

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

TESIS DOCTORAL

MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION
HIDRAULICA
(TOMO I)

Presentada por: JOSE ANTONIO RODRIGUEZ GONZALEZ
Dirigida por: GUILLERMO GOMEZ LAA

SEPTIEMBRE, 1987

El presente ejemplar ha servido
de base a los miembros del Tribunal
para calificar su contenido.

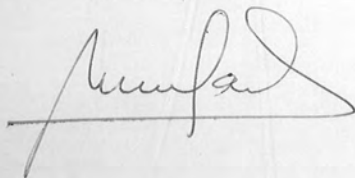
Santander, 14 de octubre de 1982

EL SECRETARIO,



Jº Bº

EL PRESIDENTE



LOS VOCALÉS,



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
Biblioteca



00035126



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

TESIS DOCTORAL

MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA (TOMO I)

(INDICE GENERAL)

Presentada por: JOSE ANTONIO RODRIGUEZ GONZALEZ
Dirigida por: GUILLERMO GOMEZ LAA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Biblioteca	
NM:	75640
NR:	103946
NF:	2846
C:	AM E
NT:	E
	t
	61
	I

SEPTIEMBRE, 1987

UNIVERSIDAD DE SANTIANDER
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE ANÁLISIS, CANALES Y PUERTOS

Reunido el Tribunal Integrado por los abajo firmantes
en el día de la fecha para juzgar la Tesis Doctoral de

Dr. Roberto Rodríguez Jaramila

titulada "Modelo determinista de Auscultación
Hidráulica"

se acordó otorgarle la calificación de *Opto "Cum Laude"*

Santander, 14 de octubre

1987

El Vocal,

El Vocal,

El Vocal,

[Signature]
El Presidente,

[Signature]
El Secretario,

[Signature]
El Doctorado,

[Signature]

[Signature]

[Signature]

MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA

(INDICE GENERAL)

MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA DE PRESAS

INDICE GENERAL. TOMO I

I.- ANTECEDENTES. Datos mínimos necