquema de manifestaciones (Figura 7-19) la manifestación "Desplazamientos horizontales" del cuerpo. Las Figuras 7-20 a 7-31 muestran la secuencia de preguntas del programa y respuestas del usuario.

La Figura 7-32 resume las causas de esa manifestación observada.

CORTINA de CONCRETO

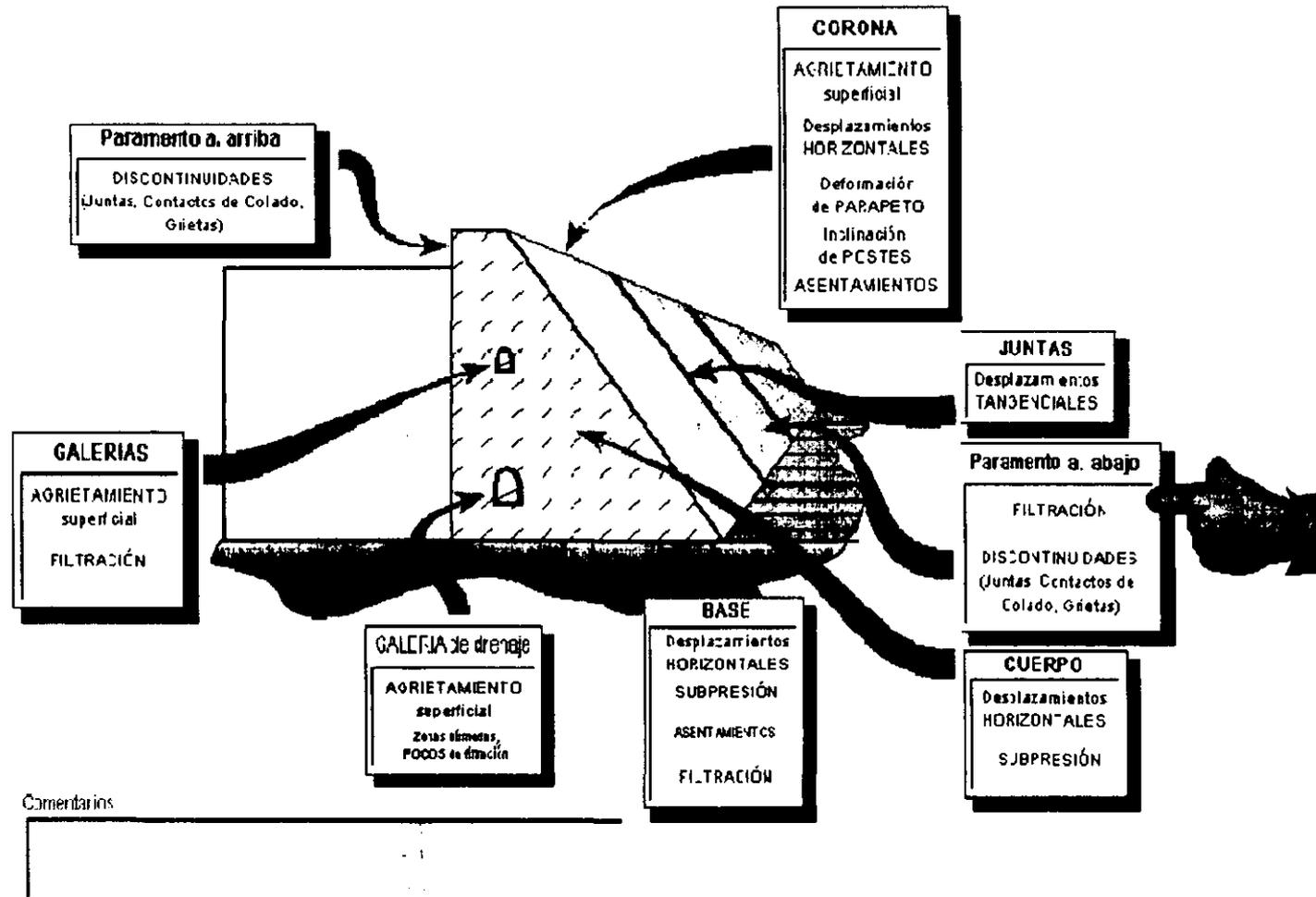


Figura 7-8. Presa Huites. Diagnóstico. Lista de posibles manifestaciones.

 - manifestación señalada en este caso.

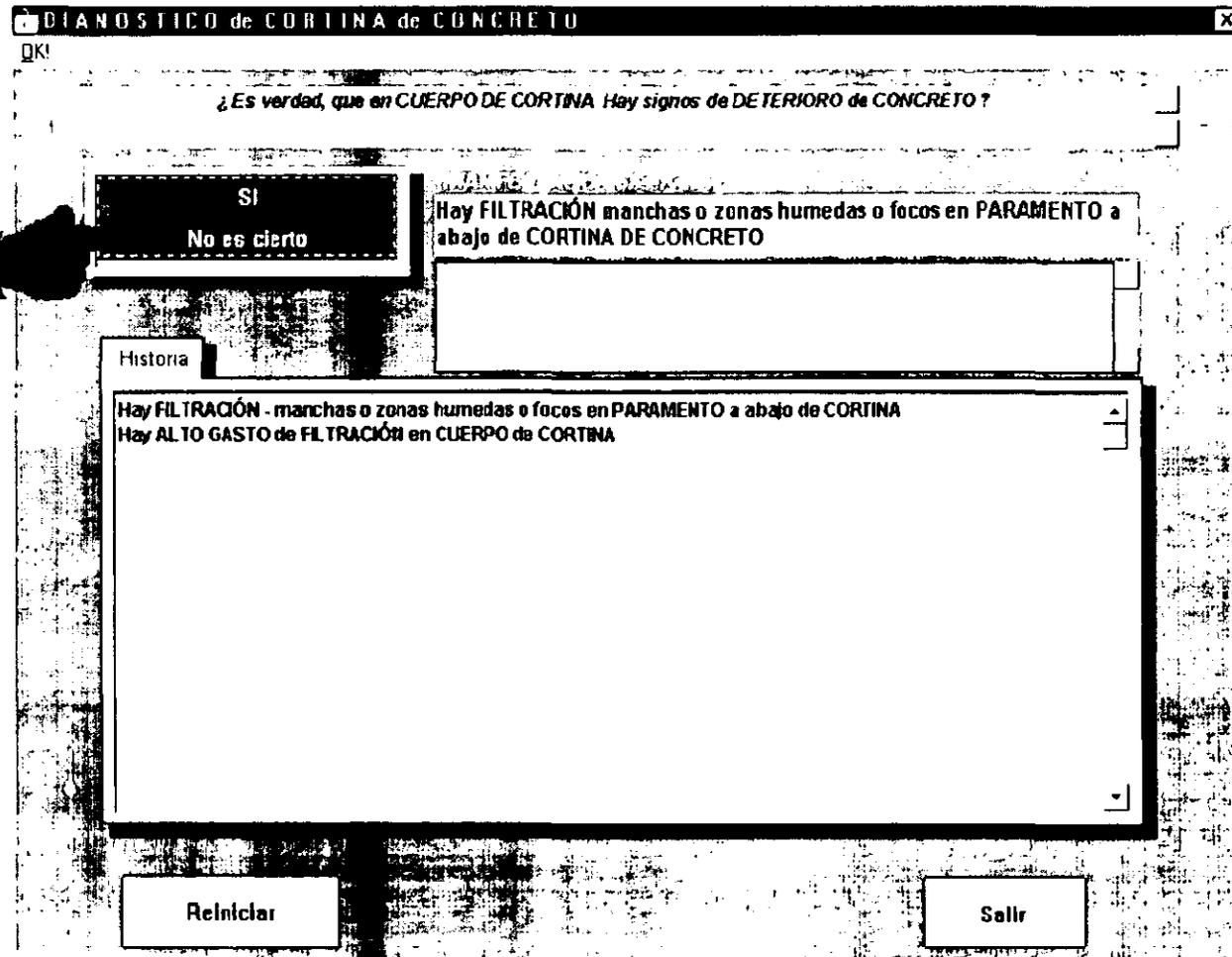


Figura 7-9. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina".
Primera pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

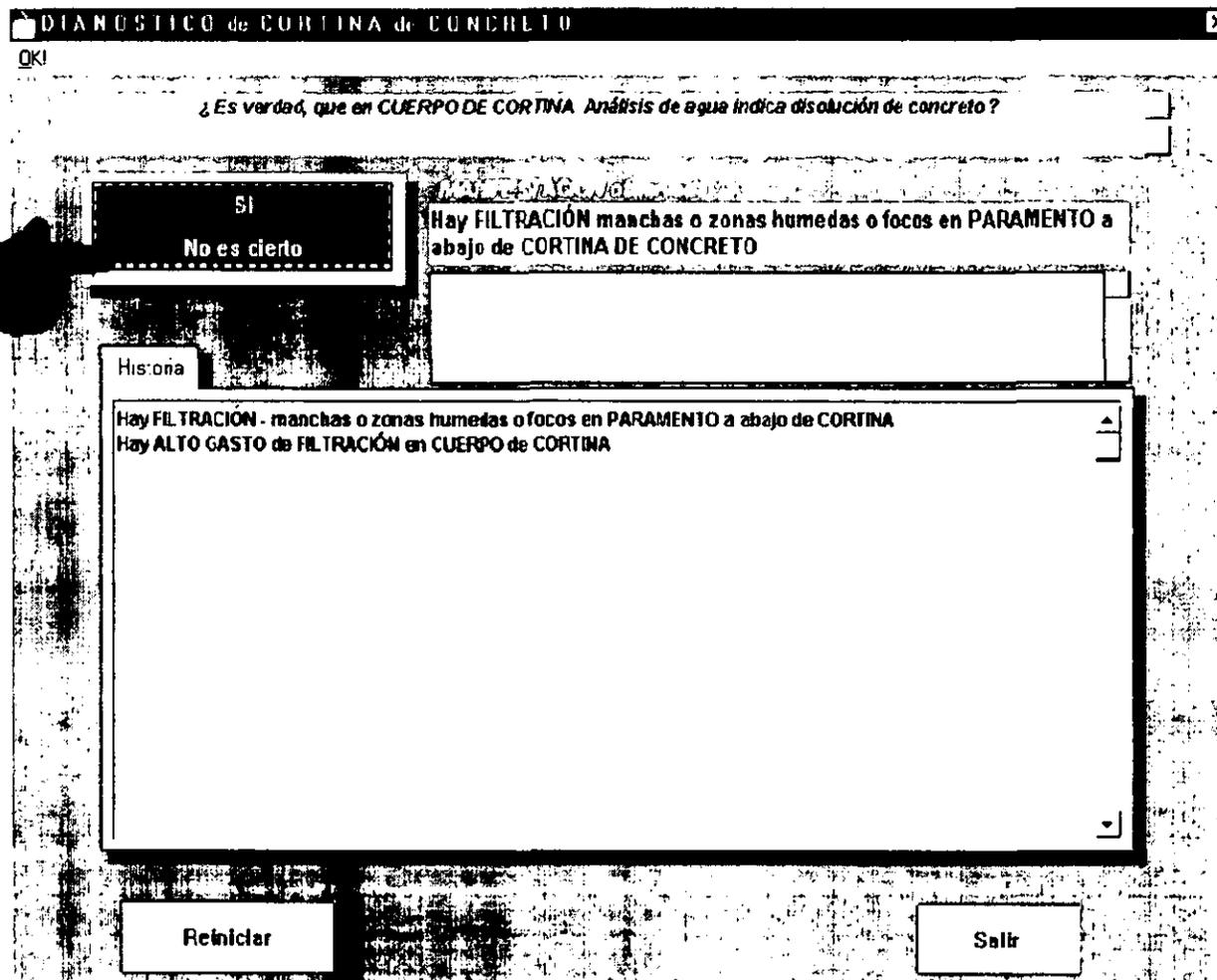


Figura 7-10. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Segunda pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

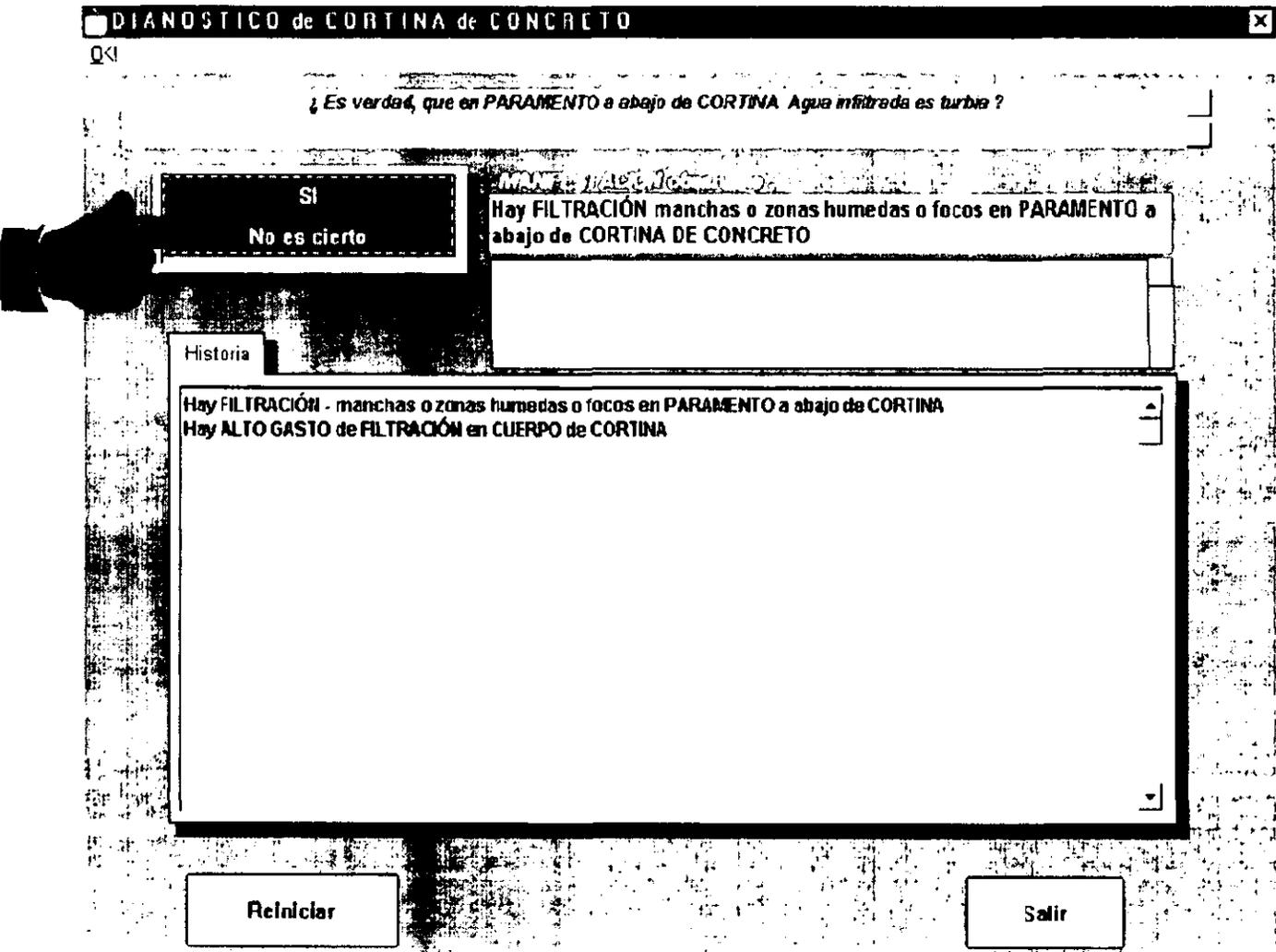


Fig7-11. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Tercera pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

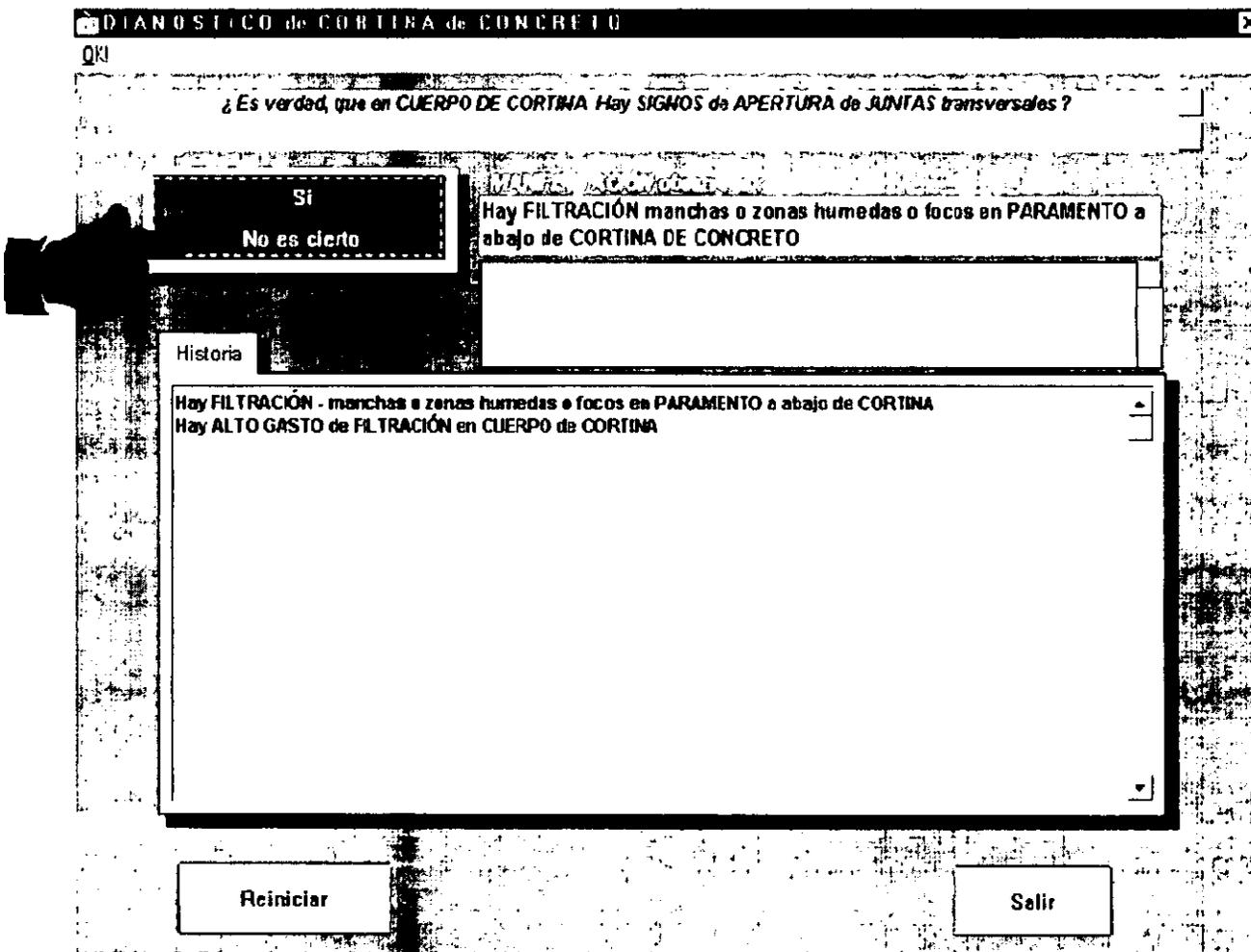


Figura 7-12 Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Cuarta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

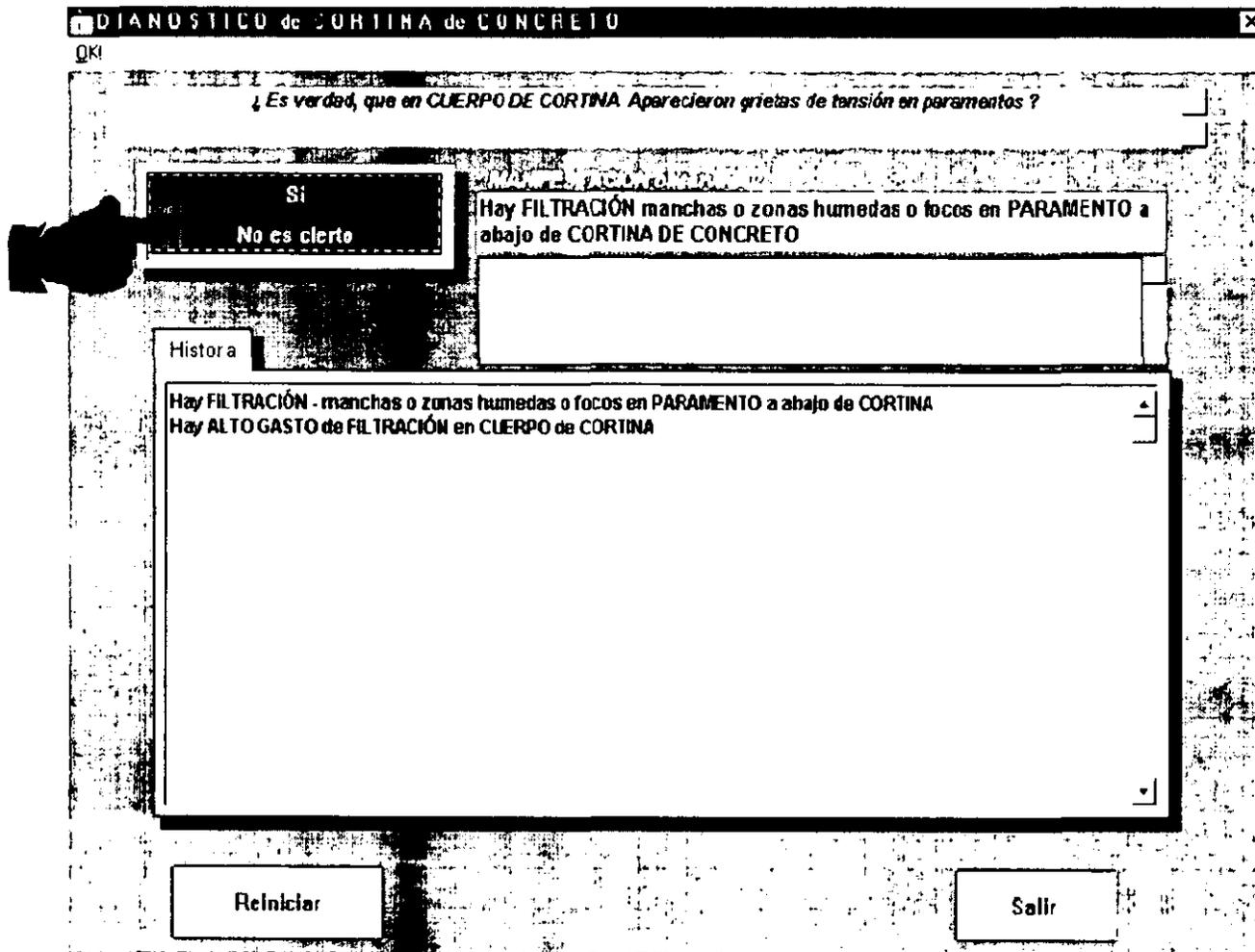


Figura 7-13. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Quinta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

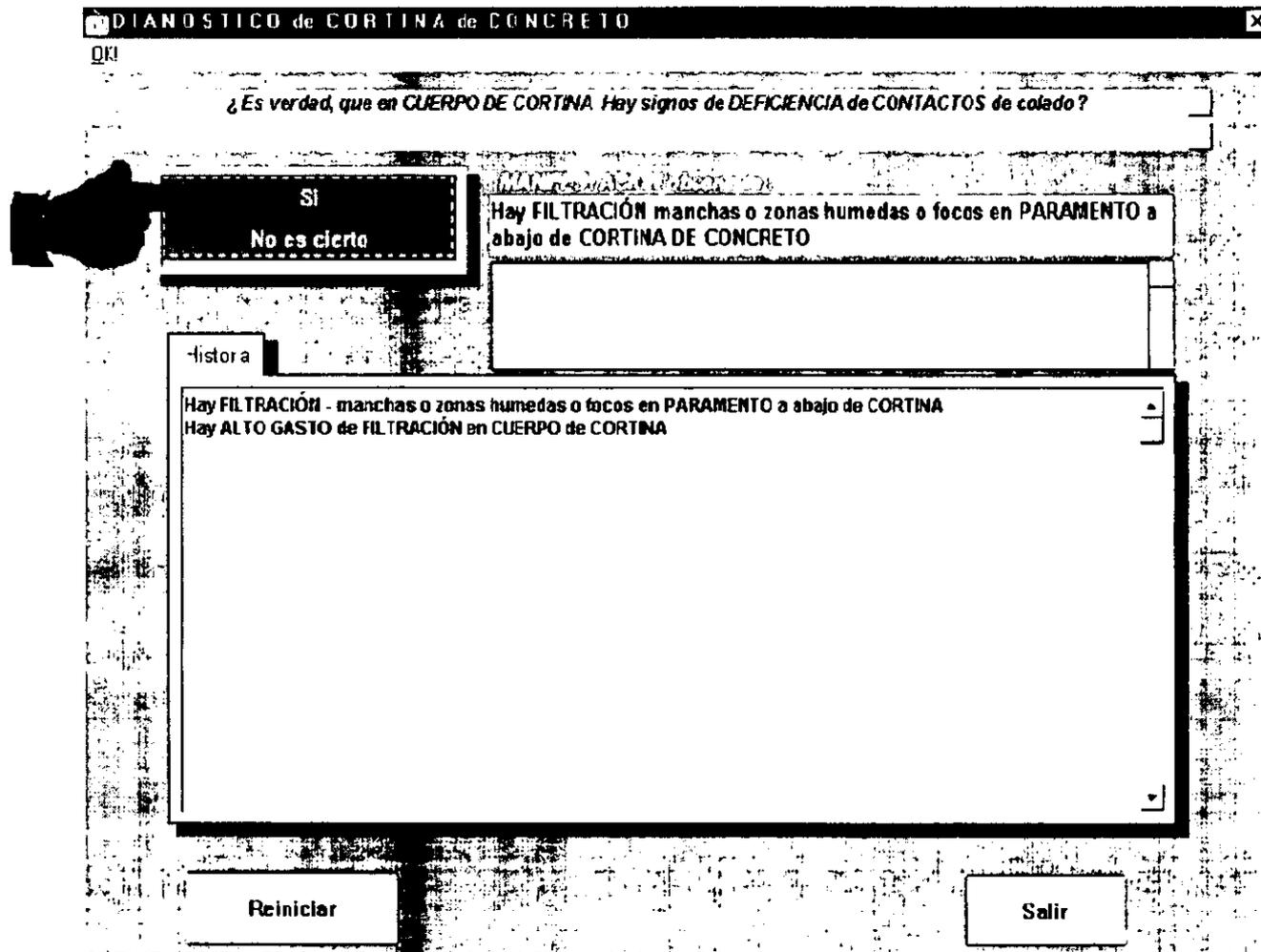


Figura 7-14. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Sexta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

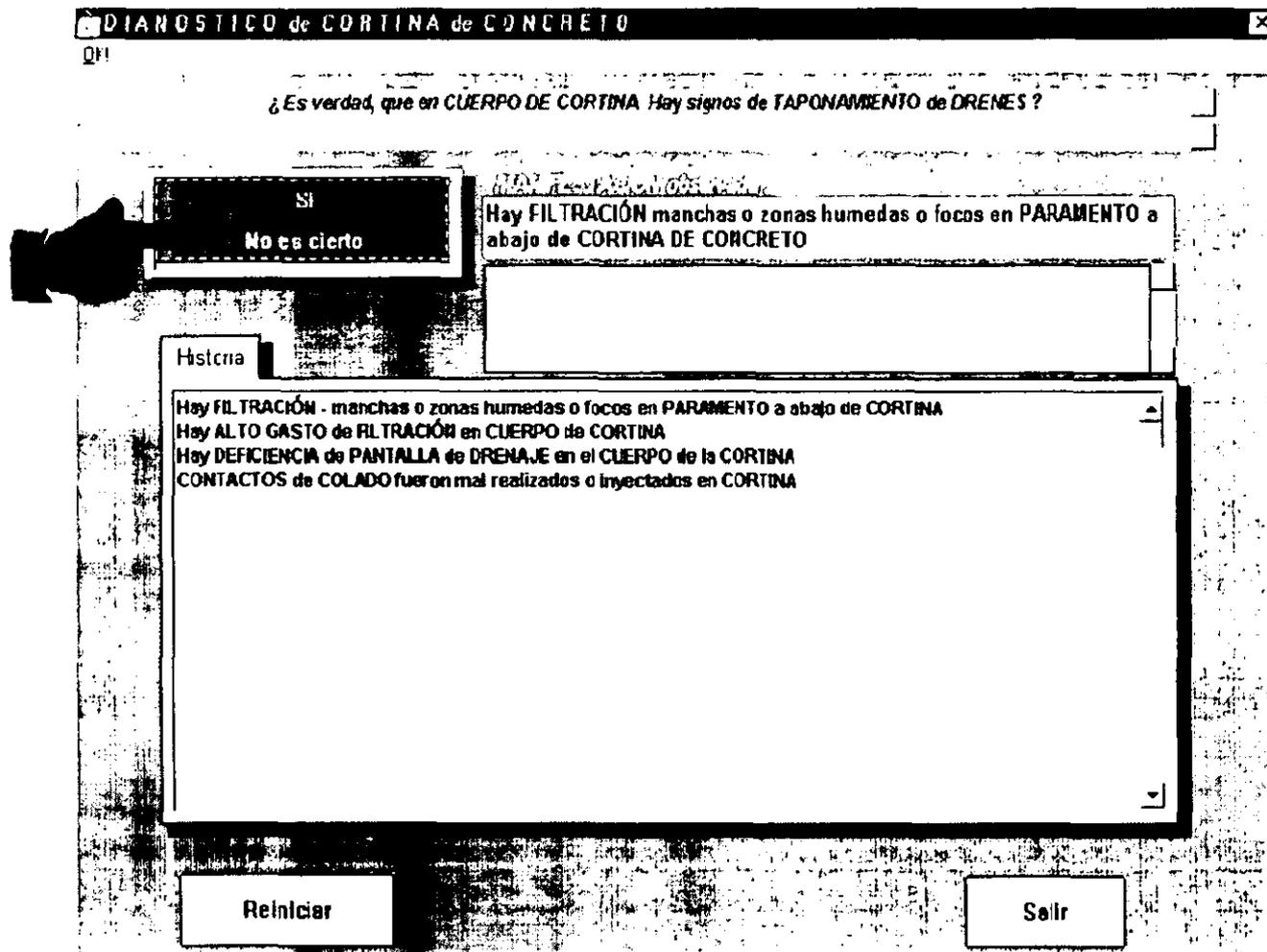


Figura 7-15. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Séptima pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

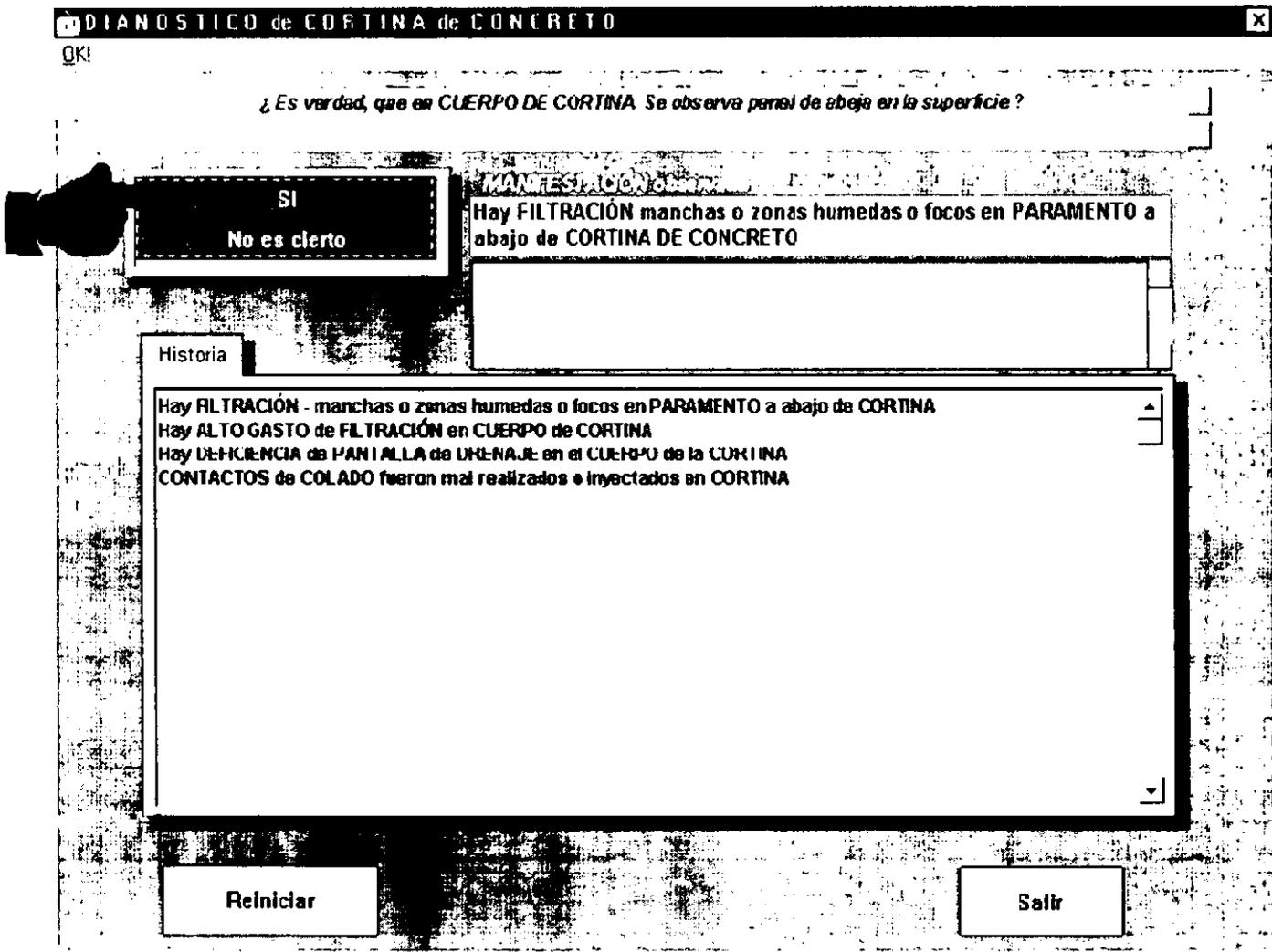


Figura 7-16. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Octava pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

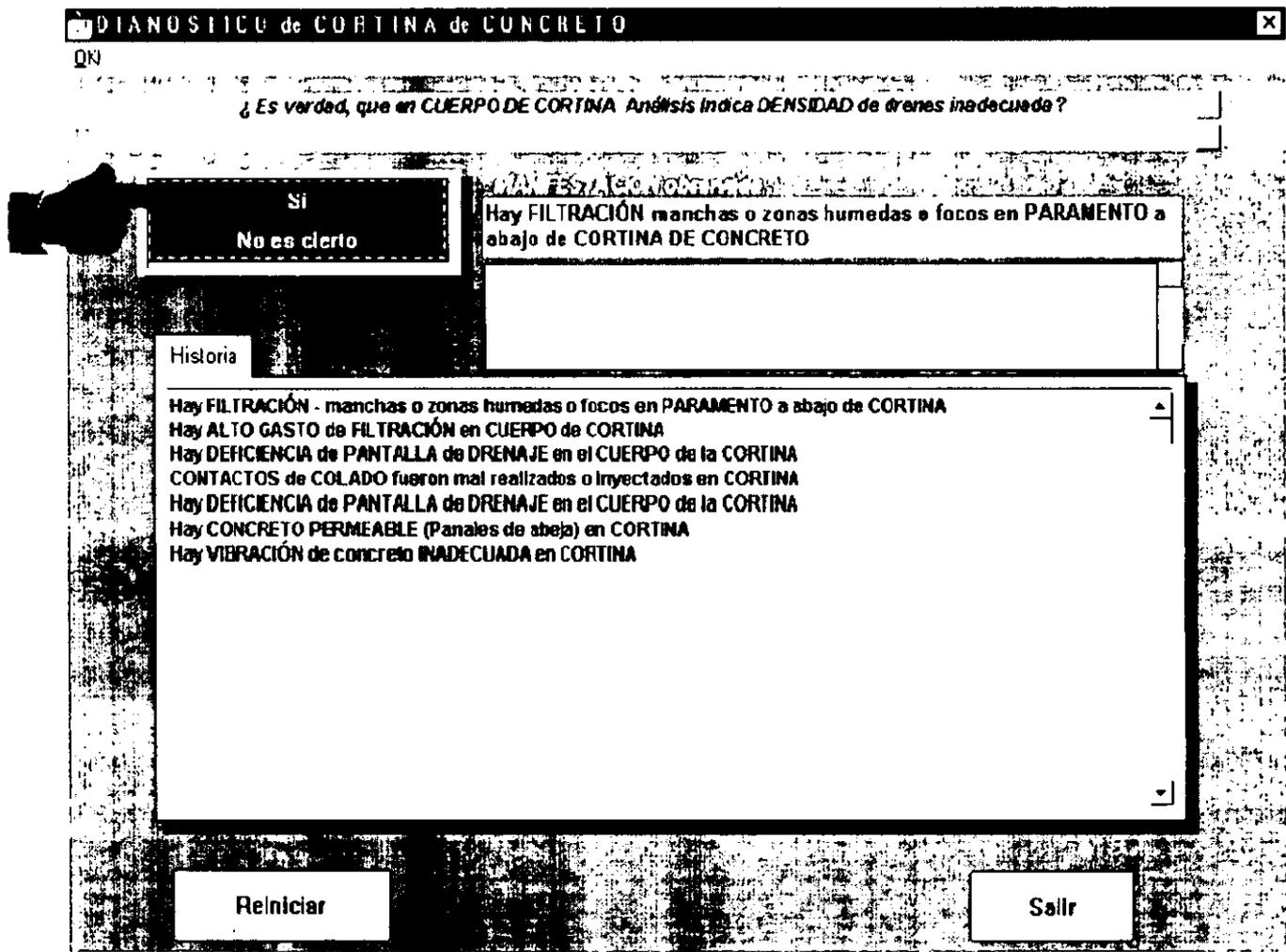


Figura 7-17. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina". Novena pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

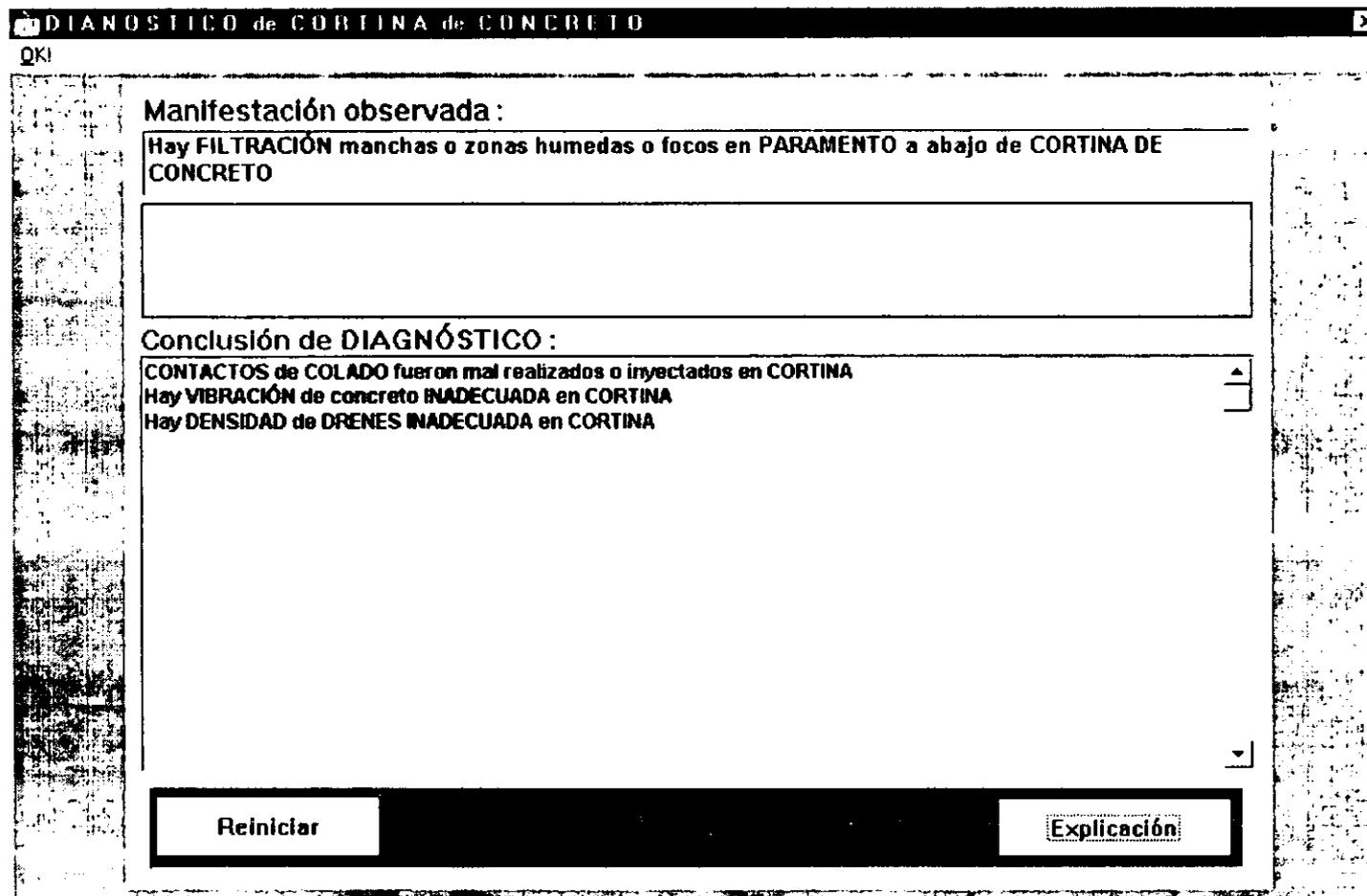


Figura 7-18. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Filtración en paramento de aguas abajo de cortina".

Conclusión de diagnóstico

CORTINA de CONCRETO

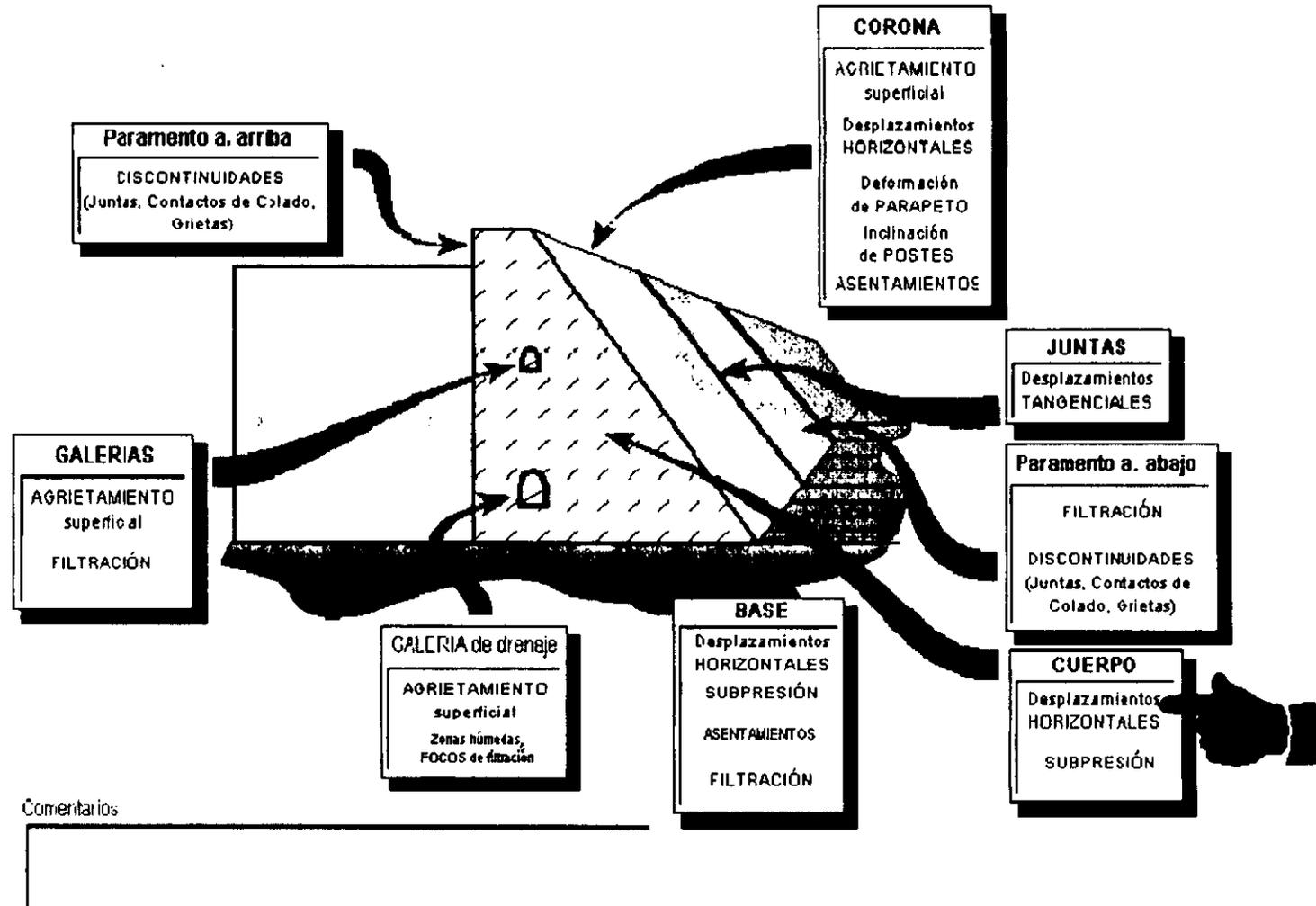


Figura 7-19. Presa Huites. Diagnóstico. Lista de posibles manifestaciones.

 - manifestación señalada en este caso.

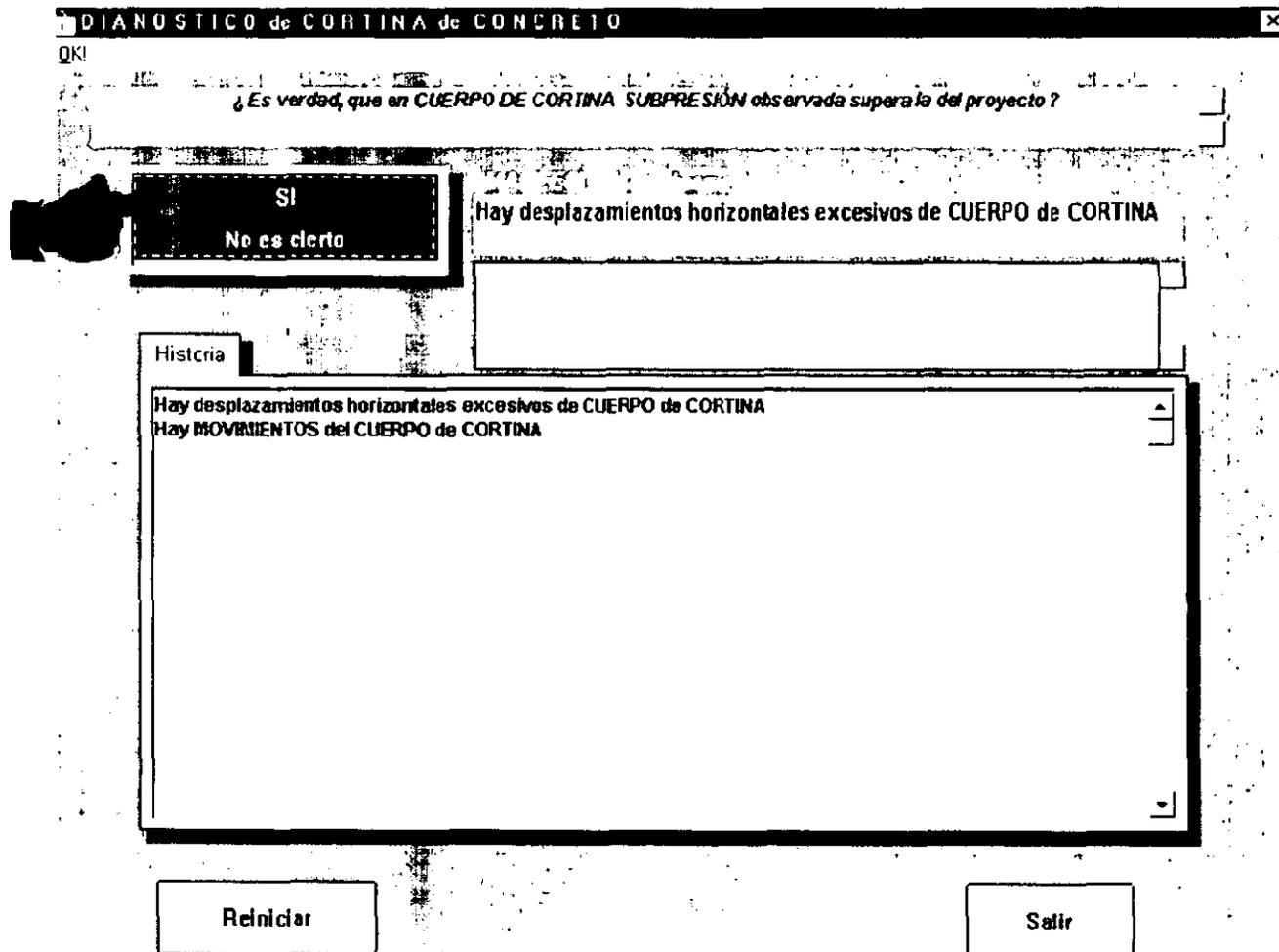


Figura 7-20. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Primera pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

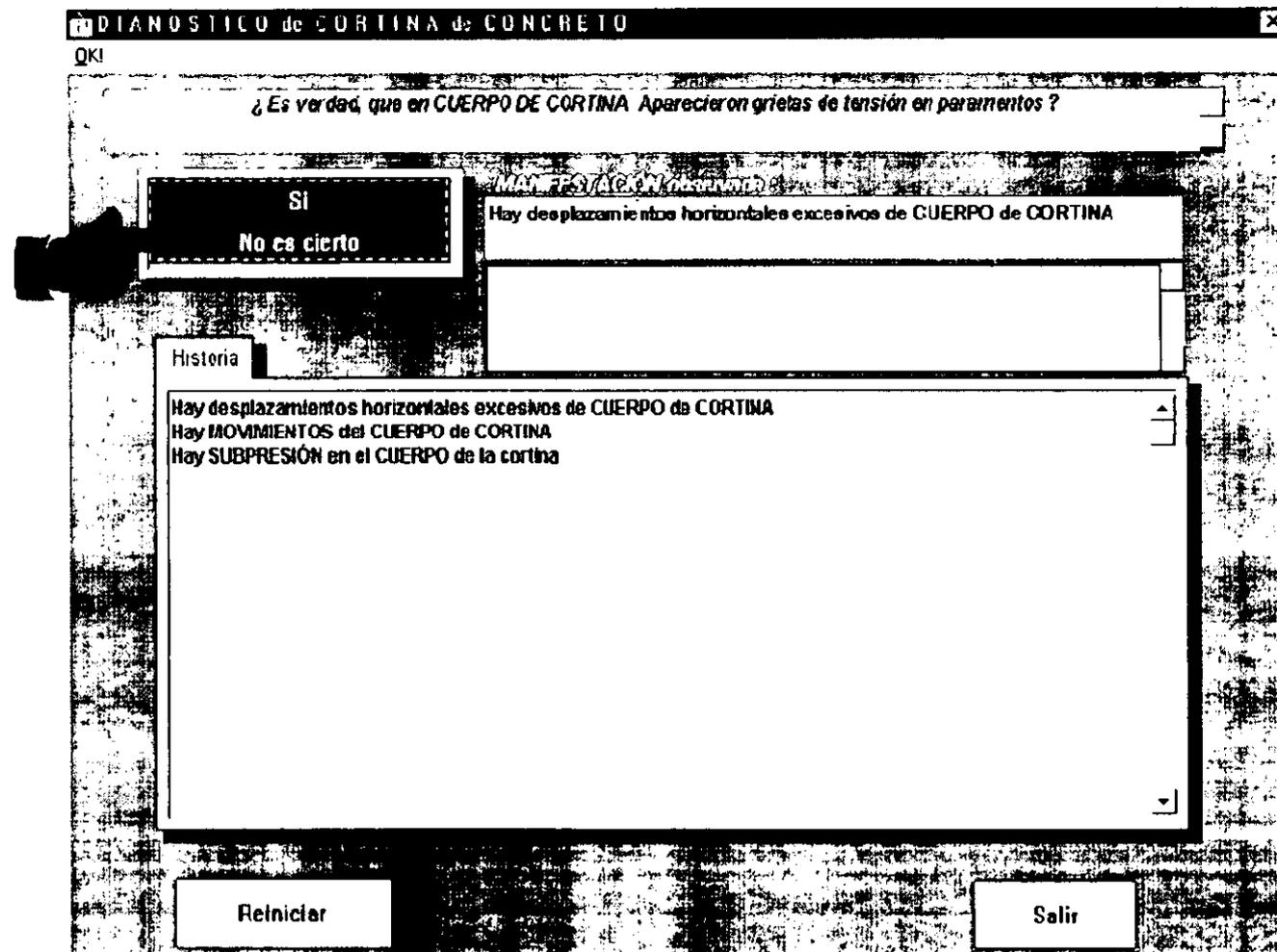


Figura 7-21. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Segunda pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

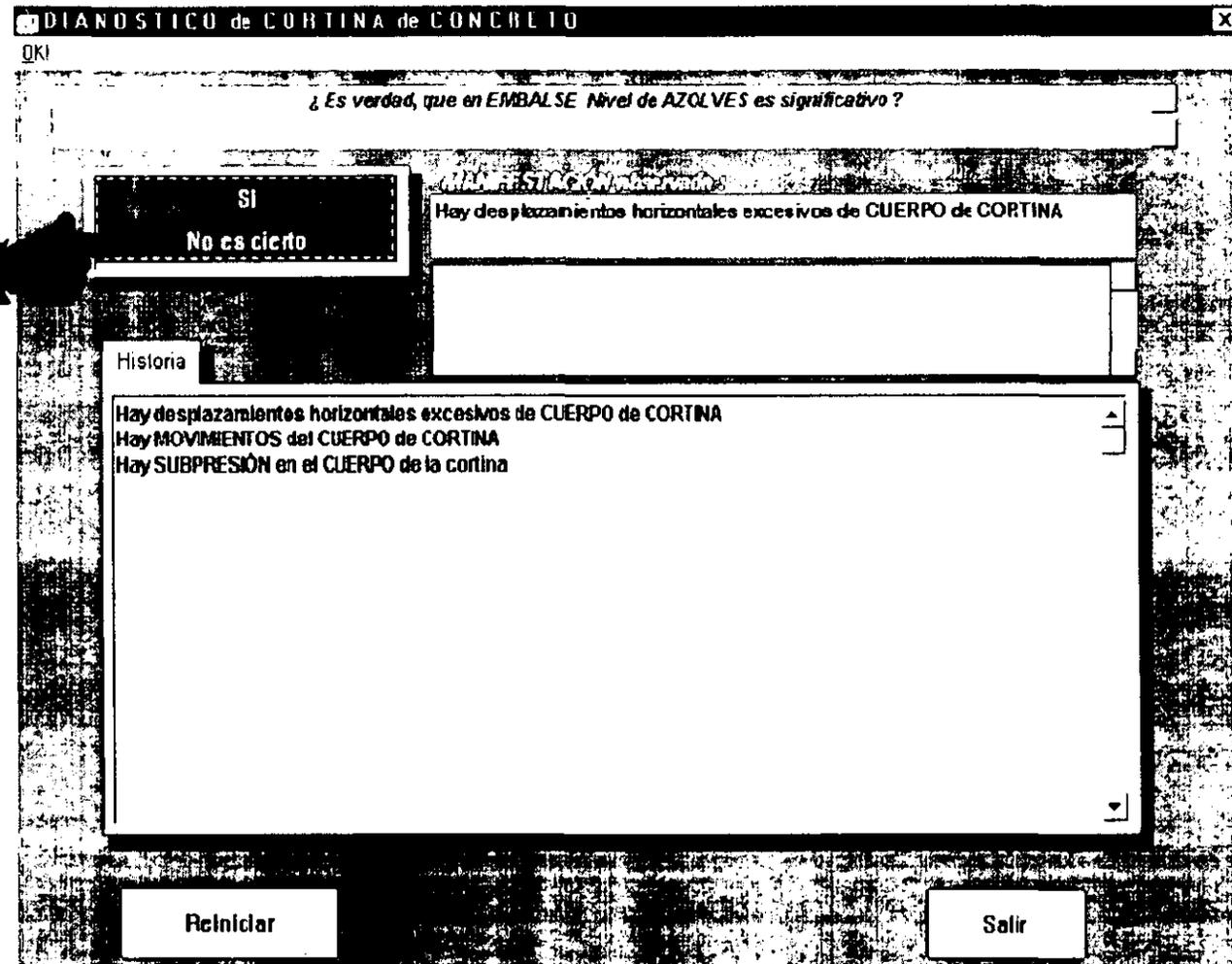


Figura 7-22. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Tercera pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

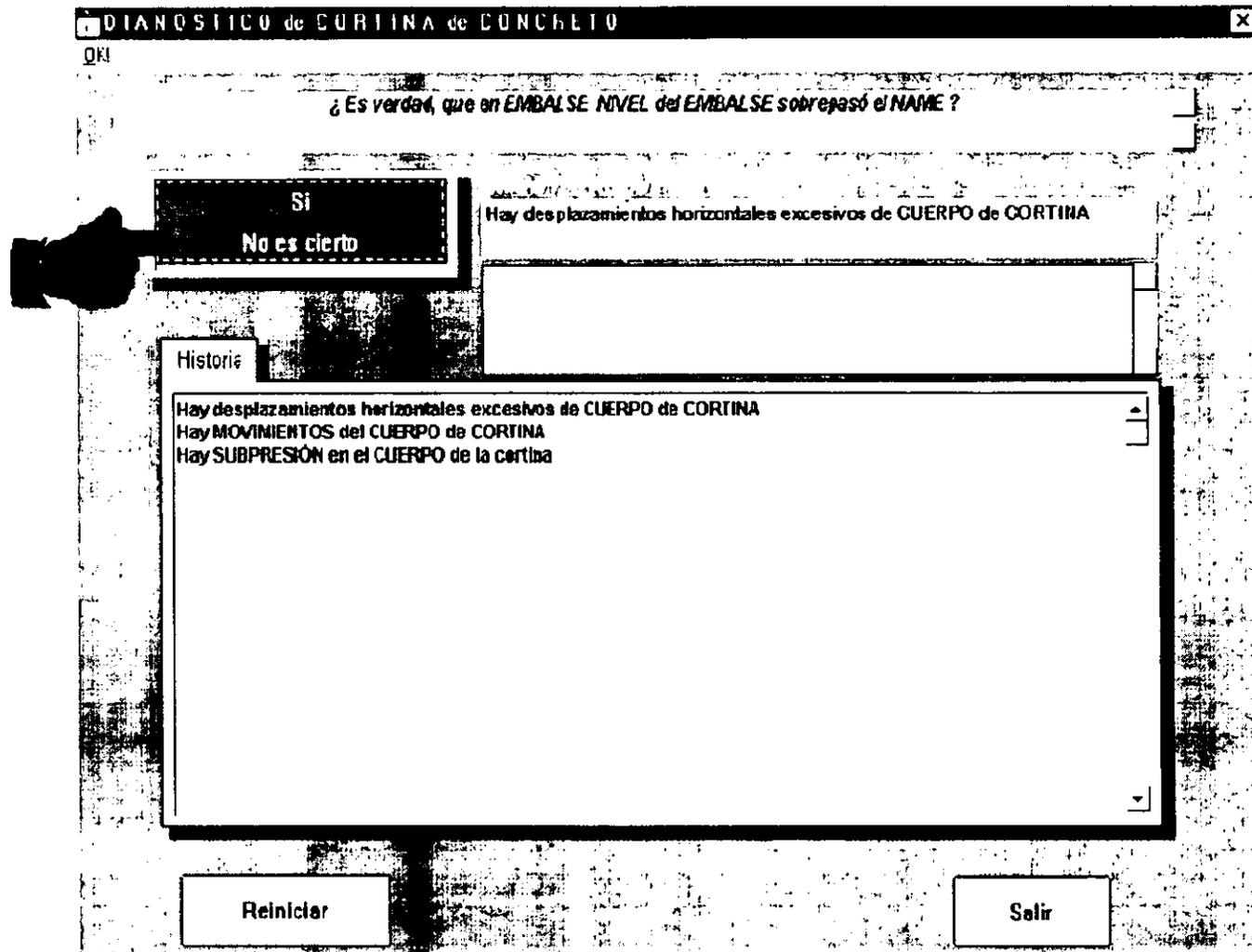


Figura 7-23. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Cuarta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

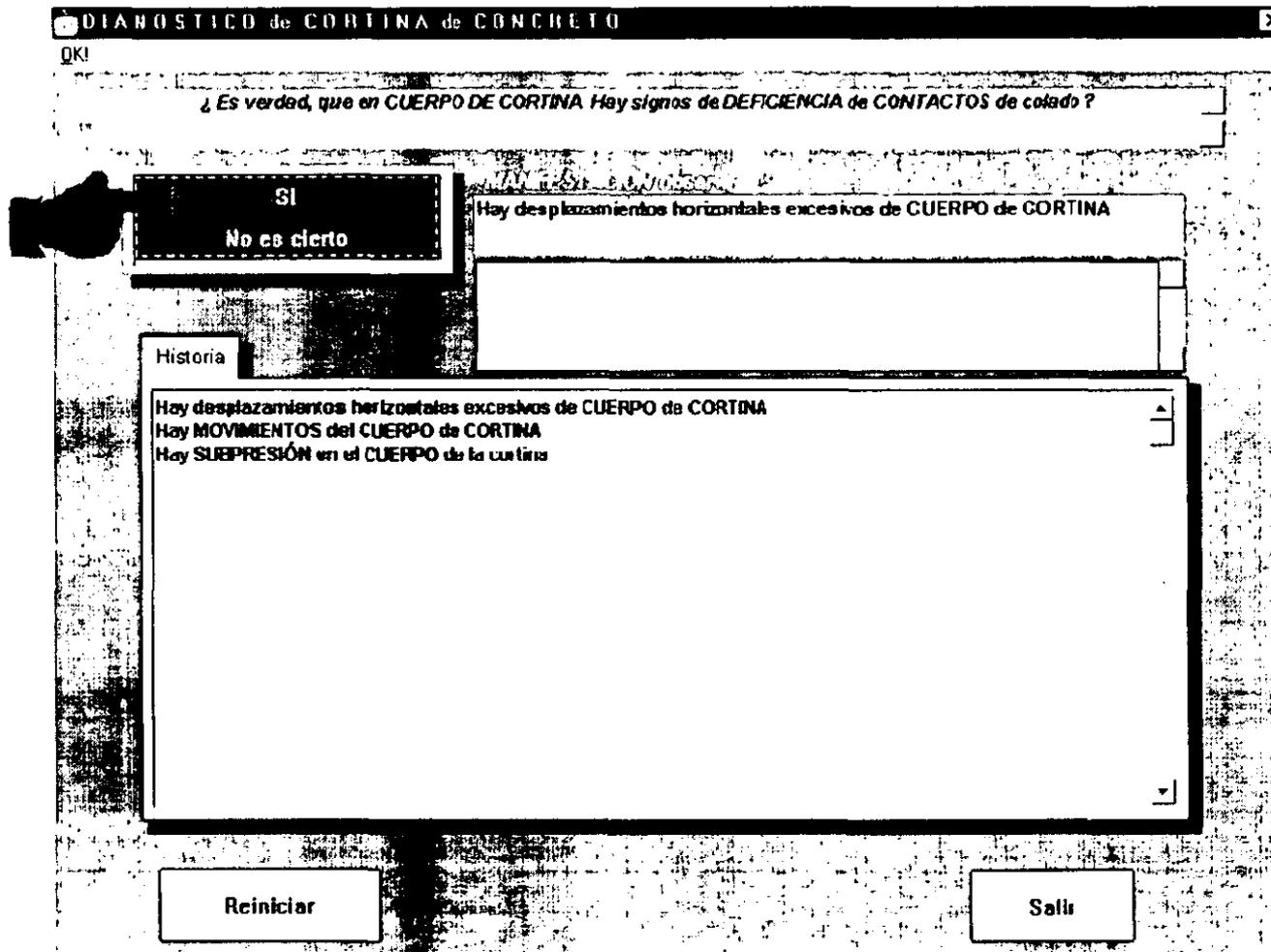


Figura 7-24. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Quinta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

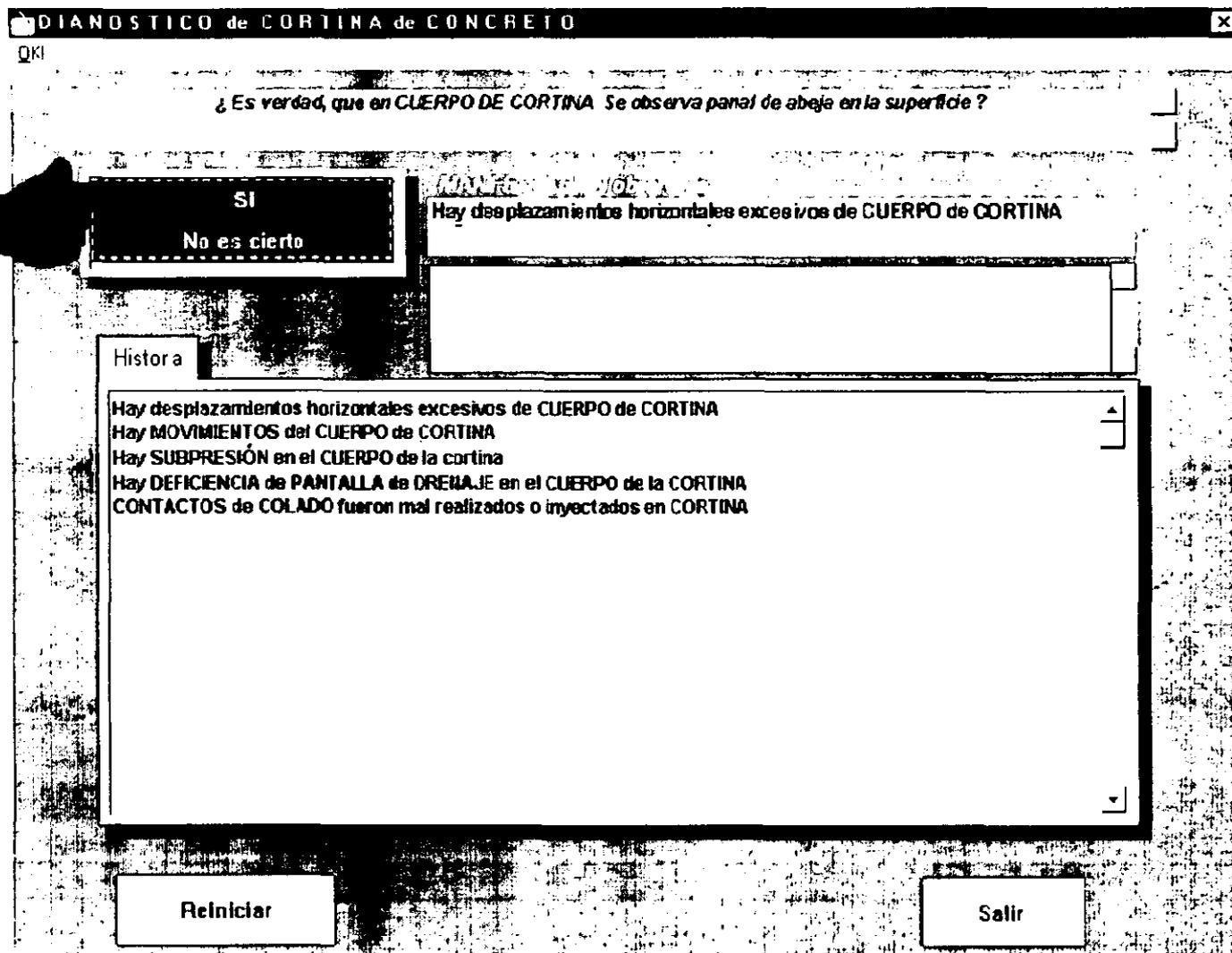


Figura 7-25. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Sexta pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

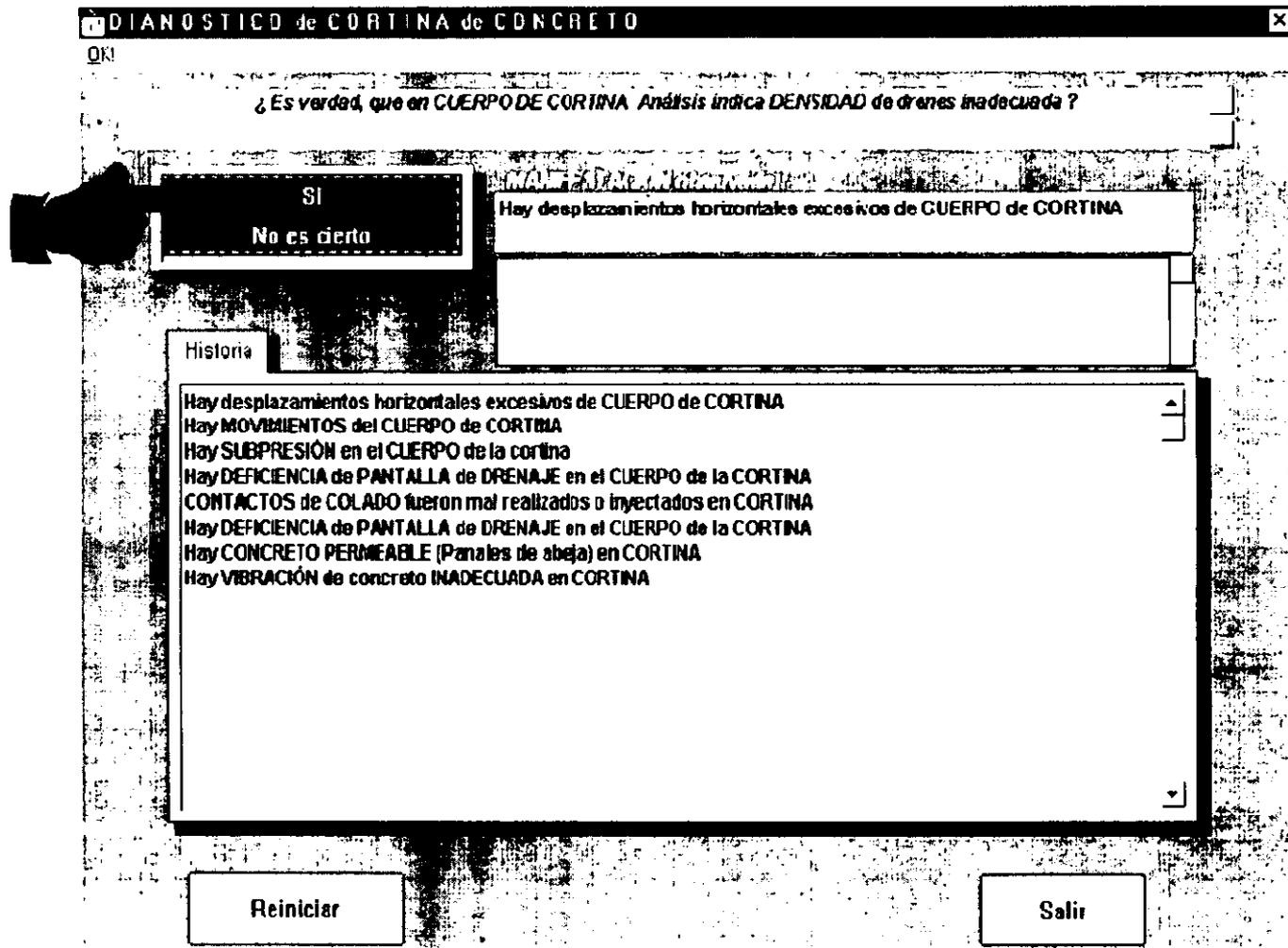


Figura 7-26. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Séptima pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

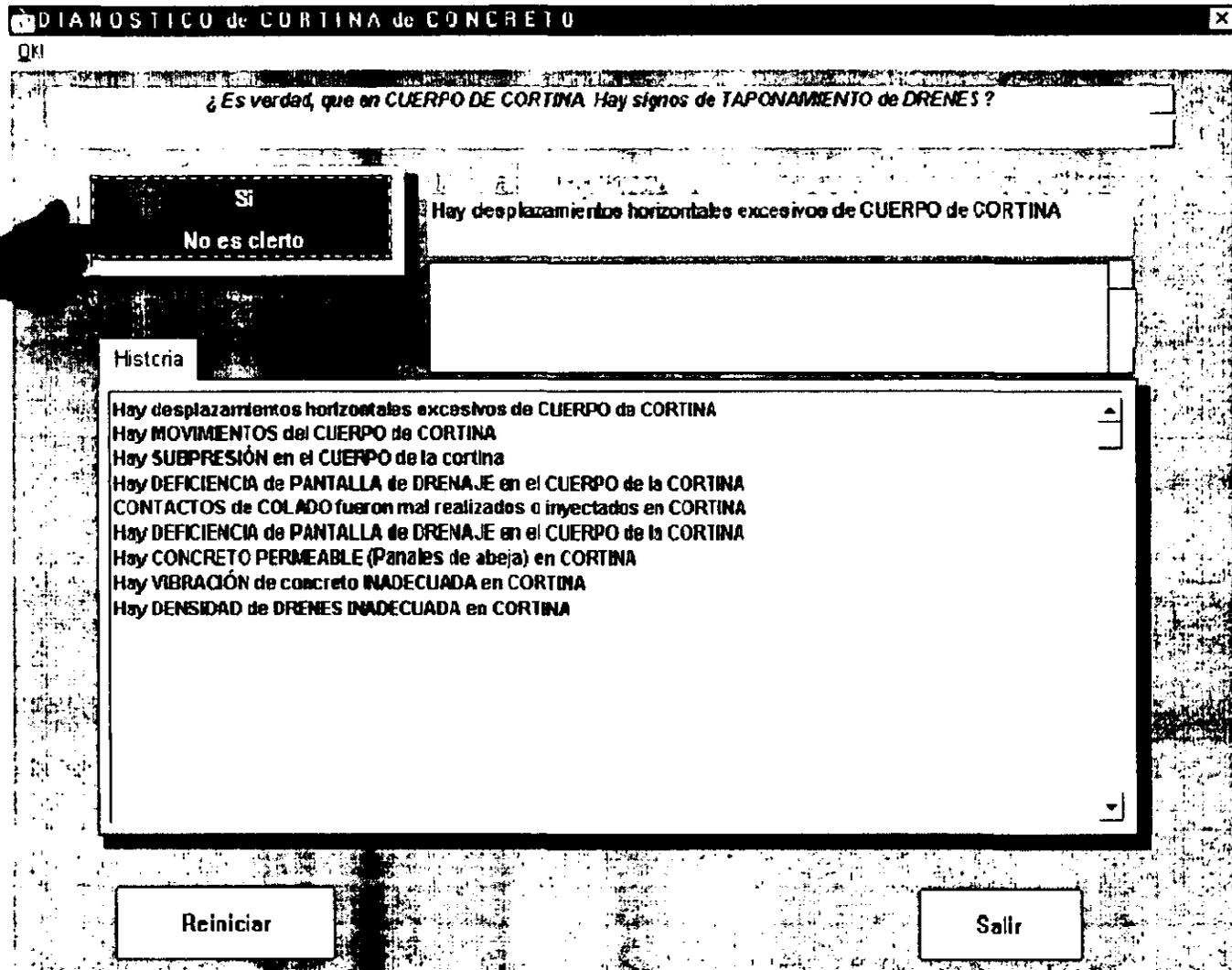


Figura 7-27. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Octava pregunta.



- respuesta del ingeniero.

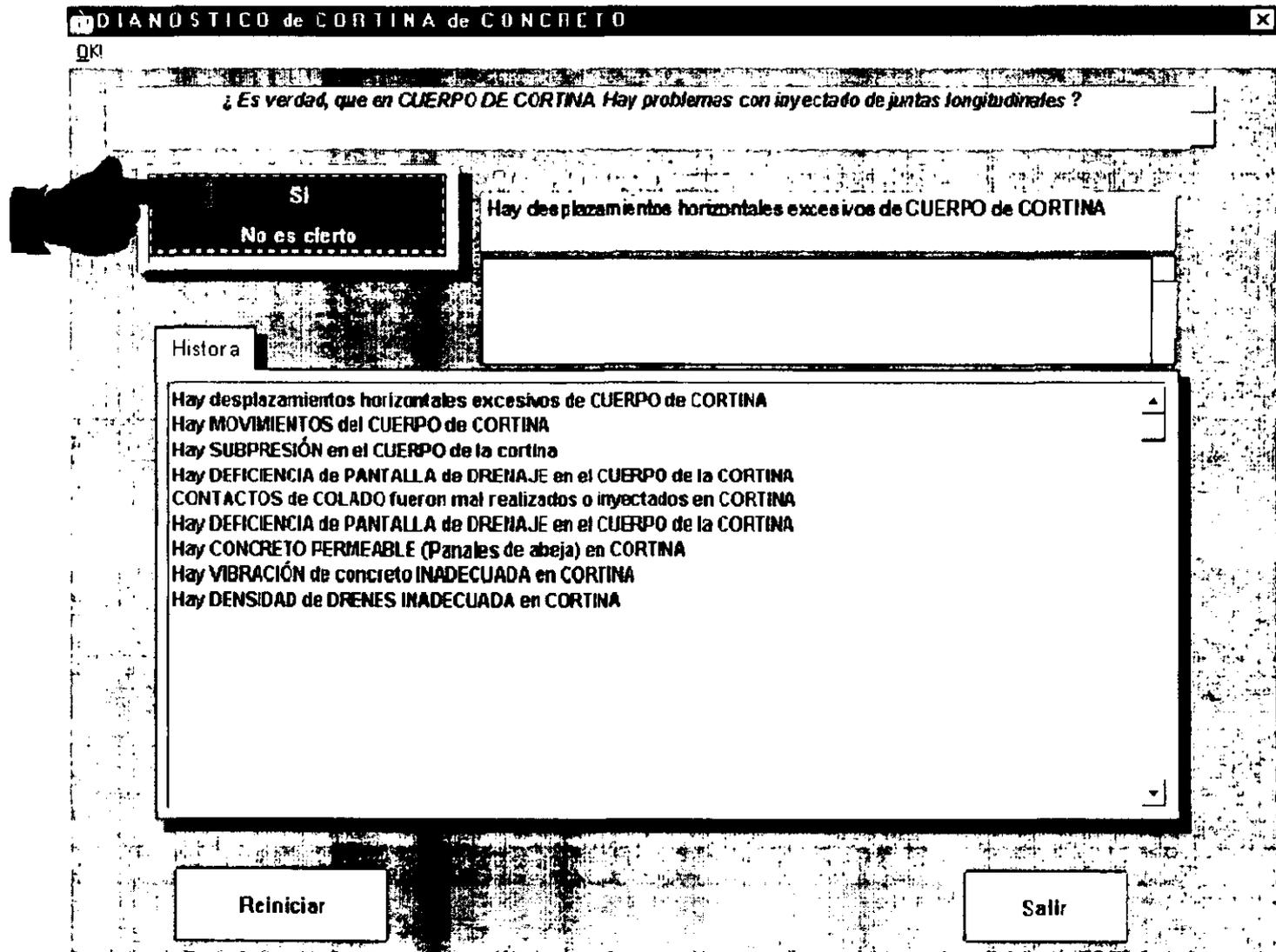


Figura 7-28. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Novena pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

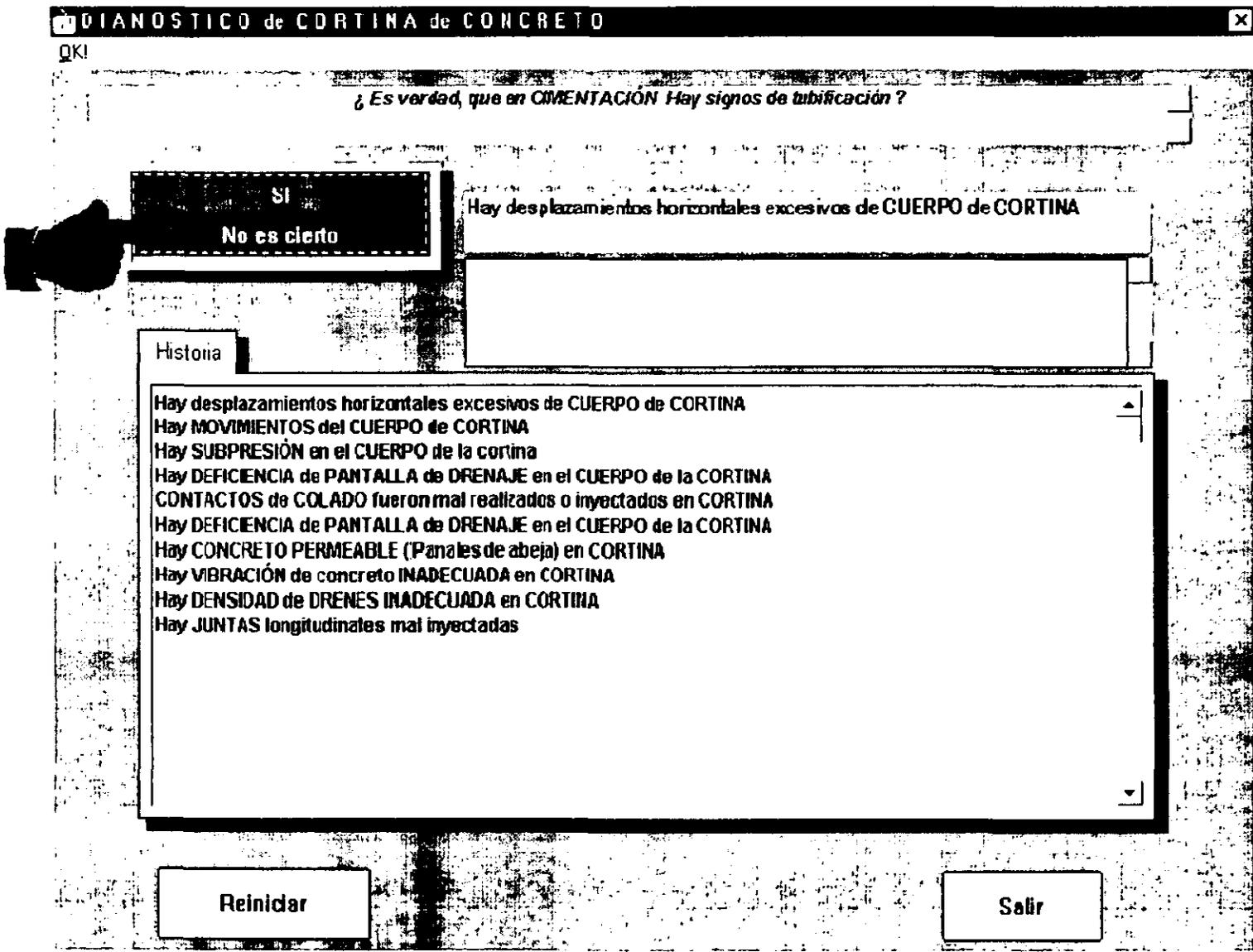


Figura 7-29. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Décima pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

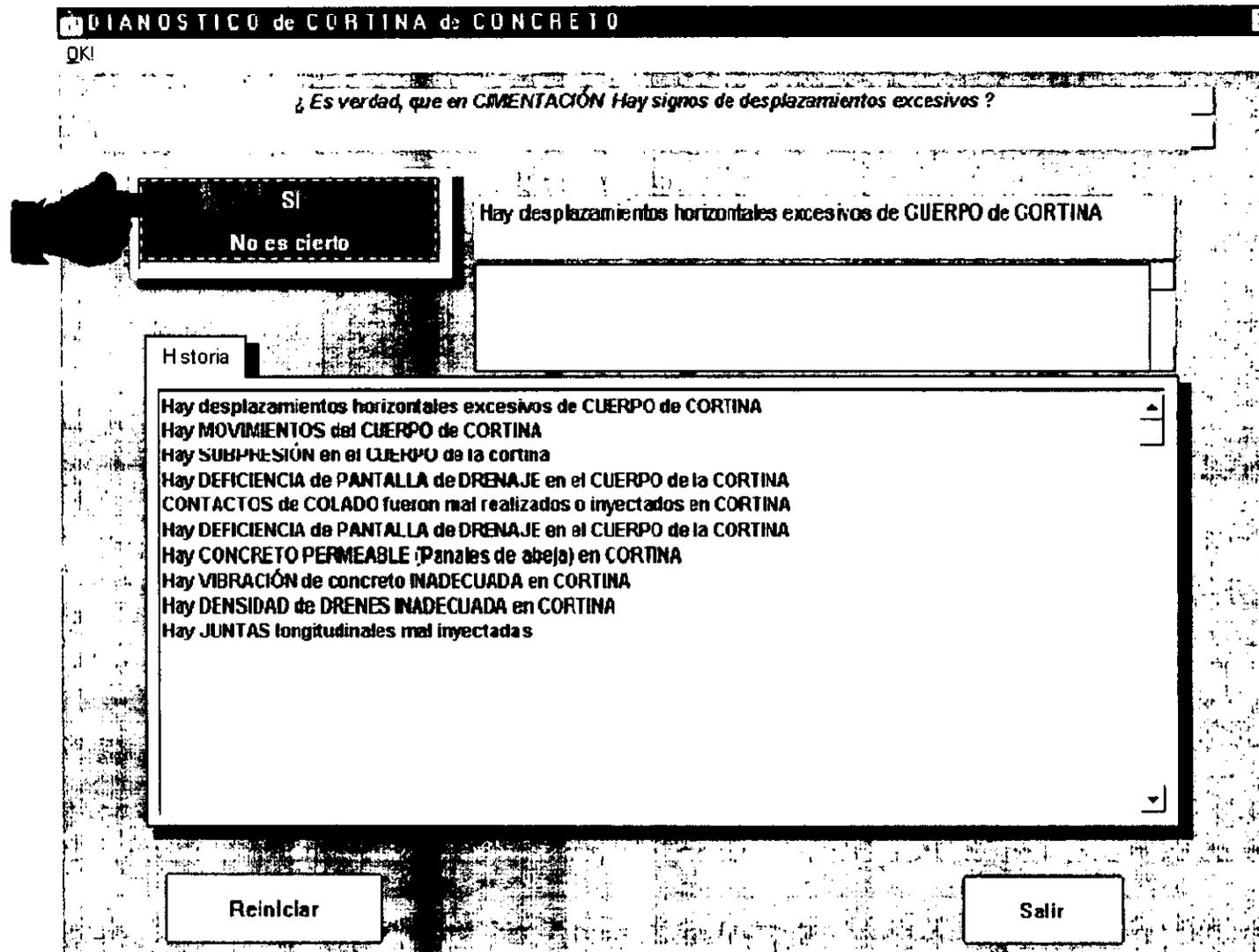


Figura 7-30. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Onceava pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

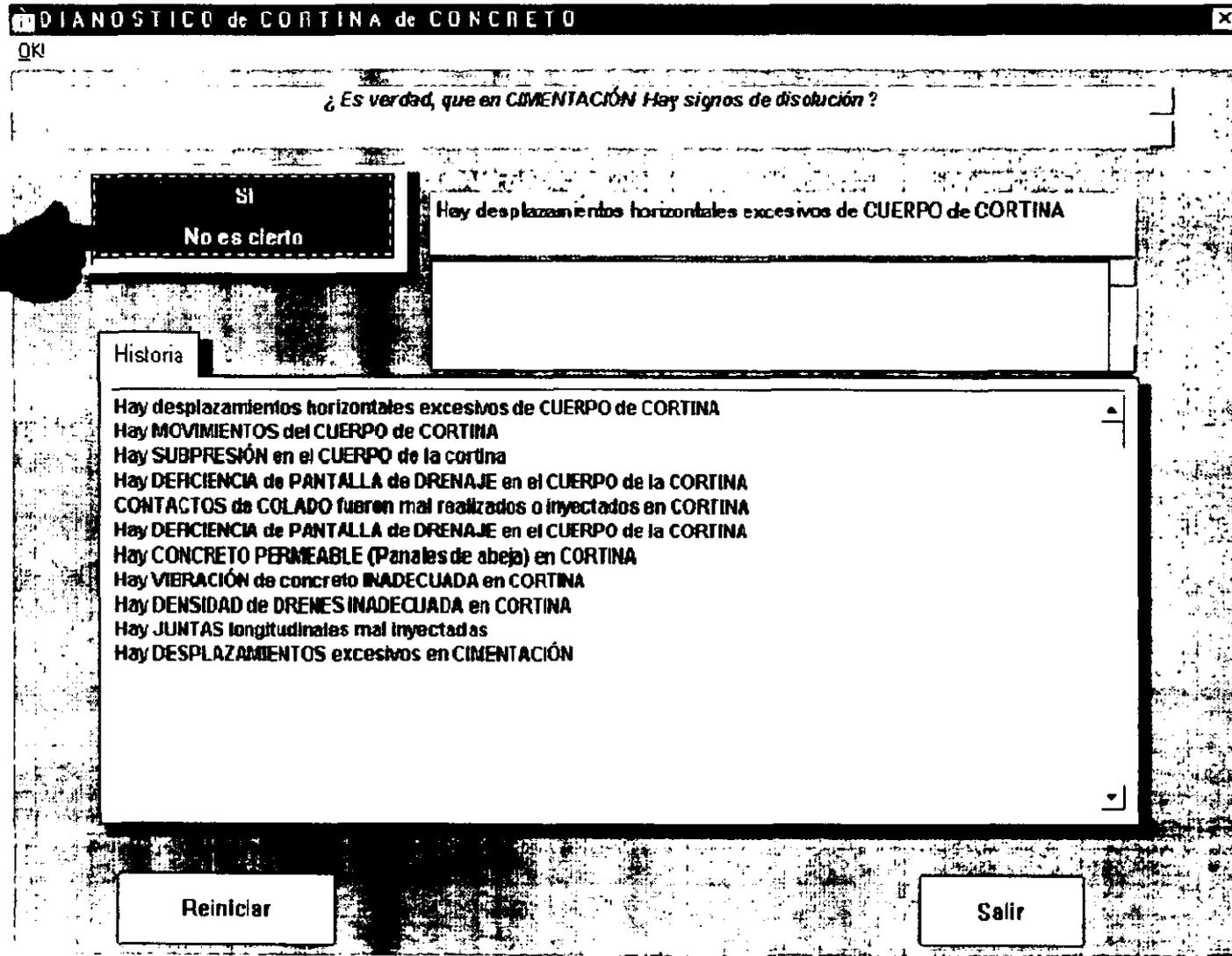


Figura 7-31. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales". Doceava pregunta.

 - respuesta del ingeniero.

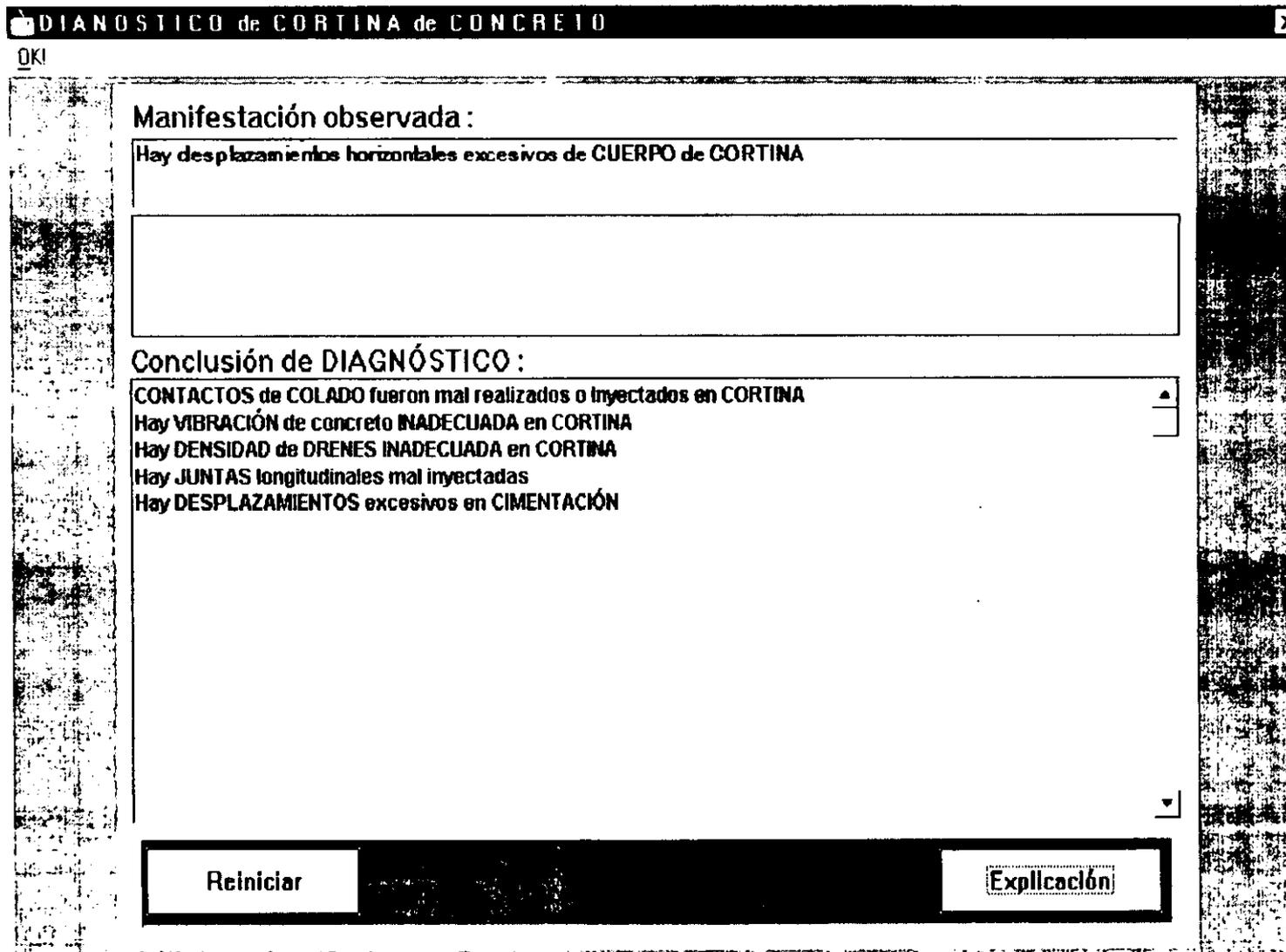


Figura 7-32. Presa Huites. Diagnóstico. Manifestación observada: "Desplazamientos horizontales".

Conclusión de diagnóstico.

7.2.1.3. Conclusiones de los ejemplos de diagnóstico.

Los ejemplos presentados muestran que el programa analiza lógicamente y mediante un diálogo con el usuario, las posibles causas de las manifestaciones observadas. El programa, en su estado actual, sin acceso a los bancos de datos de diseño, construcción, monitoreo y conocimientos, actúa esencialmente como un recordatorio y una guía de las ligas existentes entre deficiencias y problemas mediante un diálogo con el Ingeniero.

7.2.2. Pronóstico

7.2.2.1. Ejemplo de pronóstico: presa La Boquilla, Chihuahua.

Este ejemplo de pronóstico de posibles consecuencias de las deficiencias observadas se basa en la referencia 4 relativa a la presa La Boquilla, Chihuahua.

En resumen se observó en septiembre de 1996, (durante una visita de inspección al sitio de esta presa de concreto) gravedad por:

- una grieta casi horizontal, que puede asociarse con un contacto de colado mal realizado en el parámetro de aguas arriba de la presa y pequeñas filtraciones, a diferentes elevaciones del parámetro de aguas abajo de la presa,
- un deslizamiento en el apoyo derecho, aguas abajo de la presa,
- disolución del concreto y precipitación de carbonato de calcio en la galería inclinada de acceso de la cortina. Además el concreto mostró conformación de panal de abeja.

En las Figuras 7-33 a 7-40 se presentan los diversos escenarios posibles de consecuencias de las deficiencias observadas. Cabe subrayar que de acuerdo con estos escenarios será, por ejemplo, necesario cuidar la construcción de los drenes, en caso de que se instalen para reducir las subpresiones, a fin de evitar su taponamiento por disolución del concreto.

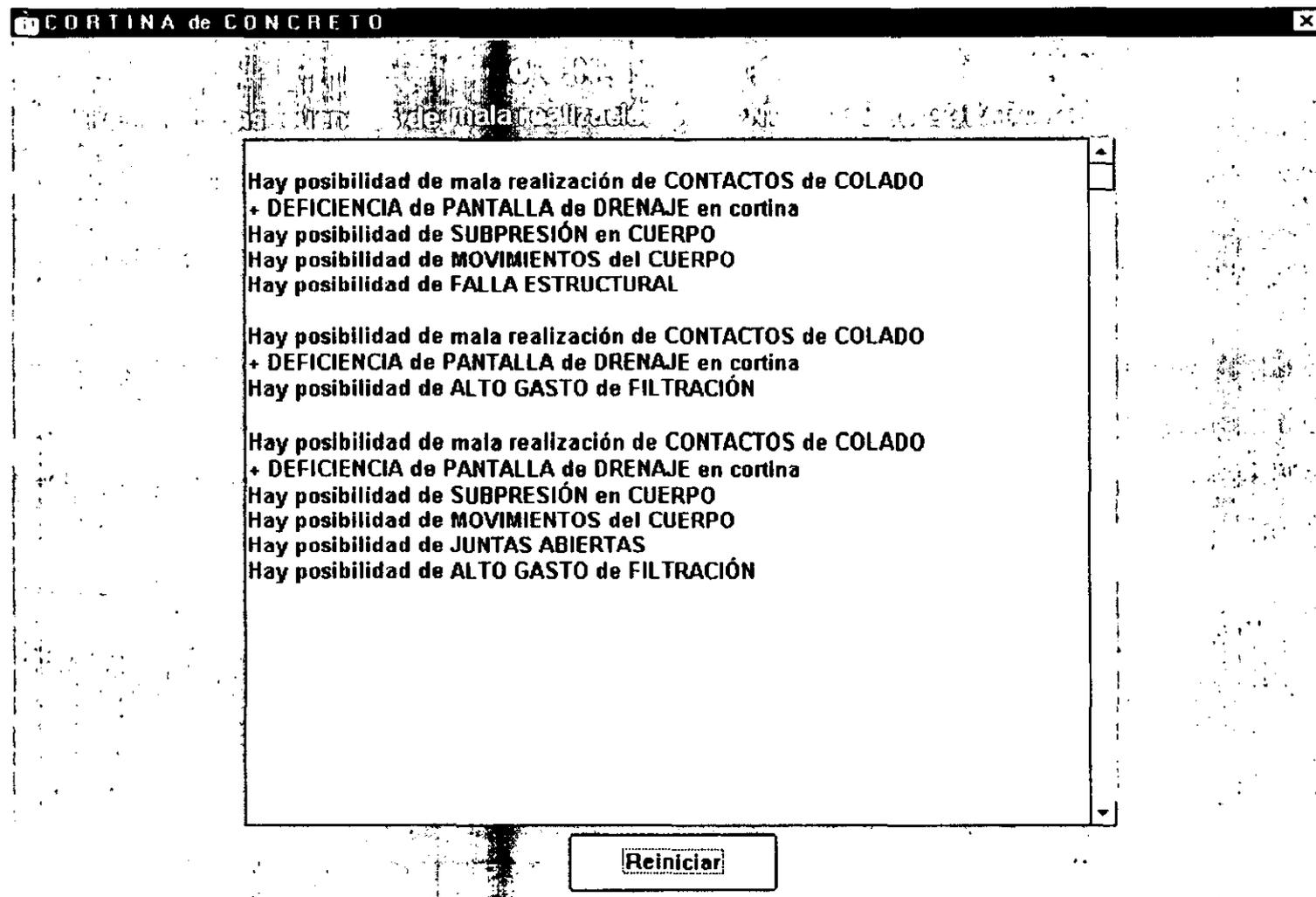


Figura 7-34. Pronóstico de deficiencias potenciales ocasionadas por la primera manifestación observada. Presa La Boquilla.

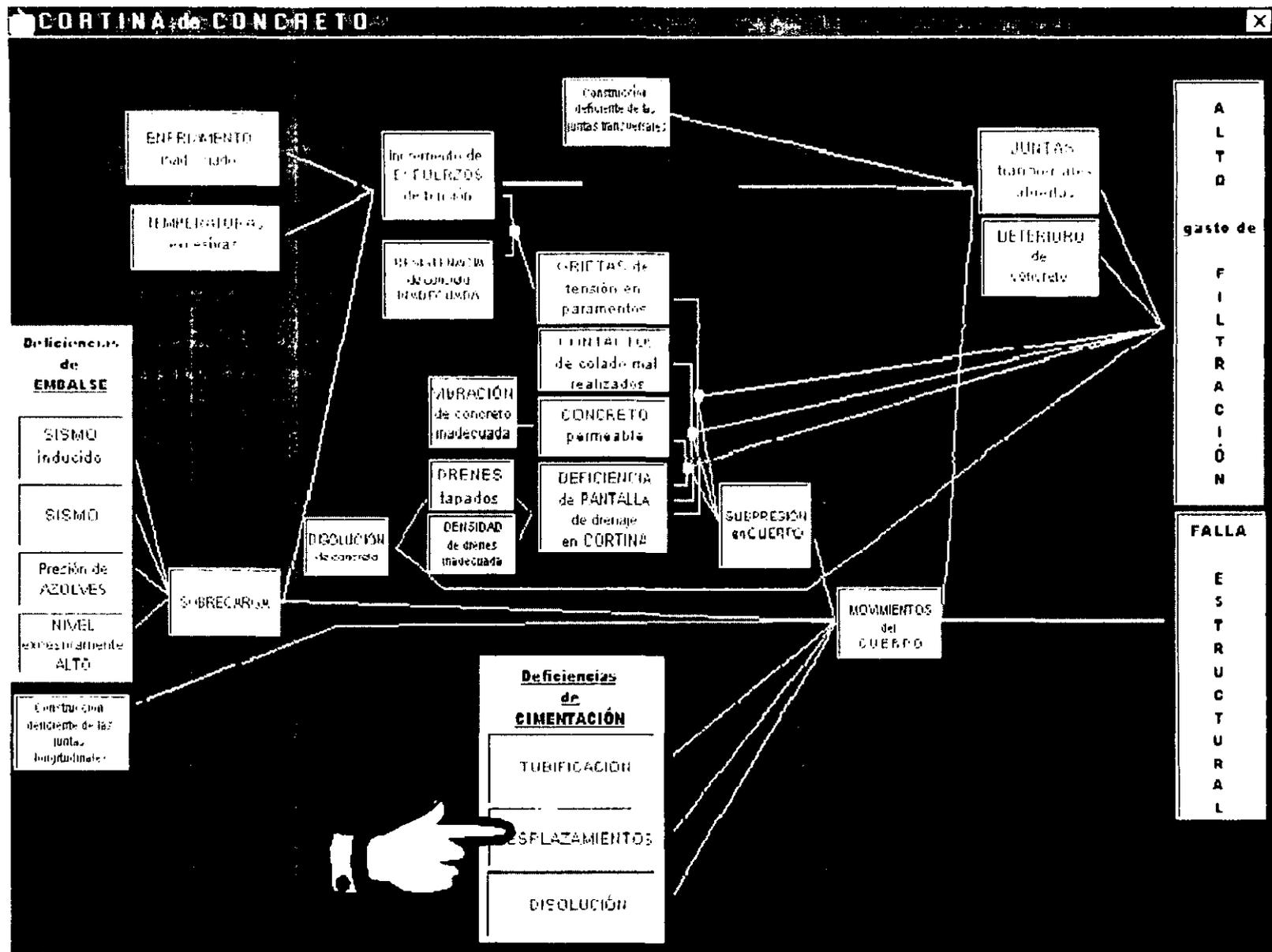


Figura 7-35. Segunda manifestación observada. Presa La Boquilla.

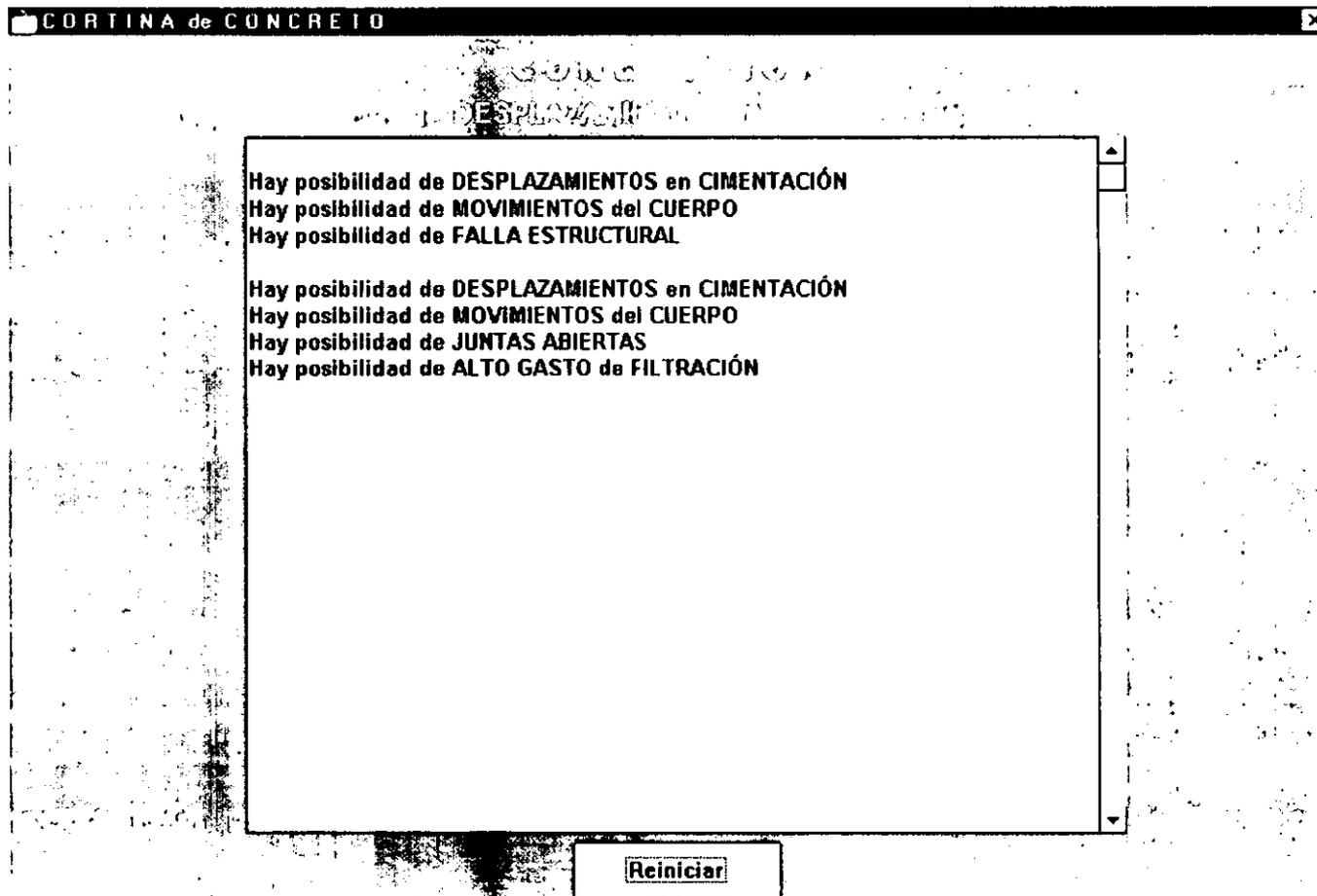


Figura 7-36. Pronóstico de deficiencias potenciales ocasionadas por la segunda manifestación observada. Presa La Boquilla.

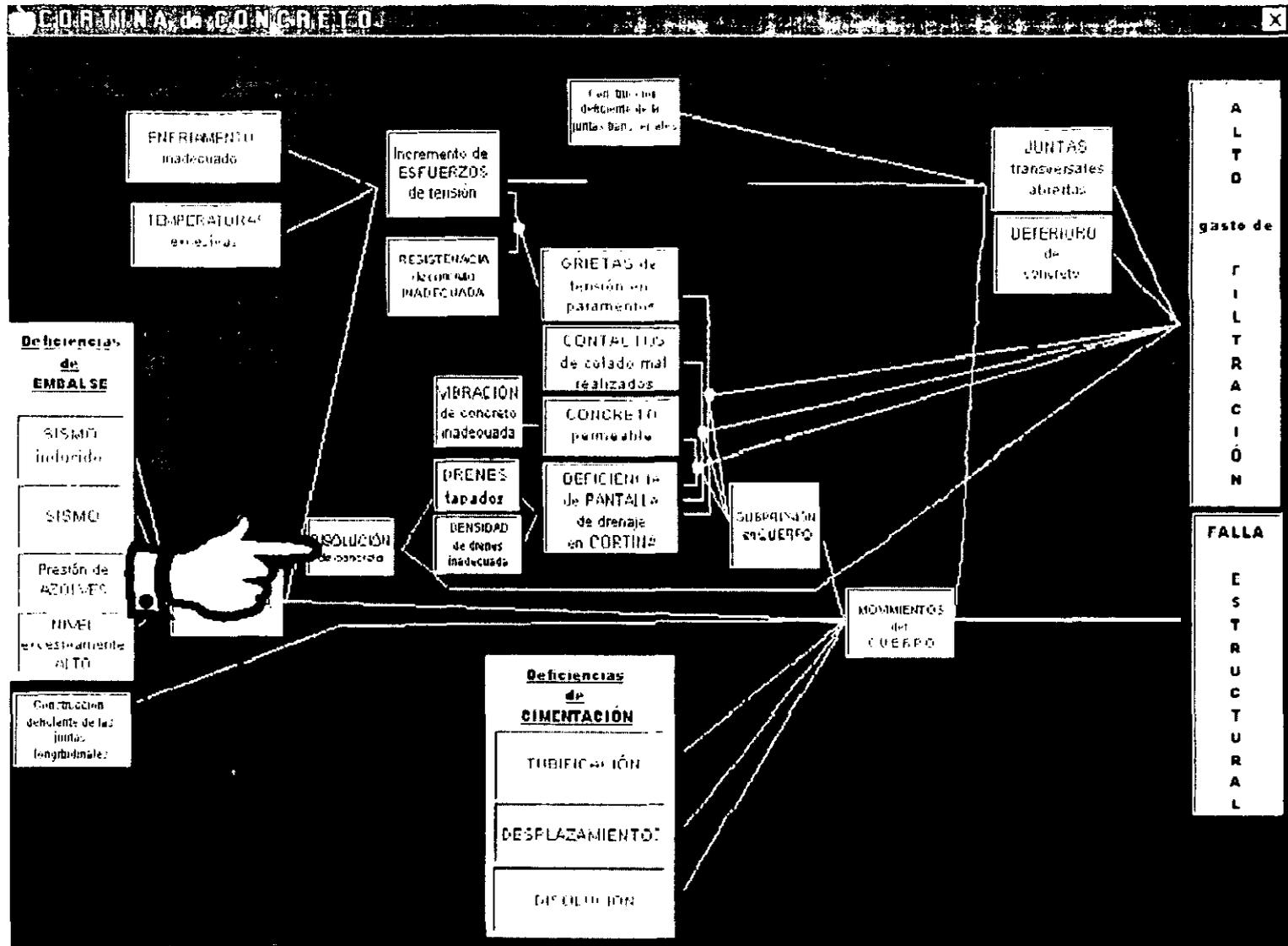


Figura 7-37. Tercera manifestación observada. Presa La Boquilla.

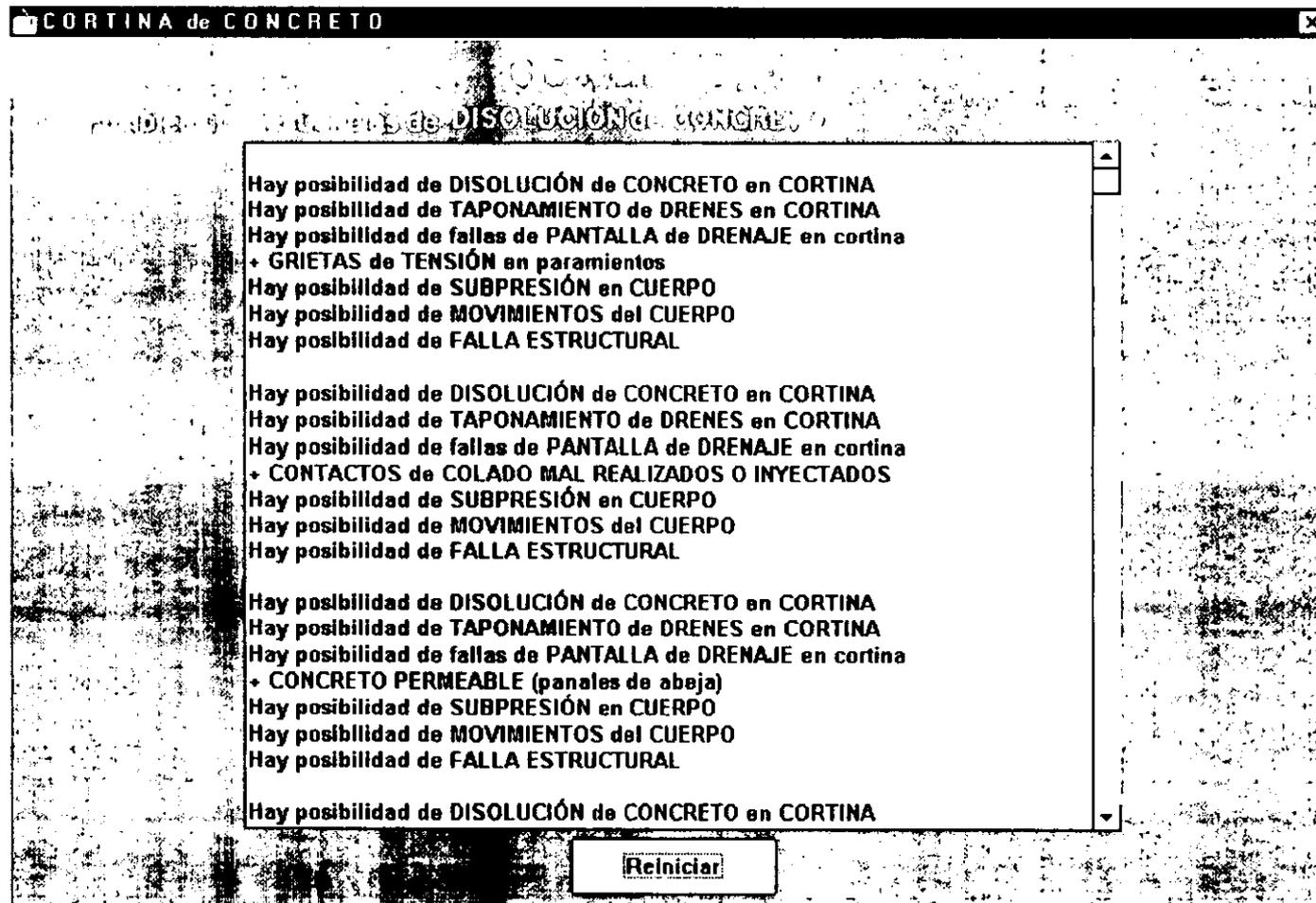


Figura 7-38. Pronóstico de deficiencias potenciales ocasionadas por la tercera manifestación observada. Presa La Boquilla.

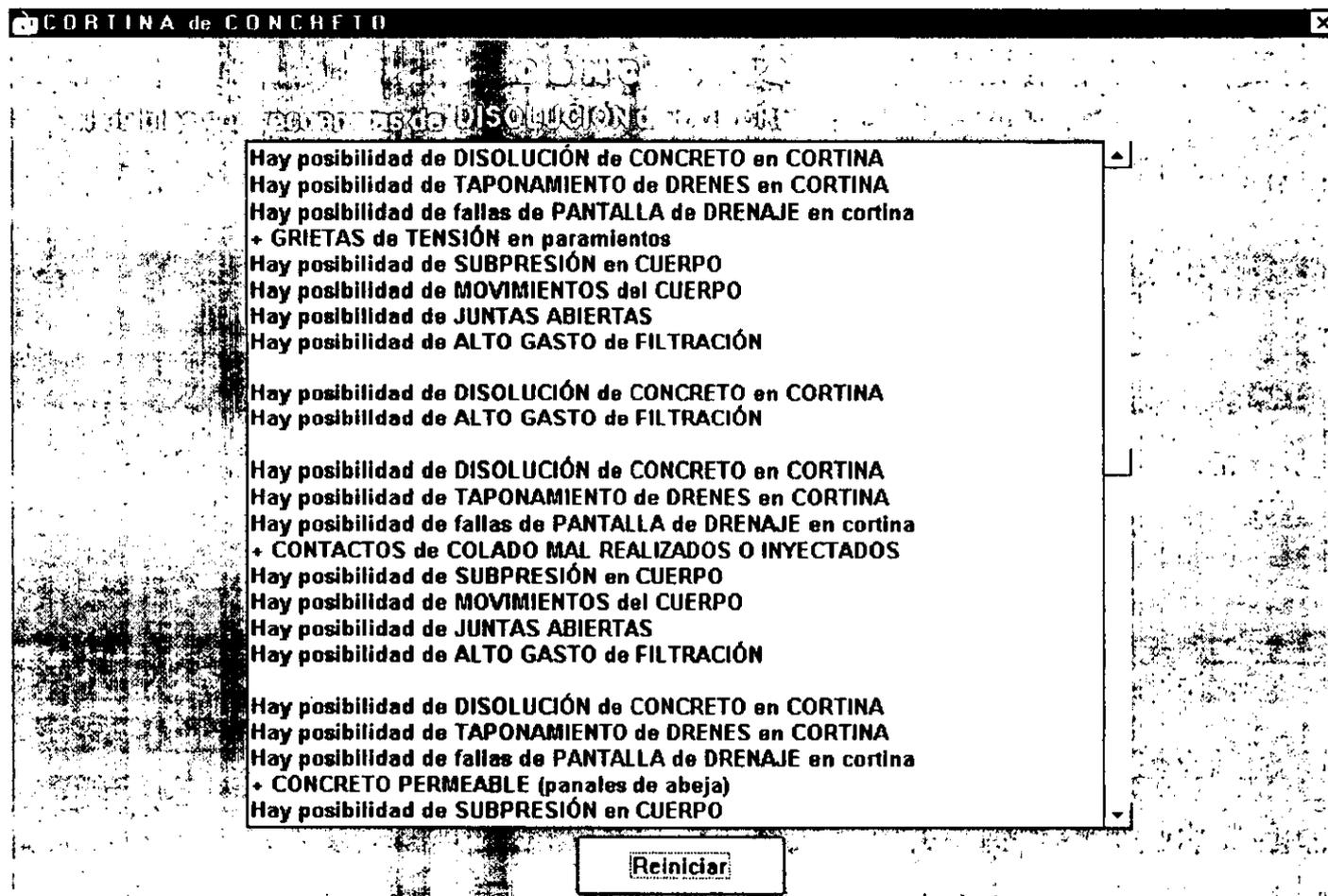


Figura 7-39. Pronóstico de deficiencias potenciales ocasionadas por la tercera manifestación observada. Presa La Boquilla.
(Continuación).

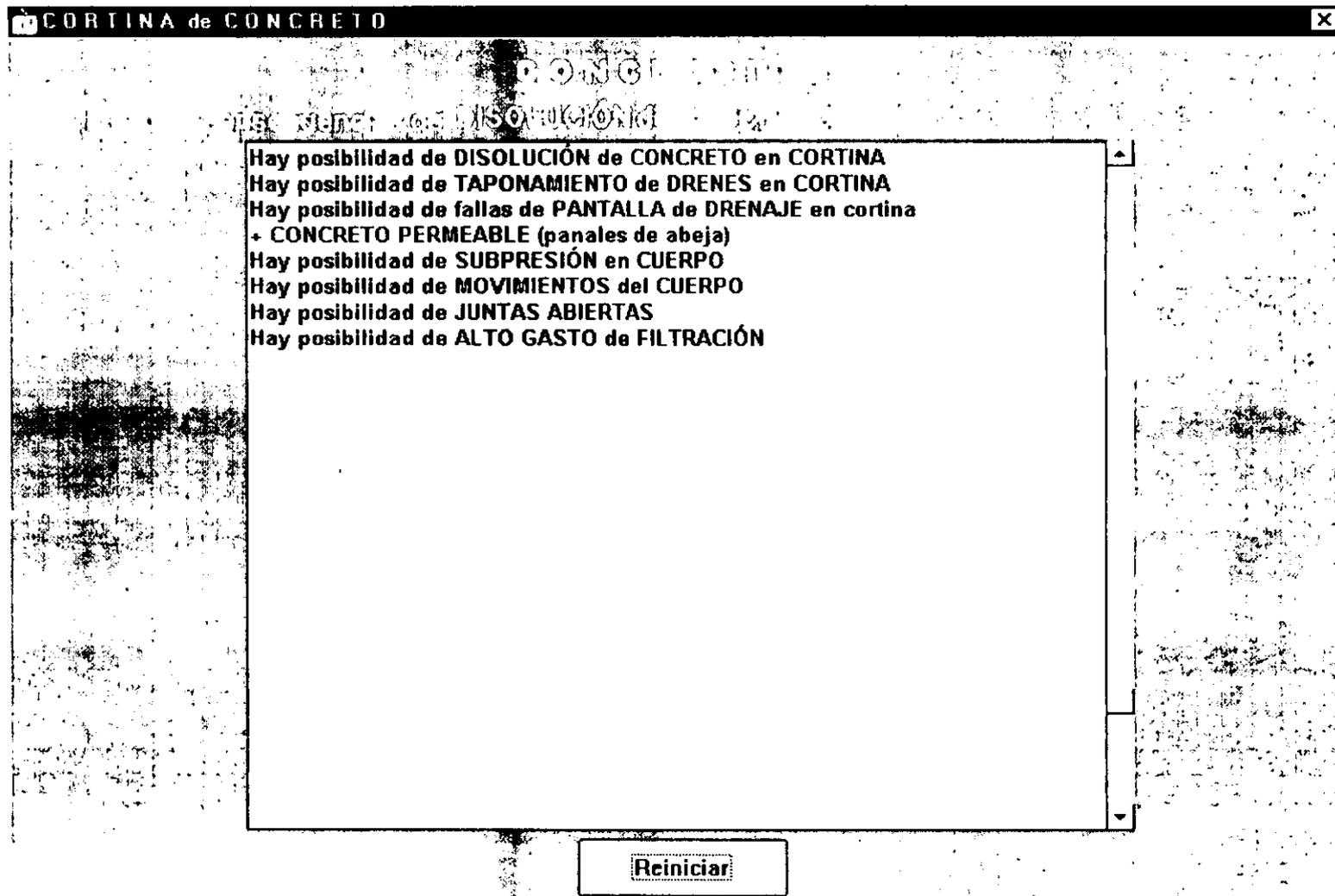


Figura 7-40. Pronóstico de deficiencias potenciales ocasionadas por la tercera manifestación observada. Presa La Boquilla.
(Continuación).

8. CONCLUSIONES

La seguridad de las obras hidráulicas de México (más de 4000 presas de las cuales 800 son grandes) es de fundamental importancia para evitar situaciones de riesgo para la población, la infraestructura y las industrias.

Con objeto de ayudar en la toma de decisiones para el mantenimiento de tales obras, se elaboró, en este proyecto, un Sistema Experto de diagnóstico y pronóstico de la seguridad de obras hidráulicas (SEDP). Es esencialmente una herramienta lógica que establece relaciones entre las manifestaciones de deficiencias observadas, sus causas y sus posibles consecuencias sobre el comportamiento a futuro de la obra hidráulica.

Partiendo de las manifestaciones de deficiencias observadas en cualquiera de los componentes de la obra hidráulica (CIMENTACIÓN, EMBALSE, VERTEDOR Y CORTINA), el sistema inicia en los árboles de causas y/o consecuencias la búsqueda de las posibles causas de malfuncionamiento (Figuras 7 a 12). Se establece un diálogo usuario-sistema para orientar tal búsqueda. El sistema actúa como guía y recordatorio de los diversos escenarios posibles para explicar la deficiencia observada; tal función de recordatorio puede también usarse como apoyo para la formación de los ingenieros encargados de la seguridad de las presas.

El Sistema Experto se aplicó a tres casos: los diagnósticos de las causas de malfuncionamiento observado en las presas El Batán y Huites (Luis Donald Colosio) y el pronóstico de las posibles consecuencias negativas de las deficiencias presentes en la presa La Boquilla. En estos ejemplos se aprecia la forma que toma el diálogo del usuario con el sistema, las causas primarias de los desperfectos observados y sus posibles consecuencias.

El núcleo del sistema, aquí presentado, tiene acceso a los bancos de diseño, construcción, monitoreo y conocimientos. Sistematizando el acceso a estos bancos de datos, el diálogo usuario-sistema se tornará más fluido y objetivo.

Fue desarrollado el Sistema de Diagnóstico y Pronóstico de mal funcionamiento de obras hidráulicas en México integrado con otro sistema desarrollando el sistema de soporte informático, totalmente flexible y dinámico para contar con información actualizada y adecuadamente procesada sobre el diseño, construcción y el comportamiento de éstas.

El sistema se implementó bajo la arquitectura cliente servidor y funciona en una red de computadoras, favoreciendo así en un momento dado la toma de decisiones rápidas para análisis o prevención de las posibles fallas en cada una de las obras.

El Sistema Experto desarrollado es un sistema basado en conocimientos que emulan el pensamiento de los expertos humanos para resolver problemas significativos en el campo especificado y de conocimiento especializado. La principal ventaja que proporciona no es tomar decisiones mejor que un experto humano, sino apoyar y mejorar la calidad de las decisiones tomadas por el personal involucrado.

El SEDP puede ayudar a analizar los datos e interpretar su significado, su objetivo será apoyar al experto en formulación y justificación de hipótesis acerca de las posibles causas de los problemas técnicos e interpretar los datos.

Entre las otras metas cumplidas en el desarrollo de este proyecto se tiene también la generación del sistema de soporte de los bancos de datos que contienen la información (incluyendo todos aquellos planos o figuras que correspondan al tema) de las obras hidráulicas en sus diferentes etapas, diseño construcción y operación, así como información correspondiente a la instrumentación de cada obra, de manera que se podrá realizar cualquier consulta en forma ordenada y precisa, además contará con módulos de captura, actualización y reportabilidad. Esto permitirá realizar fácilmente cualquier consulta de la "historia clínica" de la obra hidráulica.

El subsistema de razonamiento puede explicar de forma detallada como se extraen las conclusiones a partir de los datos proporcionados, de esta manera el usuario del sistema puede aprobarlas o descartarlas. El subsistema será útil también para aprendizaje y capacitación.

Cabe mencionar que se logró cumplir uno de los objetivos principales: el desarrollo de un sistema bastante portátil, flexible y de bajo costo (tecnología "off-the-shell"). Su flexibilidad garantizará el desarrollo futuro del sistema. Aparte, la idea de utilizar en los circuitos el elemento humano permitirá abarcar un dominio bastante amplio y dará más libertad en la utilización del sistema.

Los organismos que manejan gran cantidad de información sobre las obras hidráulicas pueden utilizar esta herramienta de soporte de seguridad estructural de obras hidráulicas para su beneficio debido a que:

- Se puede almacenar y manejar la información relacionada con el diagnóstico y predicción del mal funcionamiento de obras hidráulicas en forma organizada y estructurada.
- Los usuarios pueden manejar los datos pensando en términos familiares para ellos sin saber cómo y donde la información está almacenada. En la navegación de datos se recurrirá a esta según el modelo de dominio, pero no según el modelo de datos. Esto significa que el usuario no debe tener experiencia en el manejo de datos.
- Personas con experiencia (expertos), pueden tener un sistema de guía o recordatorio de las opciones o aspectos que ellos conocían pero que se les olvidó considerar.
- Finalmente, los expertos obtendrán ayuda para la toma de decisiones en términos de tiempo y esfuerzos físicos realmente cortos.

Los posibles usuarios del sistema desarrollado serán:

- Un cliente inexperto que busca un consejo directo. En tal caso el SEDP actúa como un consejero o consultor.
- Un estudiante que quiere aprender. En tal caso el SEDP actúa como instructor.
- Un constructor de SEDP se quiere mejorar o incrementar la base de conocimientos. En esta situación el SEDP actúa como socio.
- Un experto. En cuyo caso el SEDP actúa como colega.

Por ejemplo, el SEDP puede proporcionar una "segunda opinión", así el experto puede validar su juicio. Un experto puede usar el sistema como un asistente para llevar a cabo análisis rutinarios o cálculos, o para buscar una información clasificada. Las capacidades del SEDP fueron desarrollados para ahorrar tiempo y esfuerzo. A diferencia de

los sistemas de cómputo tradicionales, el SEDP proporciona respuestas directas a preguntas y no únicamente información y soporte.

Así fue cumplido el objetivo de la investigación esto es el desarrollo y la implementación de un sistema de inteligencia artificial que permita la acumulación, el análisis y el flujo de información relacionadas con los problemas técnicos de funcionamiento normal de las obras hidráulicas, con el fin de poder determinar las causas y consecuencias de un funcionamiento anormal y tener la ayuda indispensable para la seguridad estructural y funcional de las obras hidráulicas.

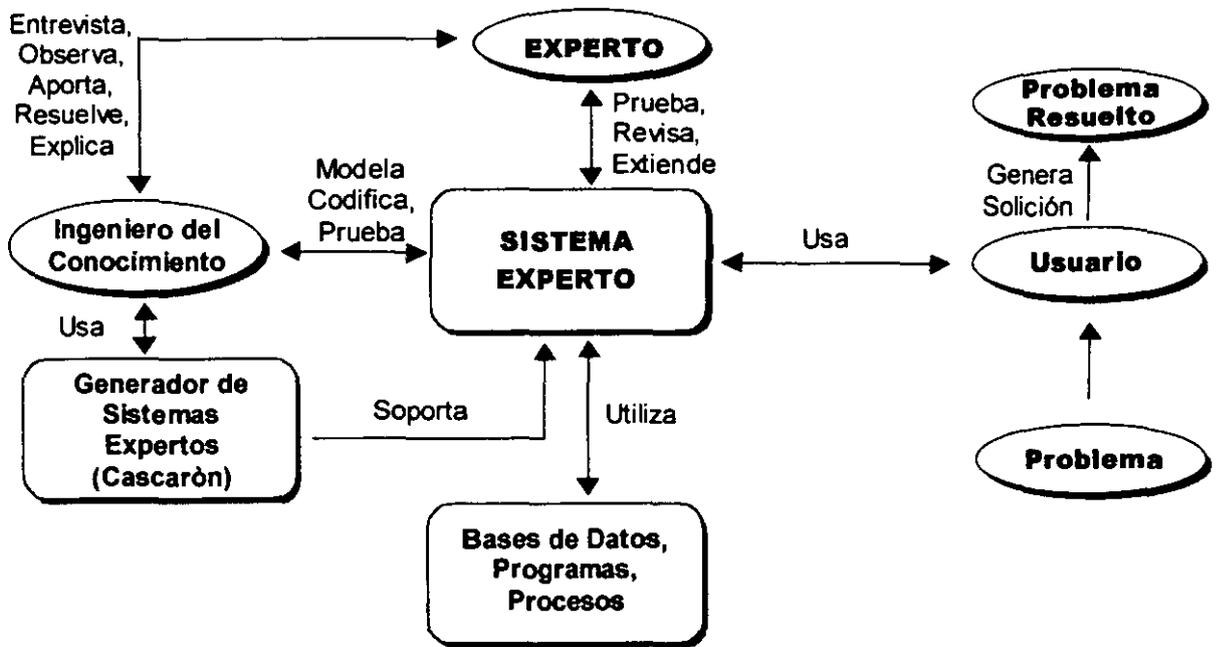


Figura 8-1. Esquema de funcionamiento del sistema desarrollado

El esquema de funcionamiento del sistema desarrollado se observa en la Figura 7-1.

En efecto, este sistema, absorbiendo los conocimientos y experiencia de especialistas y expertos de diversas disciplinas del área, ayudará a detectar las posibles fallas, conocer las causas que las originaron y ayudar al personal a emitir las decisiones más adecuadas para mantener y conservar en buen estado una obra hidráulica.

En este sistema se realizó la combinación de teorías científicas y técnicas analíticas y métodos experimentales con el conocimiento de varios expertos en un algoritmo computarizado y hacerlo disponible cuando se necesita a través de la red de cómputo.

Se creó un paquete de computación, construido en forma modular, y que utiliza bases de comportamiento de obras hidráulicas, conocimientos y criterios y un sistema de interfase con el usuario sencilla y fácil de usar.

Basándose en datos y síntomas proporcionados por inspecciones, reportes, análisis del comportamiento iniciados por el usuario o grupo de usuarios, el Sistema Experto podrá ayudar a descubrir un mal funcionamiento de la obra hidráulica seleccionada y ofrecer a los especialistas una lista de causas posibles. Cada paso de inferencia irá acompañado por un diálogo con el usuario y la recolección de los datos necesarios. En cualquier momento el subsistema de razonamiento puede "explicar" al usuario las razones de su inferencia.

El sistema también maneja la simulación de las consecuencias y la predicción de los posibles "reflejos" de las causas. Basándose en los resultados del diálogo con el sistema, el(los) especialista(s) podrá(n) tomar decisiones para las acciones correctivas o preventivas necesarias para el mejoramiento de la seguridad de la obra hidráulica.

Los ejemplos presentados muestran que el programa analiza lógicamente y mediante un diálogo con el usuario, las posibles causas de las manifestaciones observadas. El programa en su estado actual, con acceso a los bancos de datos de diseño, construcción, monitoreo y conocimientos, actúa esencialmente como un recordatorio y una guía de las ligas existentes entre deficiencias y problemas mediante un diálogo con el usuario.

En condiciones reales, debido a la gran diversidad de fenómenos y variables que intervienen en el comportamiento de una obra hidráulica, a la complejidad de los problemas abordados, rutinas y teorías propios del campo muy específicos, y además, en condiciones de escasez de expertos para cubrir un territorio amplio, se propone este sistema como una manera de mejorar la disponibilidad de conocimientos y de optimar la toma de decisiones en el área de seguridad de obras hidráulicas.

9. BENEFICIOS

El sistema desarrollado representa un algoritmo computarizado que emula la experiencia y los conocimientos de los especialistas para la resolución de los problemas significativos en el dominio.

De acuerdo con esta formulación, el SEDP, donde se plasman los conocimientos y experiencia de expertos y especialistas del dominio, permite contar con un sistema computarizado de inteligencia artificial que ayude a detectar las posibles fallas o averías, conocer las causas que las provocaron, predecir el comportamiento de la obra hidráulica y ayudar a un especialista a emitir la recomendación más adecuada que ayude al personal encargado para tomar la mejor decisión a fin de mantener un nivel adecuado de seguridad de la obra hidráulica.

La aplicación de Inteligencia Artificial para los problemas de Diagnóstico y Predicción de mal funcionamiento de obras hidráulicas puede proporcionar beneficios importantes a los usuarios. Algunos beneficios potenciales son discutidos a continuación:

- Incrementar el rendimiento y la productividad.
- Usando métodos propuestos se puede trabajar más rápido. Incrementar el rendimiento significa necesitar menos trabajadores y reducir costos.
- Incrementar la calidad.
- Se puede incrementar la calidad proporcionando un apoyo en la toma de decisiones consistente y reduciendo la tasa de error.
- Reducción de tiempos.
- Usando métodos propuestos es posible reducir tiempos significativamente.
- Captura de experiencia escasa.
- La escasez de experiencia viene a ser evidente en situaciones donde no existan muchos expertos para una determinada tarea; el experto al estar a punto de retirarse o dejar el trabajo o al experto que se requiera y tenga que ser usado en un territorio extenso.
- Flexibilidad. Se puede ofrecer flexibilidad en el campo.
- Accesibilidad al conocimiento y ayuda a nivel de escritorio. Se hace el conocimiento y la información más accesible. La gente puede preguntar a los sistemas y recibir consejos. Es un soporte técnico indispensable.

- **Confiabilidad.** Los métodos propuestos son confiables. Ellos no se aburren o se cansan, no se enferman o hacen huelgas. Consistentemente ponen atención a todos los detalles y no pasan por alto información relevante ni soluciones potenciales.
- **Incrementar las capacidades de otros equipos computarizados.** La integración de métodos propuestos con otros sistemas hace a estos más efectivos y los hace proporcionar resultados de más alta calidad.
- **Integración de las opiniones de varios expertos.** En ciertos casos, de métodos propuestos nos forzan a integrar las opiniones de varios expertos y esto podría incrementar la calidad de las conclusiones o consejos.
- **Habilidad para trabajar con información incompleta o desconocida.** A diferencia de los sistemas de cómputo convencionales, los métodos propuestos pueden, como los expertos humanos, trabajar con información incompleta. El usuario puede responder con un "no sé" o un "no estoy seguro de la respuesta" en una o más preguntas (por supuesto, no todas) que el sistema haga durante una consulta y el SEDP deberá ser capaz de proporcionar una conclusión aunque con cierto grado de incertidumbre. El SEDP puede trabajar con probabilidades.
- **Mejoramiento de la solución de problemas.** El mejoramiento del proceso de solución de un problema es posible en el sistema propuesto, ya que incluye los elementos de juicio de las personas más expertas dentro del análisis.
- **Transferencia del conocimiento a lugares remotos.** Unos de los grandes potenciales de los métodos propuestos es que son fáciles de transferir el conocimiento obtenido por expertos humanos.

10. PROBLEMAS Y LIMITACIONES

Se enumeran a continuación algunos factores y problemas que han descubierto durante la investigación:

- El conocimiento no está siempre disponible fácilmente.
- Los conocimientos especializados son difícil de extraer de los expertos humanos.
- El método de solución de cada experto a un problema podría ser diferente aunque no por eso deje de ser correcta.
- Es difícil, aún para los más entrenados expertos, abstraer la solución de los problemas cuando ellos se encuentran bajo la presión del tiempo.
- Muchos expertos no tienen medios independientes de verificar si sus conclusiones son razonables.
- Para el desarrollo posterior se necesitará la ayuda de ingenieros del conocimiento quienes son escasos y sus servicios son bastante caros.
- La falta de confianza de los usuarios finales en el paquete desarrollado es una barrera significativa
- Hay riesgo de, que los procesos desarrollados podrían no ser capaces de llegar a conclusiones, especialmente en las etapas de prototipo del sistema.

Estas limitaciones claramente comprueban que los SE de hoy no tienen un comportamiento humano generalmente llamado inteligente. Muchas de estas limitaciones disminuirán o desaparecerán con los mejoramientos tecnológicos a medida que avance el tiempo.

11. SUGERENCIAS DE AMPLIACIÓN

El sistema SEDP desarrollado permite realizar el proceso de predicción de mal funcionamiento de obras hidráulicas solo en términos de posibles escenarios y consecuencias de ciertas manifestaciones. Para el futuro desarrollo será útil ampliar los procesos de inferencia y añadir incertidumbres en ellos.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Modelo relacional de datos sobre la presa

A.1. Etapa DISEÑO

RALES	NOMBRE OFICIAL DE LA PLANTA		
	NOMBRE COMÚN DE LA PLANTA		
	FECHA DE INICIO DE CONSTRUCCIÓN		
	FECHA DE TERMINACION		
	FECHA DE ENTRADA EN SERVICIO		
	ESTADO		
	MUNICIPIO		
	REGION HIDROLÓGICA		
	SUBREGION HIDROLÓGICA		
	LOCALIZACIÓN		
	LATITUD		
	LONGITUD		
	CUENCA		
	RÍO		
	REGION administrativa		
	DUENO DE LA OBRA		
	PLAN DE CONSTRUCCIÓN	1. Plan presidencial Benito Juárez (PPBJ) Riego de Desarrollo 2. Unidad de Riego de Desarrollo Rural (URDERALES) 3. Fideicomiso de Riego Compartido (FRISCO)	
	DISEÑADOR		
	CONSTRUCTOR		
	ORGANISMO RESPONSABLE		
	COMENTARIOS GENERALES		
	VIAS DE COMUNICACIÓN	a) Desvío de ferrocarril b) Desvío de centrales telefónicas c) Otros	
	VÍA DE ACCESO	a) Aérea b) Brecha c) Carretera d) Fluvial e) Por la corona	
	PROPÓSITO	Control de avenidas	Superficie protegida
		Riego	Superficie del proyecto Superficie actualmente regada Gasto máximo
		Generación eléctrica	Capacidad de la planta Generación de la energía Potencia instalada Gasto máximo
		Agua potable	Volumen Gasto máximo
		Informes y documentos	
POTENCIAL DE DAÑOS		Poblaciones bajo riesgo	Nombre Habitantes Distancia
GEOTÉCNIA	Actividad económica aguas abajo		
	Propiedades índice, mecánicas e hidráulicas de los materiales de bancos de préstamo Sismología		
GEOLOGÍA REGIONAL	Tipos de exploraciones		
	Discontinuidades o fallas tectónicas		
HIDROGEOLOGÍA	Litología		
	Niveles freáticos en la zona		
HIDROLOGÍA	Gasto de diseño		
	Gasto máximo de diseño		
	Período de retorno de diseño		
	Volumen de avenida de diseño		

GENERALES	INSTRUMENTACIÓN	Tipo	Cantidad
			Descripción
			Localización
			Observaciones
		Medidores de niveles	
		Medidores de gastos	
		Red de nivelación	
		Red de colimación	
		Red de triangulación	
		Acelerógrafos	
		Celdas de presión	
		Piezómetros	
		Inclinómetros	
		Medidores de juntas	
		Péndulos	
Extensómetros			
Termómetros			
Deformómetros			
Niveles hidráulicos			
FIGURAS Y DOCUMENTOS	Informes y Documentos	General	
		Tipo	
		Nombre	
		localización	
		Organismo que envió	
		Dirección	
		Teléfono	
		Fecha	
		Asunto	
		Número	
		Elaborado por	
		Revisado por	
		Remitente	
	Firmado por		
	Autor		
	Editorial		
	Lugar de publicación		
	Fecha de publicación		
	Número de paginas		
	Figuras	Número	
Tipo			
Nombre			
Descripción			
Ruta archivo			
	Nombre archivo		

GRUPO	a) CORTINAS PRINCIPALES b) DIQUIES	
NOMBRE		
NÚMERO		
TIPO	a) TIERRA Y ENROCAMIENTO b) ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO c) CONCRETO	
REALIZACIÓN ESTRUCTURAL	TIERRA Y ENROCAMIENTO	1) Homogenea 2) De núcleo cental 3) De núcleo inclinado 4) Con diafragma
	ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO	
	CONCRETO	1) De gravedad 2) De arco 3) De contrafuertes 4) De CCR
GEOTÉCNIA Y MATERIALES ESTRUCTURALES	MATERIALES CONSTRUCTIVOS DE CADA ELEMENTO ESTRUCTURAL Y SUS PROPIEDADES: INDICE, MÉCANICAS, HIDRÁULICAS Y GRANULOMÉTRICAS	NÚCLEO
		FILTRO
		TRANSICIÓN
		ENROCAMIENTO
		RIP-RAP
		DIAFRAGMA
		JUNTAS TRANSVERSALES
		JUNTAS LONGITUDINALES
		JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN
CUERPO DE CONCRETO		
GEOTÉCNIA Y MATERIALES DE CIMENTACIÓN	Propiedades indice, mecanicas, hidráulicas y granulométricas	
	Presencia de material colapsible (tipo C)	
	Presencia de material soluble (tipo D)	
	Presencia de material expansivo (tipo E)	
	Presencia de material licuable (tipo L)	
GEOLOGÍA DEL SITIO	Presencia de material tubificable (tipo T)	
	Estratigrafía	
	Litología	
	Tipo de exploraciones	
	Tectonismo	
	Sistema de fracturamiento	
Deslizamientos antiguos		

CIMENTACIÓN	Topografía del cañón	
	Análisis de esfuerzos y deformaciones de la cimentación	
	Permeabilidad del sitio	
	Tipo y geometría de la pantalla de impermeabilización	
	Tipo y geometría de la pantalla de drenaje	
	Disposición de galerías de inyección y de drenaje	
	Diseño de drenes	
	Excavaciones	
	Inyección de consolidación	
	Compactación	
	Inundación previa	
	Sobrecarga previa	
	Análisis de estabilidad	
	Medidas de estabilización	
	Acarreos	
GEOMETRÍA Y DISEÑO ESTRUCTURAL	Corona	Ancho
		Longitud
		Elevación
	Cuerpo	Ancho de la base
		Geometría
		Bernas
	Núcleo	Taludes
		Posición
		Ancho de la base
	Volumen del cuerpo	
	Altura sobre el cauce	
	Talud aguas arriba	
	Talud aguas abajo	
	Bordo libre	(El. de la corona)- NAME
	Diseño de juntas transversales	
	Diseño de juntas longitudinales	
	Diseño de la junta perimetral	
	Análisis de esfuerzos	
	Análisis de la estabilidad con vaciado rápido a corto plazo	
	Análisis de la estabilidad con vaciado rápido a largo plazo	
Red de flujo en el cuerpo de la cortina y en su cimentación		
Subpresión del diseño		
Pantalla de drenaje		

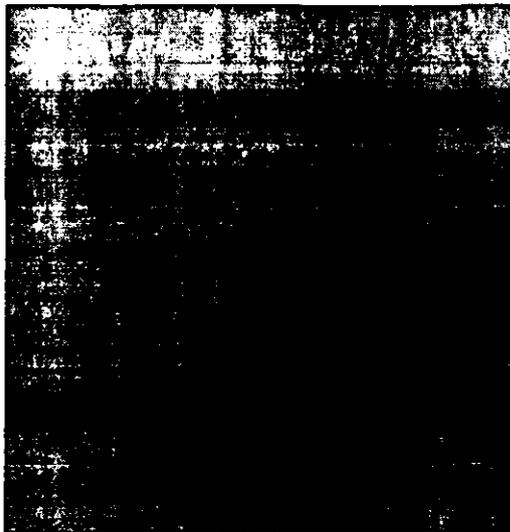
NOMBRE		
GENERALES	ESTABILIDAD	
	ALMACENAMIENTO MAXIMO DE DISEÑO	6
	DISEÑO DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN	
	PERMEABILIDAD	
	TRATAMIENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN	
	EXTRACCIÓN DE AGUA O PETROLEO	
	NAMO	Volúmen
		Valor
	NAME	Volúmen
		Valor
	NAMINO	Volúmen
		Valor
	Piezotría y cierre hidráulico	
	VOLUMEN DE AZOLVES PREVISTO	
	GEO TÉCNIA	AREA
CAPACIDAD TOTAL		
CAPACIDAD ÚTIL		
Karst		
Presencia de material colapsible (tipo C)		
GEOLOGÍA DEL VASO		Presencia de material soluble (tipo D)
	Presencia de material expansivo (tipo E)	
	Presencia de material licuable (tipo L)	
	Presencia de material tubificable (tipo T)	

Nombre		
Número		
TIPO	<ul style="list-style-type: none"> a) Obras de desvío del río b) Cierre del embalse c) Caminos y túneles de acceso d) Obras de mantenimiento y reparación e) Líneas de transmisión f) Subestación g) Casa de máquinas 	
GEOTÉCNIA	Propiedades mecánicas e hidráulicas de materiales de cimentación	
	Resistencia al cortante de fracturas (de pico y residual)	
	Presencia de material colapsible (tipo C)	
	Presencia de material soluble (tipo D)	
	Presencia de material expansivo (tipo E)	
	Presencia de material licuable (tipo L)	
GEOLOGÍA DEL SITIO	Presencia de material tubificable (tipo T)	
	Estratigrafía	
	Litología	
	Geofísica	
	Tectonismo	
	Sistema de fracturamiento	
CIMENTACIÓN	Deslizamientos antiguos	
	Topografía del cañón	
	Análisis de esfuerzos y deformaciones	
	Tipo y geometría de la pantalla de impermeabilización	
	Tipo y geometría de la pantalla de drenaje	
	Disposición de galerías de inyección y de drenaje	
	Diseño de drenes	
	Excavaciones	
	Inyección de consolidación	
	Inyección de compactación	
	Inundación previa	
	Sobrecarga previa	
GEOMETRÍA Y DISEÑO ESTRUCTURAL	Análisis de estabilidad	
	Medidas de estabilización	
	General	
	Diseño	

GRUPO	- VERTEDOR			
	- OTRA			
NÚMERO				
NOMBRE				
TIPO	a) Libre b) Controlado			
PROPÓSITO				
CAPACIDAD				
GEOTÉCNIA	Prop. mecánicas e hidráulicas de materiales de cim.			
	Resistencia al cortante de fracturas (de pico y residual)			
	Presencia de material soluble (tipo D)			
	Presencia de material expansivo (tipo E)			
	Presencia de material tubificable (tipo T)			
GEOLOGÍA DEL SITIO	Estratigrafía			
	Litología			
	Exploraciones			
	Tectonismo			
	Sistemas de fracturamiento			
	Deslizamientos antiguos			
Geología general				
Topografía del sitio				
CIMENTACIÓN	Tipo y geometría de la pantalla de impermeabilización			
	Tipo y geometría de la pantalla de drenaje			
	Disposición de galerías de inyección y de drenaje			
	Diseño de drenes			
	Excavaciones			
	Inyección de consolidación			
	Análisis de estabilidad			
	Medidas de estabilización			
GEOMETRÍA Y DISEÑO ESTRUCTURAL	General			
	Configuración	a) Abanico b) Recto c) Canal d) Embudo e) Túnel		
	Dimensiones			
	Elevación umbral			
	Elevación de cresta			
	Longitud de cresta			
	Cimacio			
	Canal de descarga			
	Canal lateral			
	Canal de llamada			
	Descarga máxima			
	Puente de maniobras			
	Descarga al río			
	Delantal			
	Rejilla			
	Compuertas	Cantidad		
		Geometría		
		Control	a) Manual b) Automático	
		Tipo	a) Radiales b) Pianos c) Otro	
	Disipador	Geometría		
		Tipo	a) Tanque amortiguador b) Otro	

NOMBRE				
Número				
TIPO	a) Túnel-lumbrera b) Torre-galería c) Túnel a presión d) Tubería a presión			
GEOTÉCNIA	Propiedades mecánicas e hidráulicas de materiales de cim.			
	Resistencia al cortante de fracturas (de pico y residual)			
	Presencia de material soluble (tipo D)			
	Presencia de material expansivo (tipo E)			
	Presencia de material tubificable (tipo T)			
GEOLOGÍA DEL SITIO	Estratigrafía			
	Litología			
	Tipo de Exploraciones			
	Tectonismo			
	Sistemas de fracturamiento			
CIMENTACIÓN	Deslizamientos antiguos			
	Topografía longitudinal (a lo largo del conducto)			
	Tipo y geometría de la pantalla de imperme.			
	Tipo y geometría de la pantalla de drenaje			
	Disposición de galerías de inyección y de drenaje			
	Diseño de drenes			
	Excavaciones			
	Inyección de consolidación			
	Análisis de estabilidad			
Medidas de estabilización				
GEOMETRIA Y DISEÑO ESTRUCTURAL	General			
	Capacidad			
	Elevación umbral			
	Torre			
	Estructura de salida			
	Estructura de entrada			
	Lumbrera			
	Sala de operación			
	Compuertas	Número		
		Altura		
		Ancho		
		Diseño	a) Planas b) Radiales c) Otras	
		Tipo	a) Auxiliar	
	Rejillas			
	Galerías			
	Válvulas	Número		
		Diseño	a) Agujas b) Chorro divergente	
		Tipo	a) Operación b) presión	
	Conducto	Tipo	a) Canal b) Túnel d) Tubería e) Tuberías a presión g) Tapones	

A.2. Etapa CONSTRUCCIÓN

	Pluviometría y temperaturas ambientales	
	Cubicación de materiales	
	Período de construcción	
	Informes y documentos	
	Figuras	

CUERPO	TIERRA Y ENROCAMIENTO	Ensayes en terraplenes de prueba	
		Método de ataque y tratamiento en los bancos de préstamo y almacenamiento	
		Equipo de compactación para los diferentes elementos	
		Contenido de agua de compactación y pesos volumétricos secos	
		Cortes representativos de la superficie libre de la presa para diversas fechas	
		Medidas tomadas para evitar la segregación de los filtros	
		Presiones de poro	
		Límites líquidos y plásticos	
	ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO	Métodos de ataque y tratamiento en los bancos de préstamo y almacenamiento	
		Equipo de compactación para los diferentes elementos	
		Método de construcción de la junta perimetral	
		Método de construcción de las juntas transversales	
		Método de construcción de las juntas longitudinales	
		Refuerzo de la losa	
		Etapas de construcción	
		Contactos de colado	
	CONCRETO	Método de construcción (concreto tradicional o rolado)	
		Método de construcción de las juntas transversales	
		Método de construcción de las juntas longitudinales	
		Método de construcción de la junta perimetral	
		Método de transporte de concreto al bloque de colado (camiones, bandas, grúas o bombas, distancia de transporte, medidas tomadas para evitar la segregación del concreto)	
		Concreto armado (geometría de malla y % de armado)	
		Equipos de vibración utilizados	
		Enfriamiento del concreto (temperaturas registradas)	
		Altura de bloques de colado	
		Características mecánicas del concreto (datos del laboratorio). Localización de lugares de tomas de muestra	
	Aparición de grietas (lugar y causas probables)		
	MAMPOSTERÍA	Método de construcción	
		Característica del mortero utilizado	
		Característica de la piedra utilizada	
		Características mecánicas del material (datos del laboratorio). Localización de lugares de tomas de muestra	
		Aparición de grietas (lugar y causas probables)	
	CIMENTACIÓN	Excavaciones superficiales	
Derumbes			
Rellenos de concreto			
Inyecciones de consolidación (profundidad, diámetro de perforación, toma, mezclas, cantidad de cemento usado, presiones en sus diversas etapas)			
Limpia y tratamiento dental			
Trinchera			
Dentellón			
Pantalla de inyecciones			
Tapetes de inyecciones			
Pantalla impermeable flexible			
Pozos de alivio			
Drenes			
Anclas		Tipo Diámetro Número Longitud Capacidad Reticula	

Inestabilidad de laderas	
Medidas de estabilización	
Tratamiento de Impermeabilización	

TIPO	a) CASA DE MÁQUINAS b) OBRA DE DESVÍO DEL RÍO c) OBRAS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN d) OBRAS DE CIERRE DEL EMBALSE e) CAMINOS Y TÚNELES DE ACCESO		
	CONSTRUCCIÓN	CASA DE MÁQUINAS	
OBRA DE DESVÍO DEL RÍO		Canales	Caudal máximo Geometría y materiales Método de construcción
		Ataguías	
Túneles		Diámetro Caudal máximo	
OBRAS DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN			
OBRAS DE CIERRE DEL EMBALSE			
CAMINOS Y TUNELES DE ACCESO			
CIMENTACIÓN	Excavaciones superficiales		
	Derrumbes		
	Rellenos de concreto		
	Inyecciones de consolidación (profundidad, diámetro de perforación, toma, mezclas, cantidad de cemento usado, presiones en sus diversas etapas)		
	Limpia y tratamiento dental		
	Trinchera		
	Dentellón		
	Pantalla de inyecciones		
	Tapetes de inyecciones		
	Pantalla impermeable flexible		
	Pozos de alivio		
	Drenes		
	Anclas	Tipo	
		Diámetro	
		Número	
Longitud			
Capacidad			
	Reticula		

TIPO	a) VERTEDOR b) DESAGÜE		
CIMENTACIÓN	Excavaciones superficiales		
	Derrumbes		
	Rellenos de concreto		
	Inyecciones de consolidación (profundidad, diámetro de perforación, toma, mezclas, cantidad de cemento usado, presiones en sus diversas etapas)		
	Limpia y tratamiento dental		
	Trinchera		
	Dentellón		
	Pantalla de inyecciones		
	Tapetes de inyecciones		
	Pantalla impermeable flexible		
	Pozos de alivio		
	Drenes		
	Anclas	Tipo	Diámetro
		Número	Longitud
Capacidad		Reticula	

	CONSTRUCCIÓN	a) Túnel-lumbrera c) Torre-galería d) Túnel apresión e) Tubería a presión	
	CIMENTACIÓN	Excavaciones superficiales Derrumbes Rellenos de concreto Inyecciones de consolidación (profundidad, diámetro de perforación, toma, mezclas, cantidad de cemento usado, presiones en sus diversas etapas) Limpia y tratamiento dental Trincheras Dentellón Pantalla de inyecciones Tapetes de inyecciones Pantalla impermeable flexible Pozos de alivio Drenes	
		Ancias	Tipo Diámetro Número Longitud Capacidad Reticula

A.3. Etapa OPERACIÓN

		TIPO de CORTINA		
		Tierra y Enrocamiento	Enrocamiento con Cara de Concreto	Concreto
CORONA	Rebosamiento	*	*	
	Vegetación	*	*	
	Presencia de madrigueras	*	*	
	Agrietamiento superficial (longitudinal, transversal)	*		*
	Asentamientos	*	*	*
	Inclinación de postes	*	*	*
	Deformación de parapeto	*	*	*
	Sumideros	*		
	Desplazamientos horizontales	*	*	*
	Drenaje superficial inadecuado			
	Erosión por oleaje	*	*	
	Erosión por lluvia	*	*	
	Juntas abiertas o con desplazamiento tangencial			*
	Defectos en juntas			*
	Disolución del concreto			*
	"Panal de abejas"			*
Otro	*	*	*	
TALUD aguas ARRIBA	Vegetación	*	*	
	Deslizamiento	*	*	
	Sumideros	*	*	
	Asentamientos	*	*	
	Agrietamiento superficial (longitudinal, transversal)	*	*	
	Escombros sobre el talud	*	*	
	Presencia de madrigueras	*	*	
	Alteración del rip-rap	*		
	Erosión por oleaje	*		
	Deterioro del concreto		*	
	Defectos en juntas		*	*
	Juntas abiertas o con desplazamiento tangencial		*	*
	Contactos de colado mal realizados		*	*
	"Panal de abejas"			*
Disolución del concreto			*	
Otro	*	*	*	
TALUD aguas ABAJO	Vegetación	*	*	
	Presencia de madrigueras	*	*	
	Deslizamiento	*	*	
	Asentamiento	*	*	
	Desplazamiento horizontal	*	*	
	Agrietamiento superficial (longitudinal, transversal)	*		*
	Escombros sobre el talud	*	*	
	Signos de tubificación	*	*	
	Sumideros	*	*	
	Alteración del enrocamiento superficial	*	*	
	Filtración			
	Pozos de alivio deficientes		*	
	Juntas abiertas o con desplazamiento tangencial			*
	Defectos en juntas			*
	Contactos de colado mal realizado			*
	"Panal de abejas"			*
	Signos de disolución del concreto			*
Dren de pie deficiente	*		*	
Otro	*	*	*	

GALERIAS	Filtración				*
	Agrietamiento superficial				*
	Juntas abiertas o con desplazamiento tangencial				*
	Tubificación				
	Disolución de concreto				
	Drenes tapados				
	Contacto de colado mal realizado				*
	Caidos				*
	Otro				
BASE	Desplazamiento horizontal				*
	Asentamientos				*
	Filtración				*
	Subpresión				*
	Otro				
CIMENTACION	Galerías	Filtración	*	*	*
		Agrietamiento superficial	*	*	*
		Tubificación	*	*	*
		Desplazamientos	*	*	*
		Pérdida de recubrimiento	*	*	*
		Taponamiento de drenes	*	*	*
		Filtración	*	*	*
		Agrietamiento superficial	*	*	*
		Taponamiento de drenes	*	*	*
		Otro			
	Pie de aguas abajo	Filtración	*	*	*
		Tubificación	*	*	*
		Desplazamientos	*	*	*
		Disolución	*	*	*
Otro					
APOYOS aguas ABAJO	Filtración		*	*	*
	Derrumbes		*	*	*
	Extracción de roca, agua y petróleo		*	*	*
	Taponamiento de drenes		*	*	*
	Inestabilidad		*	*	*
	Disolución		*	*	*
	Tubificación		*	*	*
	Otro				

Inestabilidad de laderas	
Derrumbes cerca de cortina	
Sismo	
Sumideros	
Erosión de laderas	
Nivel alto	
Olas	
Vórtices	
Cuerpos flotantes	
Azolves	
Vaciado rápido	
Fugas de agua y vórtices en el embalse	
Agrietamiento del fondo del embalse	
Otro	

Pilas	Agrietamiento superficial	
	Pérdidas de recubrimiento	
	Deterioro del concreto del revestimiento	
	Inestabilidad	
	Erosión	
	Otro	
Compuertas	Fugas de agua alrededor de la compuerta cerrada	
	Signos de cavitación o herrumbre	
	Otros daños	
Equipos electromecánicos	Deficiencia de equipo electromecánico	
Deflector	Pérdida de recubrimiento	
	Escombros	
	Deterioro del concreto	
	Cavitación	
	Otro	
Canales de llamada y de desfogue	Agrietamiento superficial	
	Pérdidas de recubrimiento	
	Inestabilidad de muros o revestimiento	
	Inestabilidad de taludes naturales	
	Arboles, arbustos o escombros en el canal	
	Daños en juntas	
	Caidos	
	Cavitación	
	Erosión	
	Otro	
Cimacio	Pérdida de recubrimiento	
	Daños en juntas	
	Deterioro del concreto	
	Cavitación	
	Otro	
Cauce aguas abajo	Erosión	
	Otro	
CIMENTACION	Galerías	Filtración
		Agrietamiento superficial
		Tubificación
		Desplazamientos
		Pérdida de recubrimiento
		Taponamiento de drenes
		Filtración
		Agrietamiento superficial
		Taponamiento de drenes
	Otro	
	Pie de aguas abajo	Filtración
		Tubificación
		Desplazamientos
		Disolución
		Otro
Apoyos aguas abajo	Filtración	
	Derrumbes	
	Extracción de roca, agua y petróleo	
	Taponamiento de drenes	
	Inestabilidad	
	Disolución	
	Tubificación	

CIMENTACIÓN	Galerías	Filtración
		Agrietamiento superficial
		Tubificación
		Desplazamientos
		Pérdida de recubrimiento
		Taponamiento de drenes
		Filtración
		Agrietamiento superficial
		Taponamiento de drenes
	Otro	
	Pie de aguas abajo	Filtración
		Tubificación
		Desplazamientos
		Disolución
Otro		
Apoyos aguas abajo	Filtración	
	Derrumbes	
	Extracción de roca, agua y petróleo	
	Taponamiento de drenes	
	Inestabilidad	
	Disolución	
	Tubificación	
	Otro	

Geotécnia	Sismología
Hidrología	Normas de operación hidráulica
	Volumen de avenida máxima registrada
	Gasto máximo de avenida registrada
	Promedio de precipitación registrada
	Máximo de precipitación registrada
	Otro

Datos del nivel del embalse
Datos del nivel del agua aguas abajo
Localización y descripción de instrumentos de medición
Datos topográficos: mojoneras
Datos de inclinómetros
Datos de piezómetros
Datos de niveles hidráulicos
Datos de extensómetros
Datos de péndulos
Datos de desplazamiento en juntas
Datos de vertedores de aforo
Datos de contenido sólido y tipo de suelo en suspensión en las filtraciones
Análisis químico del agua de filtración
Datos de tensión en anclas
Datos de pluviometría en la zona
Datos de velocidad del viento y oleaje (fecha)
Datos de avenidas (gastos, duración, fecha)
Datos de temperatura ambiental, del agua de filtración y del agua del embalse
Datos de temperatura de masa rocosa
Datos de sismos locales e inducidos
Datos sobre geometría del depósito de azolves
Datos de celdas de presión

Apéndice B

LISTAS DE DEFICIENCIAS (MANIFESTACIONES)

B.1. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIÓN

Galerías

Filtración

CI.8. GASTO de FILTRACIÓN

Agua infiltrada es turbia

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI.7. DISOLUCIÓN de la CIMENTACIÓN

Temperatura de agua infiltrada > del embalse

(cuando agua proviene del embalse)

CI.10 .ENFRIAMIENTO de MASA ROCOSA

E.3. FUGAS de AGUA

Agrietamiento superficial

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI. 1. DESPLAZAMIENTOS de la CIMENTACIÓN

Pérdida del recubrimiento de concreto

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI. 1. DESPLAZAMIENTOS de la CIMENTACIÓN

Galería de drenaje (cota)

Filtración

CI.8. GASTO de FILTRACIÓN

Agua infiltrada es turbia

(cuando hay signos de taponamiento de drenes por material disuelto)

CI.6. Taponamiento de drenes

(cuando hay signos de tubificación)

CI.9. Drenes con filtros inadecuados

Temperatura de agua infiltrada > del embalse

(cuando agua proviene del embalse)

CI.10 .ENFRIAMIENTO de MASA ROCOSA

E.3. FUGAS de AGUA

Agrietamiento superficial

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI.1 . DESPLAZAMIENTOS de la CIMENTACIÓN

Pérdida del recubrimiento de concreto

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI.1 . DESPLAZAMIENTOS de la CIMENTACIÓN

TAPONAMIENTO de DRENES

CI.6 . Taponamiento de drenes

APOYOS y CAUCE aguas abajo

Filtración

CI.86. GASTO de FILTRACIÓN

Agua infiltrada es turbia

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

CI.7. DISOLUCIÓN de la CIMENTACIÓN

Temperatura de agua infiltrada > del embalse

(cuando agua proviene del embalse)

CI.10 .ENFRIAMIENTO de MASA ROCOSA

E.3. FUGAS de AGUA

DERRUMBES

CI.4 . INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS

CI.3. EROSIÓN del cauce y los apoyos.

B.2. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS DE EMBALSE

1. Laderas

- 1.1. Signos de inestabilidad de taludes dentro del vaso
 - E.6. *VACIADO rápido*
 - E.7. *SISMO*
 - E.8. *INCREMENTO del NIVEL*
 - E.9. *EROSIÓN de los TALUDES del VASO*
- 1.2. Desprendimientos de rocas cerca de la cortina y sus estructuras
 - C1.4. *INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS*
- 1.3. Sismo registrado
 - E.2. *SISMO INDUCIDO*
 - E.7. *SISMO*
- 1.4. Sumideros observados
 - E.3. *FUGAS de AGUA*
- 1.5. Erosión (por la ausencia o remoción de la vegetación)
 - E.9. *EROSIÓN de los TALUDES del VASO*

2. Embalse

- 2.1. Nivel excesivamente alto
 - E.1. *NIVEL excesivamente ALTO*
- 2.2. Olas en embalse
 - E.4. *OLAS en EMBALSE*
- 2.3. Grandes cuerpos flotantes
 - V.7. *ESCOMBROS*
- 2.4. Fugas de agua
 - E.3. *FUGAS de AGUA*
- 2.5. Alto nivel de azolves
 - E.5. *AZOLVAMIENTO excesivo*
- 2.6. Vaciado rápido
 - E.6. *VACIADO rápido*
- 2.7. Incremento de nivel
 - E.8. *INCREMENTO del NIVEL*

B.3. MANIFESTACIONES de DEFICIENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO del VERTEDEDOR

Canal de llamada

- Agrietamiento superficial**
V.8. *ASENTAMIENTOS diferenciales*
- Pérdida de recubrimiento de concreto**
V.3. *DETERIORO de concreto*
- Inestabilidad de muros o revestimientos**
V.9. *TALUDES o MUROS del CANAL o TÚNELES de LLAMADA INESTABLES*
- Inestabilidad de taludes naturales, arriba del canal**
CI.4. *INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS*
- Arboles, arbustos, escombros en el canal**
V.7. *ESCOMBROS*

Pilas

- Agrietamiento superficial**
V.8. *ASENTAMIENTOS diferenciales*
- Perdida de recubrimiento de concreto**
V.3. *DETERIORO de concreto*
V.5. *EROSIONES en las SUPERFICIES de unión con los empaques*
V.7. *ESCOMBROS*

Compuertas

- Signos de cavitación o herrumbre**
V.11. *CAVITACIÓN en COMPUERTAS*
V.5. *EROSIONES en las SUPERFICIES de unión con los empaques*
- Fugas de agua alrededor de la compuerta cerrada**
V.1. *FUGAS de AGUA alrededor de la COMPUERTA cerrada*

Equipos electromecánicos

- Deficiencia de equipo mecánico o eléctrico**
V.10. *Deficiencia de EQUIPO MECÁNICO o ELÉCTRICO*

Canal de desfoque

- Agrietamiento superficial**
V.8. *ASENTAMIENTOS diferenciales*
- Pérdida de recubrimiento de concreto**
V.6. *CAVITACIÓN en el CANAL o TÚNELES de desfoque*
V.3. *DETERIORO de concreto*
V.7. *ESCOMBROS*
- Inestabilidad de muros o revestimientos**
V.2. *TALUDES o MUROS del CANAL o TÚNELES de desfoque INESTABLES*
- Inestabilidad de taludes naturales, arriba del canal**
CI.4. *INESTABILIDAD en CAUCE y los APOYOS*
- Arboles, arbustos, escombros en el canal**
V.7. *ESCOMBROS*
- Daños en las juntas transversales**
V.4. *JUNTAS abiertas*

Deflector

- Pérdida de recubrimiento de concreto**
V.6. *CAVITACIÓN en el CANAL o TÚNELES de desfoque*
V.3. *DETERIORO de concreto*
V.5. *EROSIONES en las SUPERFICIES de unión con los empaques*

CIMENTACIÓN de VERTEDEDOR

- Filtración**
CI.8. *ALTO Gasto de FILTRACIÓN*

B.4. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS DE COMPORTAMIENTO DE CORTINA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO

Talud de aguas arriba

- Vegetación
CT.7. CONDUCTOS por roedores, raices, tuberías, instrumentación
- Deslizamiento
CT.8. INESTABILIDAD de taludes a. arriba
- Sumideros
CT.5. FILTRACIONES EXCESIVAS
- Asentamientos
CT.4. Asentamientos excesivos
- Agrietamiento superficial
Longitudinal
CT. 3. AGRIETAMIENTO longitudinal
Transversal
CT. 6. AGRIETAMIENTO transversal
- Escombros sobre el talud
CT.10. EROSION por OLEAJE TALUD aguas arriba
CI.4. INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS
- Madrigueras
CT.7. CONDUCTOS por roedores, raices, tuberías, instrumentación

Talud de aguas abajo

- Vegetación
CT.7. CONDUCTOS por roedores, raices, tuberías, instrumentación
- Deslizamiento
CT.9. INESTABILIDAD de taludes a.abajo
- Asentamiento
CT.4. ASENTAMIENTOS excesivos
- Desplazamiento horizontal
CT.9. INESTABILIDAD de taludes a. abajo
CI.4. INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS
- Agrietamiento superficial
Longitudinal
CT. 3. AGRIETAMIENTO longitudinal
Transversal
CT. 6. AGRIETAMIENTO transversal
- Escombros sobre el talud
CI.4. INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS
- Filtración
CT.5. FILTRACIONES excesivas
- Dren de pie DEFICIENTE
CT.11. DRENES de capacidad hidráulica INSUFICIENTE
CI. 2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN(material arrastrado es igual a cimentación)
CT.1. TUBIFICACIÓN del corazón(material arrastrado es igual a corazón)
- Sumideros
CT.5. FILTRACIONES EXCESIVAS
CI. 2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN(material arrastrado es igual a cimentación)
CT.1. TUBIFICACIÓN del corazón(material arrastrado es igual a corazón)

Corona

- Vegetación
CT.7. CONDUCTOS por roedores, raices, tuberías, instrumentación
- Agrietamiento superficial
Longitudinal
CT. 3. AGRIETAMIENTO longitudinal
Transversal
CT.6. AGRIETAMIENTO transversal
- Asentamiento de la superficie
CT.4. ASENTAMIENTOS excesivos
- Inclinación de postes
CT. 3. AGRIETAMIENTO longitudinal
CT. 4. ASENTAMIENTOS excesivos
- Deformación de parapeto
CT. 3. AGRIETAMIENTO longitudinal
CT. 4. ASENTAMIENTOS excesivos
CT.6. AGRIETAMIENTO transversal
- Sumideros
CT.1. TUBIFICACIÓN del corazón

B.5. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO

Talud de aguas arriba

Vegetación

ECCC.4. AGRIETAMIENTO de la LOSA de concreto

Deslizamiento

ECCC. 6. INESTABILIDAD de taludes de la cortina

Sumideros

ECCC.2. FILTRACIONES EXCESIVAS

Asentamientos

ECCC.5. Desplazamientos excesivos

Agrietamiento superficial

ECCC.4. AGRIETAMIENTO de la LOSA de concreto

Escombros

CI.4. INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS

Talud de aguas abajo

Deslizamiento

ECCC. 6. INESTABILIDAD de taludes de la cortina

Asentamiento

ECCC.5. Desplazamientos excesivos

Desplazamiento horizontal

ECCC. 6. INESTABILIDAD de taludes de la cortina

CI.4. INESTABILIDAD en CAUCE y APOYOS

Filtración

ECCC.2. FILTRACIONES excesivas

Pozos de alivio o dren de pie DEFICIENTES

CI.5. Capacidad hidráulica de DRENES insuficiente

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

Sumideros

ECCC.2. FILTRACIONES EXCESIVAS

CI.2. TUBIFICACIÓN de la CIMENTACIÓN

Corona

Vegetación

ECCC.4. AGRIETAMIENTO de la LOSA de concreto

Desplazamientos HORIZONTALES

ECCC.5. Desplazamientos excesivos

Asentamiento de la superficie

ECCC.3. Perdida de BORDO LIBRE

Inclinación de postes

ECCC.5. Desplazamientos excesivos

Deformación de parapeto

ECCC.5. Desplazamientos excesivos

B.6. MANIFESTACIONES DE DEFICIENCIAS de CORTINA DE CONCRETO

Cuerpo de cortina

Desplazamientos horizontales excesivos
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Corona

Desplazamientos horizontales excesivos
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Agrietamiento superficial
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

ASENTAMIENTOS excesivos
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Inclinación de postes
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Deformación del parapeto
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Paramento aguas arriba

DISCONTINUIDADES (JUNTAS abiertas, CONTACTOS de COLADO, GRIETAS)
CC.2. JUNTAS abiertas

CC.5. Grietas de tensión en paramentos

CC.6. Contactos de colado mal realizados

Paramento aguas abajo

DISCONTINUIDADES (JUNTAS, CONTACTOS de COLADO, GRIETAS)
CC.2. JUNTAS abiertas

CC.5. Grietas de tensión en paramentos

CC.6. Contactos de colado mal realizados

Filtración

Manchas o zonas húmedas, Focos de filtración
CC.1. Alto GASTO de filtración
Agua infiltrada es turbia
CC.8. Disolución de CONCRETO

Juntas de contracción

Desplazamiento excesivo tangencial
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Galerías

Manchas o zonas húmedas, Focos de filtración
CC.1. Alto GASTO de filtración
Agua infiltrada es turbia
CC.8. Disolución de CONCRETO

Agrietamiento superficial
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Galería de drenaje

Manchas o zonas húmedas, Focos de filtración en las paredes
CC.1. Alto GASTO de filtración
Agua infiltrada es turbia
CC.8. Disolución de CONCRETO
Obturación de drenes
CC.7. Taponamiento de drenes

Agrietamiento superficial
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

SUBPRESIÓN
CC.4. SUBPRESIÓN en la cortina

Base

Desplazamientos horizontales excesivos
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

ASENTAMIENTOS excesivos
CC.3. MOVIMIENTOS del CUERPO

Filtración
CI.7. Alto GASTO de FILTRACIÓN

Subpresión
CI. SUBPRESIÓN en CIMENTACIÓN

Apéndice C

GLOSARIO DE TÉRMINOS RELACIONADOS CON OBRAS HIDRÁULICAS

- Abatimiento.** Disminución del nivel piezométrico; diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico.
- Acabado.** Última operación destinada a dar la apariencia final a una obra.
- Acarreo. (D-CD-Cimentación)** Sedimentos, transportados por el agua.
- Accidente.** Suceso imprevisto que altera la operación de una obra.
- Acelerógrafo. (D-DG-Instrumentación)** Aparato que registra las aceleraciones de movimientos terrestres.
- Actividad económica aguas abajo. (D-DG-PD)** Presencia en el territorio situado aguas abajo de una presa y en la zona de eventual inundación por avería de la presa, de una infraestructura económica: ciudades o poblados, tierras de cultivo, fábricas, carreteras, minas o canteras, campos petroleros, etc.
- Ademe.** Estructura para contener los empujes del terreno en una excavación o perforación.
- Aforo.** Determinación del caudal (o gasto) de la corriente.
- Agrietamiento.** Formación de grietas (fisuras) en la superficie de una estructura.
- Agrietamiento del fondo del embalse. (OP-Embalse)** Formación de grietas en el fondo de un embalse que pueden provocar la fuga del agua.
- Agrietamiento longitudinal.** Formación de grietas (fisuras) paralelas al eje longitudinal de la estructura.
- Agrietamiento transversal.** Formación de grietas (fisuras) transversales al eje longitudinal de la estructura.
- Aguas abajo.** Zona localizada sobre el río y después de la presa según el sentido de la corriente fluvial.
- Aguas arriba.** Zona localizada sobre el río y antes de la presa según el sentido de la corriente fluvial.
- Almacenamiento.** Zona de depósito de materiales.
- Almacenamiento máximo de diseño.** Volumen máximo de agua que puede ser almacenado en el embalse de una presa de acuerdo con su diseño.
- Alteración de rip-rap. (OP-CD-Talud aguas arriba)** Degradación por intemperismo de las piedras en rip-rap.
- Altura de la presa (cortina).** La distancia vertical máxima entre la corona y la base de la misma.
- Altura sobre el cauce. (D-CD-GmDE)** La distancia vertical máxima entre la corona y la cimentación en el cauce del sitio.
- Aluvi6n.** Dep6sito de sedimentos acarreados por corrientes de agua.
- Análisis de esfuerzos. (D-CD-GmDE)** Determinación y análisis de esfuerzos actuantes en el cuerpo de una estructura o en su cimentación por medio de un cálculo apropiado.
- Análisis de la estabilidad. (D-CD-Cimentación) (D-O.AUX-Cimentación) (D-O.EXC-Cimentación) (D-O.T.-Cimentación)** Cálculo del coeficiente o del déficit de estabilidad para evaluar la resistencia al deslizamiento de una masa de roca/suelo o de una estructura.
- Ancla. (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación)** Una varilla metálica o un cable instalados y fijados en un barreno para reforzar un macizo rocoso o una estructura.
- Anticorrosivo.** Sustancia que protege las superficies metálicas contra la corrosión.
- Área hidráulica.** Superficie de la sección transversal de un conducto a través del cual fluye el agua.
- Asentamiento. (OP-CD-Corona) (OP-CD-Taludes aguas arriba) (OP-CD-Base) (OP-CD-Taludes aguas arriba)** Hundimiento de un suelo o una estructura bajo su propio peso y por efecto de las cargas que soporta.
- Ataguía (C-O.AUX-Obras de desvío del río)** Dique provisional establecido en un canal o río para poner en seco la base de la construcción que se ha de reparar, o el emplazamiento sobre el que se va a construir.
- Atraque.** Sinónimo de **Contrafuerte**. Elemento que soporta las fuerzas horizontales o inclinadas de una estructura o un macizo rocoso.
- Avenida.** Creciente de una corriente natural.
- Avería.** Daño que impide el funcionamiento normal de una estructura.

- Azolves. (OP-Embalse)** Sedimentos acarreados en el embalse por la corriente del río.
- Banco de nivel.** Punto con cota definida que sirve como referencia topográfica.
- Bancos de préstamo.** Zonas constituidas por materiales útiles para la construcción.
- Batimetría.** Levantamiento topográfico bajo la superficie del agua.
- Berma.** Escalón horizontal en la superficie de un talud que sirve para disminuir el ángulo de inclinación del talud, organizar un camino de acceso en la superficie del talud o para retener el descenso de piedras o escombros que se despeñan del talud.
- Bombeo.** Operación de elevar el agua o de retirarla de un área por medio de artefactos mecánicos.
- Boquilla.** O también llamada **Sitio.** Lugar escogido para construir la presa.
- Borde libre. (D-CD-GmDE)** Distancia vertical entre el NAME y el nivel de corona de una presa.
- Caída.** Diferencia de nivel entre dos puntos de la rasante del canal. Trayectoria curva del flujo al inicio del tanque amortiguador. Desnivel brusco en un curso de agua.
- Caidos. (OP-Vertedor-Canales de llamada y desfogue) (OP-CD-Galerías)** Sinónimo de **Derrumbes.** Piedras que se despeñan de un talud.
- Cámara de válvulas.** Recinto formado para la instalación de válvulas y sus mecanismos.
- Canal de acceso.** Sinónimo de **Canal de llamada.** Cauce artificial para conducir el agua hasta un vertedor o una obra de toma.
- Canal de llamada. (D-O.EXC-GmDE)** Sinónimo de **Canal de acceso.** Cauce artificial para conducir el agua hasta un vertedor o una obra de toma.
- Canal de descarga. (D-O.EXC-GmDE)** Cauce excavado o en postizo para conducir el agua hasta el punto de descarga.
- Capacidad de conservación.** Volúmen del almacenamiento comprendido entre el lecho del río y el nivel máximo ordinario, incluye volumen de azolves. En vertedores libres corresponde al nivel de la cresta vertedora.
- Capacidad de control.** Volumen del almacenamiento necesario para restringir el gasto de descarga a un valor determinado, cuando el vertedor es controlado.
- Capacidad de la planta. (D-DG-Generación Eléctrica)** La cantidad de la energía eléctrica que puede suministrar una planta hidroeléctrica. Normalmente se mide en kilovatio-horas (*kWh*).
- Capacidad muerta.** Volumen de almacenamiento comprendido entre el nivel del lecho del río y el nivel del umbral de la toma.
- Capacidad total. (D-DG-Generales)** Volumen de almacenamiento comprendido entre los niveles de azolves y máximo extraordinario (NAME).
- Capacidad útil. (D-DG-Generales)** Volumen de almacenamiento comprendido entre el nivel del NAMINO y el NAMO.
- Carcava.** Cavidad en el terreno por efecto de erosión de una corriente de agua.
- Casa de máquinas.** Recinto para la instalación de turbinas, generadores, servomotores y otro equipo para la transformación de la energía del flujo de agua en energía eléctrica.
- Cauce.** Lecho natural de los ríos y arroyos.
- Caudal.** Sinónimo de **Gasto.** Volumen de agua que pasa por segundo por una corriente de agua.
- Caudal máximo.** Gasto máximo registrado del río.
- Cavitación.** Formación de cavidades llenas de vapor o de gas en el seno de un líquido en movimiento, cuando la presión en un punto del líquido resulta inferior a la presión del vapor.
- Celdas de presión. (D-DG-Instrumentación)** Aparatos para medir la variación de presión (esfuerzos de compresión) en el cuerpo de una estructura.
- Cierre del embalse.** Proceso constructivo que permite suspender el paso del agua hacia aguas abajo de la presa e iniciar el llenado del embalse.
- Cierre hidráulico.** Niveles freáticos altos en la zona aledaña al cauce que evitan a futuro las fugas de agua del embalse.
- Cimacio. (D-O.EXC-GmDE)** Estructura vertedora con perfil geométrico correspondiente a la trayectoria inferior de una vena líquida.

- Cimentación.** Masa del terreno afectada por la carga de una estructura.
- Colado.** Colocación del concreto en una forma o un bloque de colado formado por encofrados.
- Colapso.** Falla súbita de los elementos resistentes de una estructura.
- Compactación. (D-DG-Cimentación)** Operación mecánica para aumentar la densidad de un material.
- Compuerta. (D-O.EXC-GmDE) (D-O.T.-GmDE)** Dispositivo que controla el paso del agua en presas, vertedores, canales y túneles.
- Compuerta de control automático.**
- Compuerta de control manual.**
- Compuerta plana.**
- Compuerta radial.**
- Concentrador.** Estructura usada para confinar la descarga de una válvula.
- Concreto rolado.** Concreto colocado con una tecnología especial cuando las capas delgadas (de 30 a 50 cm) de concreto se compactan con rodillos sin necesidad de juntas transversales.
- Consolidación.** Proceso de reducción de las presiones en el agua de los poros que genera asentamientos y aumento de la densidad del terreno.
- Conducto.** Canal o tubo.
- Contacto de colado mal realizado. (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-CD-Galerías) (OP-CD-Talud aguas abajo)** Contacto de colado mal preparado y que impide una buena adhesión con un nuevo colado, lo que aumenta su permeabilidad.
- Contraflecha.** Sobre elevación de la corona de una presa para absorber posibles asentamientos.
- Contrafuerte.** Sinónimo de **Atraque**. Elemento que soporta las fuerzas horizontales de una estructura o un macizo rocoso.
- Control de avenidas. (D-DG-Propósito)** Protección de un terreno de inundaciones durante avenidas, lo que se realiza acumulando el agua de una avenida en el embalse de una presa.
- Corazón impermeable.** También llamado **Núcleo**, es el elemento de la presa que reduce el gasto de filtración a través del cuerpo de la presa.
- Corona. (D-CD-GmDE)** Superficie horizontal superior de una presa, dique o terraplén. Es la superficie superior de la presa que en ciertos casos, puede alojar a una carretera o la vía de un ferrocarril; normalmente, es la parte que sirve de acceso a otras estructuras.
- Corrosión.** Conjunto de procesos físico-químicos que degradan la superficie de un metal.
- Corte representativo de la superficie libre de la presa para diversas fechas.(C-CD-CPO-TrEn)** Topografía de un corte longitudinal o transversal del cuerpo de la presa para una fecha dada.
- Cortina. (D-CD-Grupo)** Sinónimo de **Presa**. Ambos términos se emplearán como sinónimos para designar la estructura que tiene por objeto crear un almacenamiento de agua o derivar el río.
- Cota.** También se utiliza **Elevación**. Desnivel del punto considerado respecto a un nivel de referencia (nivel del mar, cauce del río, base de la estructura, etc.)
- Cresta.** Umbral del cimacio de un vertedor.
- Cubeta.** Parte inferior de un cauce, canal, túnel o salto de esquí.
- Cubicación.** Estimación del volumen de un cuerpo.
- Cuenca. (D-DG-Planta)** Extensión de la superficie terrestre en la que se recolecta el agua pluvial y se conduce hacia el río.
- Cuerpos flotantes. (OP-Embalse)** Troncos o ramas de arboles, arbustos o otros escombros flotantes en el embalse de una presa.
- Datos de avenidas (gastos, duración y fecha).** Datos de los gastos de las avenidas (en m^3/s) y su duración (en horas) registrados durante una crecida.
- Datos de celdas de presión.** Tablas o diagramas de presiones registradas por una celda de presión con el tiempo en función de la variación del nivel en el embalse.

- Datos de contenido sólido y tipo de suelo en suspensión en las filtraciones.** Para el análisis de la composición de suspensiones de suelo en el flujo de filtración se toman muestras en piezómetros, drenes y fuentes de filtración, utilizando vasijas especiales bajadas hasta la parte más profunda de los barrenos (o pozos de colección del agua de filtración). Se pesa y analiza la granulometría del sedimento.
- Datos de desplazamiento en juntas.** Tablas o diagramas de desplazamientos registrados por un medidor de juntas con el tiempo.
- Datos de extensómetros.** Datos de deformaciones registradas por un extensómetro con el tiempo.
- Datos sobre geometría del depósito de azolves.** Datos de batimetría que permiten definir la forma, dimensiones y el volumen del depósito de azolves en el embalse en cercanía de la presa, del vertedor, del desagüe de fondo o de la obra de toma.
- Datos de inclinómetros.** Tablas o diagramas de movimientos registrados por un inclinómetro con el tiempo.
- Datos de nivel del agua aguas abajo.** Tablas o diagramas de la variación del nivel del río aguas abajo de la presa o del vertedor con el tiempo.
- Datos del nivel del embalse.** Tablas o diagramas de la variación del nivel del embalse con el tiempo.
- Datos de niveles hidráulicos.** Tablas o diagramas de niveles hidráulicos registrados en función del tiempo.
- Datos de oleaje.** Tablas o diagramas de la altura de olas (en m) registrada en el embalse con el tiempo.
- Datos de péndulos.** Tablas o diagramas de desplazamientos registrados por un péndulo con el tiempo.
- Datos de piezómetros.** Tablas o diagramas de niveles piezométricos registrados por un piezómetro con el tiempo.
- Datos de pluviometría en la zona.** Tablas o diagramas de la cantidad de precipitaciones (en mm) con el tiempo en un lugar determinado.
- Datos de sismos.** Diagramas de aceleraciones terrestres registradas por los acelerógrafos.
- Datos de temperatura ambiental, del agua del embalse y del agua de filtración.** Tablas o diagramas de variación de la temperatura del aire, del agua en el embalse y del agua de filtración (en grados *centígrados* o Celsius). Para medir la temperatura del agua de filtración se utilizan termómetros con cubierta metálica y un pequeño recipiente cilíndrico en la parte inferior. Este recipiente garantiza la permanencia del termómetro en el agua durante su extracción del piezómetro o del barreno.
- Datos de temperatura de la masa rocosa.** Tablas o diagramas de variación con el tiempo de temperaturas (en *centígrados* o Celsius) en una masa rocosa registradas por termómetros instalados en barrenos.
- Datos de tensión en anclas.** Tablas o diagramas de deformaciones registradas por una ancla de control con el tiempo.
- Datos topográficos (mojoneras).** Datos (tablas, diagramas y/o mapas) de movimientos (desplazamientos horizontales y asentamientos) de mojoneras, obtenidos con una red de triangulación (nivelación, colimación).
- Datos de velocidad del viento.** Tablas o diagramas de la velocidad del viento (en m/s) registrada con el tiempo en un lugar determinado.
- Datos de vertedores de aforo.** Tablas o diagramas de gastos registrados por un vertedor de aforo con el tiempo.
- Deficiencia del equipo electromecánico. (OP-Vertedor-Eq.Elect.M)** Defectos o imperfecciones en el equipo electromecánico que pueden obstaculizar su funcionamiento normal.
- Deflector.** Tipo de estructura usada para cambiar la dirección del flujo en la descarga.
- Deformómetro. (D-DG-Instrumentación)** Aparato para medir alargamientos o acortamientos de una longitud.

- Delantal. (D-O.EXC-GmDE)** Losa de concreto o de otro material impermeable que cubre el cauce del río al pie del paramento aguas arriba de una presa o vertedor para aumentar el camino de filtración y disminuir la subpresión en la base de la presa o del vertedor.
- Dentellón. (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación)** Estructura de concreto u otro material impermeable que corta verticalmente el flujo de agua en la cimentación de la presa.
- Derrumbes. (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación) (OP-Vertedor-Apoyos aguas abajo)** Sinónimo de **Caidos**. Piedras que se despeñan de un talud.
- Descarga máxima. (D-O.EXC-GmDE)** Gasto máximo de descarga de agua de un embalse a través de vertedores, descargas de fondo y otros dispositivos de desagüe.
- Desfogue.** Orificio por donde sale el agua de un conducto.
- Deslizamiento. (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-CD-Talud aguas abajo)** Movimiento relativo de dos cuerpos sin pérdida de contacto. Desplazamiento de una masa de roca o de suelo a lo largo de una superficie de deslizamiento.
- Deslizamientos antiguos. (D-CD-GS) (D-O.AUX-GS) (D-O.EXC-GS) (D-O.T.-GS)** Signos de deslizamientos ocurridos en el pasado (escalones y grietas de tensión en la superficie de un talud, presencia de masas rocosas desplazadas en el talud, etc.).
- Desplazamiento tangencial.** Desplazamiento sin pérdida de contacto de dos partes de una estructura, junta o grieta.
- Diafragma. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Elemento estructural (muro de mampostería, pantalla de tablestacas o de otro tipo de impermeabilización) en el cuerpo de una presa de enrocamiento que sirve como barrera para disminuir la filtración.
- Dientes.** Elementos de concreto colocados en un canal de descarga o tanque amortiguador, para disipar la energía del flujo.
- Discontinuidad. (D-DG-GR)** Elementos tales como huecos, grietas, fisuras, fracturas, juntas, contactos, etc. que eliminan el carácter continuo del medio.
- Diseño. (D-O.AUX-GmDE)** Proyecto de una obra o estructura que contiene descripciones, criterios, cálculos y dibujos necesarios.
- Diseño de drenes.**
- Diseño de juntas transversales.**
- Diseño de juntas longitudinales.**
- Diseño de la junta perimetral.**
- Diseño de medidas de estabilización.**
- Disipador. (D-O.EXC-GmDE)** Estructura o conjunto de estructuras destinadas a disipar la energía de un flujo de agua (tanque amortiguador, dientes, salto de esquí, etc.)
- Disposición de galerías de inyección y de drenaje. (D-CD-Cimentación) (D-O.AUX-Cimentación) (D-O.EXC-Cimentación) (D-O.T.-Cimentación)** Disposición en la cimentación de las galerías de inyección y de drenaje en corte y en planta.
- Dique. (D-CD-Grupo)** Muro o terraplen hecho para oponerse al paso del agua.
- Dren.** Dispositivo para recolectar el agua de filtración a través de una estructura.
- Dren de pie deficiente. (OP-CD-Talud aguas abajo)** Deficiencia en el comportamiento del dren localizado al pie aguas abajo de la presa.
- Drenaje superficial inadecuado. (OP-CD-Corona)** Obras de recolección del agua pluvial inadecuadas.
- Dueño de obra. (D-DG-Planta)** Organización o compañía a la que pertenece la obra.
- Elevación.** O también se utiliza **Cota**. Desnivel del punto considerado respecto a un nivel de referencia (nivel del mar, cauce del río, base de la estructura, etc.)
- Enrocamiento. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Material formado por fragmentos de roca.
- Embalse.** Gran depósito artificial de aguas de un río o arroyo, mediante un dique o una presa para utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones o en la producción de energía eléctrica.

- Enfriamiento del concreto (temperaturas registradas) (C-CD-CPO-CR) (C-CD-CPO-MAM)**
Sistema de enfriamiento del concreto durante su fraguado compuesto de serpentines con circulación de agua fría y medidores de temperaturas máximas alcanzadas.
- Equipo electromecánico.** Equipo destinado a la operación de mecanismos tales como compuertas, válvulas, servomotores, etc.
- Erosión. (OP-Vertedor-Cauce aguas abajo) (OP-Vertedor-Pilas) (OP-Vertedor-Canales de llamada y desfogue)** Desgaste de terrenos o de estructuras a consecuencia de la acción de los agentes externos (agua, viento, hielo).
- Erosión por oleaje.(OP-CD-Corona) (OP-CD-Talud aguas arriba)** Desgaste de terrenos o de estructuras a consecuencia de oleaje en el embalse.
- Escombros. (OP-Vertedor-Deflector)** Desechos o cascotes.
- Escombros sobre el talud. (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-CD-Talud aguas abajo)** Depósito de escombros sobre el talud.
- Estabilidad. (D-Embalse-Generales)** Calidad de estable de una estructura o una masa de terreno (opuesto a inestabilidad o ruina).
- Extensómetro. (D-DG-Instrumentación)** Aparato para medir una deformación longitudinal en el cuerpo de una estructura o en la cimentación.
- Falla.** Defecto material de algún elemento de una obra que reduce su resistencia, alterando o impidiendo su funcionamiento. Colapso. Falla tectónica en la corteza terrestre.
- Falla tectónica.** Diaclasa. Fractura de las capas geológicas acompañada de un desplazamiento vertical, oblicuo u horizontal de los bloques.
- Filtración. (OP-Vertedor-Pie de Aguas Abajo) (OP-Vertedor-Apoyos aguas abajo) (OP-O.AUX-Cimentación-Galerías) (OP-O.AUX-Cimentación-Pie de aguas abajo) (OP-O.AUX-Apoyos aguas abajo) (OP-CD-Galerías) (OP-CD-Base) (OP-CD-Cimentación-Galerías) (OP-CD-Cimentación-Pie de aguas abajo) (OP-CD-Talud aguas abajo)**
Penetración de un líquido (agua) a través de un cuerpo sólido (terreno, estructura) por sus poros o resquicios (grietas).
- Filtro. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Dispositivo en el cuerpo de una presa que deje pasar el agua impidiendo el paso de partículas finas clasificadas.
- Fisura.** Sinónimo de **Grieta**. Hendidura, abertura formada en un cuerpo sólido.
- Focos de filtración.** Lugares de salida del agua de filtración.
- Fractura.** Sinónimo de **Grieta**. Hendidura, abertura formada en un cuerpo sólido.
- Fracturamiento.** Proceso de rotura de una unidad geológica a través de uno o varios planos.
Proceso de rotura de un elemento estructural.
- Fugas.** Escape del agua de un embalse.
- Galería. (D-O.T.-GmDE)**Túnel artificial en el cuerpo de una presa o en su cimentación.
- Galerías de inyección y de drenaje.** Galerías destinadas a realizar las pantallas de impermeabilización o de drenaje.
- Gasto de diseño. (D-DG-Hidrología)** Gasto adoptado para el diseño de una obra hidráulica.
- Gasto máximo. (D-DG-Propósito-Riego) (D-DG-Propósito-Generación Eléctrica) (D-DG-Propósito-Agua Potable)** Gasto máximo de un río con un período de retorno considerado.
- Gasto máximo de diseño. (D-DG-Hidrología)** Gasto máximo de un río para el que está diseñado todo el conjunto de estructuras de una obra hidráulica.
- Generación de la energía. (D-DG-Propósito-Generación Eléctrica)** Transformación de la energía de un flujo del agua en la energía eléctrica en una planta hidroeléctrica.
- Grado de alteración.** Estado de intemperización de una roca.
- Grieta.** Sinónimos: **Fisura, Fractura, Falla**. Hendidura, abertura formada en un cuerpo sólido. En un macizo rocoso, por regla general, son grietas de descarga o de descompresión, grietas tectónicas (fracturas o fallas).
- Herrumb(r)e.** Capa de óxido de hierro hidratado, de que se cubre el hierro expuesto a la acción del aire húmedo.

- Impermeabilización.** Efecto de impermeabilizar un cuerpo de la presa o su cimentación (pantalla de impermeabilización).
- Inclinación de postes. (OP-CD-Corona)** Inclinación visible de postes en la corona de una presa (dique) que puede testimoniar los asentamientos o deformaciones del cuerpo de la misma.
- Inclinómetro. (D-DG-Instrumentación)** Aparato que se instala en un barreno para medir los movimientos horizontales (con su dirección) y asentamientos en un terreno.
- Incremento de nivel.** Subida del nivel en el embalse.
- Inestabilidad. (OP-Vertedor-Pilas) (OP-Vertedor-Apoyos aguas abajo)** Estabilidad insuficiente de una estructura o un macizo.
- Inestabilidad de las laderas.**
- Inestabilidad de muros o revestimiento.**
- Inestabilidad de taludes naturales.**
- Infraestructura aguas abajo. (D-DG-PD)** Ver **Actividad económica aguas abajo.**
- Inundación.** Desbordamiento del agua fuera del lecho aparente, cubriendo zonas normalmente sin agua.
- Inundación previa. (D-CD-Cimentación) (D-O.AUX-Cimentación)** Inundación voluntaria de un terreno para provocar su saturación previa al inicio de la construcción.
- Instrumentación. (D-DG)** Conjunto de aparatos de medición que se instalan en una estructura o en su cimentación, con el fin de conocer deformaciones, movimientos, esfuerzos, filtraciones, presiones y otros.
- Inyección.** Introducción de una mezcla fluida a presión, por medio de una perforación en el terreno con el fin de rellenar grietas, fisuras y en general espacios vacíos, con el objeto de consolidar (inyección de consolidación), impermeabilizar o empaquetar (inyección de compactación).
- Junta.** Separación entre dos colados de concreto.
- Junta de construcción. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Contacto horizontal entre bloques de colado.
- Junta longitudinal. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Separación longitudinal entre los bloques de una estructura de concreto condicionada por razones de construcción.
- Junta perimetral.** Contacto perimetral en una presa bóveda o en cara de concreto equipado con dispositivos especiales (tapajuntas) para impedir el paso del agua. Sirve para permitir las deformaciones de la estructura sin formación de grietas en el paramento de aguas arriba.
- Junta transversal o junta de contracción. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Separación transversal entre los bloques de una estructura de concreto equipada con dispositivos especiales (tapajuntas) para impedir el paso del agua. Sirve para amortiguar las deformaciones (contracciones) térmicas del concreto.
- Karst. (D-Embalse-Geotécnia)** Disolución de las calizas por aguas subterráneas y formación de sumideros, depresiones cerradas en superficie, cenotes y galerías subterráneas.
- Ladera.** Declive o pendiente lateral de un cañon o un vaso.
- Licuación.** Fenómeno de pérdida momentánea de resistencia al esfuerzo cortante del material.
- Limpias y tratamiento dental.** Eliminación en el contacto presa-cimentación del material suelto o con bajas características mecánicas y reposición con concreto e inyecciones para sellar las fisuras y suavisar este futuro contacto.
- Línea de transmisión.** Línea eléctrica para transmitir la energía eléctrica de una planta a sus consumidores.
- Lloradero.** Perforación a través de taludes o muros para permitir el escurrimiento de agua hacia el exterior.
- Losa.** Placa de hormigón de gran superficie empleada como pavimento.
- Lumbrera. (D-O.T.-GmDE)** Abertura que desde un túnel, o desde la bóveda de una galería, comunica con el exterior y proporciona luz o ventilación.
- Madrigueras.** Cuevecillas hechas por ciertos animales roedores.

- Manchas o zonas húmedas.** Signos en la superficie de un cuerpo de la salida de aguas de filtración.
- Mampostería. (D-CD-Tipo) (C-CD-CPO)** Obra hecha con mampuestos colocados y ajustados unos con otros sin sujeción o con mortero a determinado orden de hiladas o tamaños.
- Material colapsible (tipo C).** Suelo que sufre un colapso en su estructura al saturarse.
- Material expansible (tipo E).** Suelo que se expande volumétricamente al aumentar su contenido de agua.
- Material licuable (tipo L).** Suelo susceptible de sufrir una licuación.
- Material soluble (tipo D).** Material susceptible de disolverse al estar en contacto con agua.
- Material tubificable (tipo T).** Material que pierde parte de sus partículas constitutivas bajo el flujo de filtración que las arrastra.
- Máximo de precipitación. (OP-DG-Hidrología)** Valor máximo de precipitación para un período dado con la indicación de la fecha.
- Medidas de estabilización. (D-CD-Cimentación)(D-O.T.-Cimentación) (D-O.EXC-Cimentación) (D-O.AUX-Cimentación)** Pueden ser: excavación, drenaje, anclaje, construcción de contrafuertes o muros de contención.
- Medidores de niveles. (D-DG-Instrumentación)** Aparatos para medir niveles del agua en un embalse o en un río.
- Medidores de gastos. (D-DG-Instrumentación)** Vertedores de aforo para medir los gastos del agua.
- Medidores de juntas. (D-DG-Instrumentación)** Aparatos para medir las deformaciones de juntas o grietas (aberturas y desplazamientos tangenciales).
- Mojonera.** Punto geodésico para medir los desplazamientos o asentamientos. Forma parte de una red topográfica de triangulación, de nivelación o colimación.
- NAME. (D-Embalse-Generales)** Nivel máximo extraordinario del agua en el embalse.
- NAMINO. (D-Embalse-Generales)** Nivel mínimo de operación del agua en el embalse.
- NAMO. (D-Embalse-Generales)** Nivel máximo de operación del agua en el embalse.
- Nivel freático. (D-DG-Hidrología)** Nivel del agua subterránea.
- Nivel hidráulico. (D-DG-Instrumentación)** Instrumento que permite detectar diferencias en elevaciones y asentamientos.
- Normas de operación hidráulica. (OP-DG-Hidrología)** Normas y reglas adoptadas en el diseño para la operación de compuertas de obras de desagüe.
- Núcleo. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG) (D-CD-GMDE)** Sinónimo de **Corazón impermeable.** Elemento de la presa que impide el paso del agua de filtración a través del cuerpo de la presa.
- Obras auxiliares. (D-O.AUX-Tipo)** El conjunto de obras que no afectan la estabilidad de la presa y no constituyen un riesgo para aguas abajo (casa de máquinas, subestaciones, líneas de transmisión, caminos y túneles de acceso, casetas, obras de mantenimiento y reparación, obras de desvío de río, obras de cierre de embalse, etc.)
- Obra de control.** Estructura que por medio de mecanismos permite el paso del agua, con caudales previamente establecidos.
- Obras de desvío de río.** Túneles o canales de desvío.
- Obra de excedencia y control.** Estructura que por medio de mecanismos permite el paso del agua, con caudales previamente establecidos.
- Obras de excedencia del desagüe.** Vertedores, desagüe de fondo y otras obras de desagüe destinadas a descargar agua del embalse en período de avenida.
- Obra de toma. (D-O.T.-Tipo)** Estructura que permite extraer el agua en forma controlada de un almacenamiento.
- Obra de toma del tipo torre-galería.**
- Obra de toma del tipo tubería a presión.**
- Obra de toma del tipo túnel a presión.**
- Obra de toma del tipo túnel-lumbrera.**
- Operación inadecuada.** Operación que no corresponde a normas y reglas establecidas.

- Panal de abejas.** (OP-CD-Corona) (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-Talud aguas abajo) Colado de concreto mal realizado (desagregación del concreto en el bloque de colado o su vibración insuficiente) que da al concreto aspecto de un "panal de abejas".
- Pantalla de drenaje.** (D-CD-GmDE) Un conjunto de drenes (en línea, en aureola, etc.) creado en una cimentación o en el cuerpo de una presa para captar el flujo de agua de filtración.
- Pantalla de impermeabilización.** Un conjunto de perforaciones localizadas en una cimentación para inyectarlas e impedir la filtración del agua.
- Pantalla de inyecciones.** (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación) Ver **Pantalla de impermeabilización**.
- Paramento.** Superficie exterior de una presa tanto aguas arriba como aguas abajo.
- Péndulo.** (D-DG-Instrumentación) Aparato para medir los desplazamientos horizontales de una estructura compuesto por un cuerpo pesado o flotante (Péndulo invertido) que puede oscilar en un pozo suspendido de un punto por un hilo o cable.
- Perforación.** Barreno.
- Período de construcción.** (C-DG) Fechas del inicio y de la terminación de construcción.
- Periodo de retorno de diseño.** (D-DG-Hidrología) Período de tiempo en que estadísticamente puede repetirse en el río un gasto determinado.
- Piezómetro.** (D-DG-Instrumentación) Instrumento colocado en un barreno o en un tubo dentro del terreno o en un terraplén para medir los niveles hidráulicos.
- Pluviometría y temperaturas ambientales.** (C-DG) Registro de la magnitud de las precipitaciones pluviales y de la temperatura en el sitio.
- Poblaciones bajo riesgo.** (D-DG-PD) Poblaciones situadas aguas abajo de un embalse en la zona de inundación eventual en caso de una avería.
- Poros.** Intersticio que hay entre las partículas de los cuerpos sólidos y suelos.
- Potencial de daños.** (D-DG) Magnitud de los daños en el caso de ocurrir una avería en la presa.
- Potencia instalada.** (D-DG-Propósito-Generación Eléctrica) Energía que pueden suministrar los generadores de una planta hidroeléctrica en cada unidad de tiempo. Normalmente se mide en megavatios (*MW*).
- Pozos de alivio.** (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación) Pozos construidos para drenar un macizo y abatir las presiones del agua.
- Presa.** Se utiliza también el término **Cortina**. Estructura construida al través de un río que tiene por objeto crear un almacenamiento de agua o derivar el río.
- Presa de arco.** Presa de concreto que soporta la carga del agua de embalse por su apoyo a las márgenes del cañón. Tiene forma de arco en el plano.
- Presa de CCR.** Presa de gravedad construida con concreto rodado.
- Presa de contrafuertes.** Presa de concreto que soporta la carga del agua de embalse por su apoyo a contrafuertes situados aguas abajo de la presa.
- Presa de enrocamiento con cara de concreto.** Estructura de enrocamiento (presa) protegida contra la filtración de agua de embalse con losas de concreto en el paramento aguas arriba.
- Presa de gravedad.** Presa de concreto o de mampostería que soporta la carga del agua de embalse por su propio peso.
- Presa de tierra homogénea.** Presa construida de tierra que no tiene ni corazón impermeable, ni zonas de respaldo (homogénea).
- Presa de tierra y enrocamiento.** Presa construida de tierra y enrocamiento.
- Presa de tierra y enrocamiento con diafragma.** Presa construida de tierra y enrocamiento con un diafragma impermeable.
- Promedio de precipitación registrada.** (OP-DG-Hidrología) Valor promedio de precipitaciones en un período de tiempo determinado (en *mm*).
- Propósito.** (D-DG)(D-O.EXC) Objetivo de una obra hidráulica: riego de terrenos, abastecimiento de agua de poblaciones, control de avenidas o producción de energía eléctrica.
- Rápida.** Tramo de un canal con pendiente mayor que la crítica.
- Rebosamiento.** Derrame del agua por encima del borde de una presa.

- Red de colimación. (D-DG-Instrumentación)** Red geodésica para medir los desplazamientos de puntos de colimación respecto a una línea inicial que sirve como referencia.
- Red de flujo en el cuerpo de la cortina y en su cimentación. (D-CD-GmDE)** Red de líneas de flujo y de equipotenciales de un flujo de filtración en el cuerpo de una presa y su cimentación. Se utiliza para determinar las subpresiones y los gradientes de flujo.
- Red de nivelación. (D-DG-Instrumentación)** Red topográfica de nivelación para medir la diferencia de altura de puntos en un terreno o en una estructura respecto a un punto con altura definida que sirve como referencia topográfica.
- Red de triangulación. (D-DG-Instrumentación)** Red topográfica de triangulación para medir los desplazamientos y los asentamientos de puntos (mojoneras) en un terreno o en una estructura respecto a un punto con nivel y coordenadas definidas que sirve como referencia (banco topográfico).
- Región administrativa. (D-DG-Planta)(?).**
- Región hidrológica. (D-DG-Planta) Ver Cuenca (?).**
- Rehabilitación.** Acción para restituir el estado original de funcionamiento a una obra.
- Rejilla. (D-O.EXC-GmDE) (D-O.T.-GmDE)** Armazón de elementos metálicos para evitar el paso de cuerpos flotantes.
- Respaldos permeables.** Son las masas granulares que integran, a ambos lados del corazón impermeable, la sección de la cortina. Pueden estar formados por filtros, zonas de transición y enrocamientos.
- Revestimiento.** Cubertura o protección de un túnel, una excavación subterránea o una estructura contra filtración o erosión.
- Rezaga.** Producto de excavación en roca.
- Riego. (D-DG-Propósito)** Esparcimiento de agua sobre una superficie de tierra para humedecerla o beneficiarla. Agua disponible para regar.
- Riesgo.** Riesgo de una obra ingenieril se define como la probabilidad de falla multiplicada por daños económicos y sociales.
- Rio. (D-DG-Planta)** Corriente de agua que va a desembocar en otra o en el mar.
- Rip-rap. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG)** Enrocamiento de gran tamaño que se utiliza para proteger los taludes de presas o de ríos contra la erosión.
- Sala de operación.** Recinto para la instalación de equipos electromecánicos para la operación de compuertas o válvulas.
- Sección de la cortina.** En general, es cualquier corte transversal de la presa; pero a menos que se especifique la estación o encadenamiento de dicho corte, es la sección de máxima altura de la presa.
- Segregación.** Disociación de un compuesto en sus elementos.
- Sello.** Elemento utilizado en una junta para hacerla impermeable.
- Servomotor.** Dispositivo electromecánico que controla un mecanismo.
- Signos de disolución de concreto. (OP-CD-Talud aguas abajo)** Aparición de material disuelto en agua de filtración.
- Signos de tubificación. (OP-CD-Talud aguas abajo)** Aparición de material sólido en agua de filtración.
- Sismo. (OP-Embalse)** Temblor de tierra, terremoto; movimiento oscilatorio o de vibración de la superficie terrestre, susceptible de ser registrado por medio de aparatos especiales con el nombre de acelerógrafos o sismógrafos.
- Sismo local.** Sismo registrado en la región del sitio de una obra.
- Sismo inducido.** Sismo provocado por el llenado del vaso de una presa.
- Sistemas de fracturamiento. (D-CD-GS) (D-O.AUX-GS) (D-O.EXC-GS) (D-O.T.-GS)** Las fisuras (o grietas) del macizo rocoso como regla general se agrupan en sistemas que poseen sus acimuts y sus ángulos de echado predominantes, o (muy raras veces) se presentan como una multitud de fallas sin direcciones preferenciales. Comúnmente, un

fracturamiento desorientado proviene de un enfriamiento rápido de las rocas magmáticas.

El conjunto de fisuras paralelas o casi paralelas forma un sistema.

Socavación. Remoción del material producido por el agua en una estructura.

Subestación eléctrica. Parte de una planta hidroeléctrica donde están instalados transformadores, interruptores y aparatos de control de suministro de energía eléctrica.

Subpresión. (OP-CD-Base) Presión intersticial del agua que actúa sobre la base de una estructura poco permeable.

Subpresión de diseño. (D-CD-GmDE) Valor de subpresión adoptado en el diseño de una presa, un vertedor u otra obra hidráulica.

Sumidero. (OP-Embalse) (OP-CD-Corona) (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-CD-Talud aguas abajo) Hueco natural en la superficie de un terreno o de una presa por donde se sumen las aguas.

Super almacenamiento. Capacidad destinada en un embalse para regular la avenida máxima probable. Volumen de agua comprendido entre NAMO y el NAME.

Suspensión. Materiales sólidos arrastrados por el flujo y suspendidos en el agua.

Talud. Inclinação o declive del paramento de una presa (estructura) o de un terreno natural.

Talud aguas arriba. (D-CD-GmDE) Inclinação del paramento de una presa del lado de aguas arriba.

Talud aguas abajo. (D-CD-GmDE) Inclinação del paramento de una presa del lado de aguas abajo.

Tanque amortiguador. Dispositivo aguas abajo de un vertedor destinado a disipar la energía cinética de agua descargada.

Tapajuntas. Elementos utilizados en una junta para hacerla impermeable.

Tapete de inyecciones. (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación) (C-O.EXC-Cimentación) (C-O.T.-Cimentación) Consolidación o reforzamiento superficial de una cimentación por medio de inyección de lechadas de cemento hasta una profundidad definida.

Terraplen. Masa de enrocamientos y/o suelos con fines diversos.

Terraplenes de prueba. Terraplenes construidos con el propósito de mejorar los métodos constructivos propuestos para la construcción de la presa.

Tipo. Con este término se define el material utilizado para la construcción de la presa:

- Presa de tierra y enrocamiento,
- Presa de enrocamiento con cara de concreto,
- Presa de concreto.

Topografía del cañón. (D-CD-Cimentación) (D-O.AUX-Cimentación) Forma de la superficie del cañón con sus elevaciones correspondientes.

Transición. (D-CD-GtME-MCCEEPIMHG) Elemento de la estructura de una presa de tierra y enrocamiento localizado entre el núcleo y los respaldos de la cortina.

Trinchera. (C-CD-Cimentación) (C-O.AUX-Cimentación) (C-O.EXC-Cimentación) (C-O.T.-Cimentación) Excavación con taludes parados o casi parados a ambos lados, hecha en el terreno.

Tubería a presión. (D-O.T.-Tipo) Conducto cerrado (metálico o de concreto armado) para dar paso al agua de presión.

Tubificación. (OP-Vertedor-Cimentación-Galerías) (OP-Vertedor-Pie de aguas abajo) (OP-Vertedor-Apoyos aguas abajo) (OP-O.AUX-Cimentación-Galerías)(OP-O.AUX-Apoyos aguas abajo) (OP-O.AUX-Pie de aguas abajo) (OP-CD-Galerías)(OP-CD-Cimentación-Galerías) (OP-CD-Cimentación-Pie de aguas abajo) Proceso erosivo interno en una masa del suelo o estructura debido al flujo de agua.

Túnel a presión. Conducto subterráneo para dar paso al agua de presión.

Vaciado rápido. (OP-Embalse) Disminución rápida del nivel de un embalse

Válvula. (D-O.T.-GmDE) Dispositivo compuesto de elementos fijos y móviles que controla el paso de un fluido en una tubería.

Válvula de agujas.

Válvula de chorro divergente.

Válvula de operación.

Válvula de presión.

Vaso. Recipiente natural para un embalse creado por una presa.

Vástago. Barra metálica que transmite la fuerza del mecanismo a una compuerta deslizante para desplazamiento.

Vegetación. (OP-DG-CORONA) (OP-CD-Talud aguas arriba) (OP-CD-Talud aguas abajo)

Plantas existentes en un lugar determinado. Las raíces de plantas pueden perturbar la impermeabilidad de una estructura.

Velocidad del viento. Tablas o diagramas de la velocidad del viento (en *m/s*) registrada con el tiempo en un lugar determinado.

Vertedor. (D-O.EXC-Grupo) Estructura para descargar excedentes de agua.

Vertedor controlado. Vertedor con compuertas que controlan el flujo.

Vertedor de aforo. Vertedor de medición de gastos.

Vertedor libre. Vertedor de cresta libre que no tiene compuertas.

Vía de acceso y comunicación. (D-DG-Planta) Carretera, túnel o galería de acceso y comunicación en una obra.

Volumen. (D-DG-Propósito-Agua potable) Medida del espacio ocupado por un cuerpo (rígido, líquido o gaseoso).

Volumen de avenida de diseño. (D-DG-Hidrología) Cantidad de agua que el diseño considera puede ser acumulado o descargado por una obra hidráulica en período de avenida.

Vórtice. (OP-Embalse) Torbellino hueco que se origina en un líquido que fluye.

Zona húmeda. Zona mojada en la superficie de un cuerpo (talud aguas abajo, ladera, cimentación, etc.) que indica la salida eventual de agua de filtración.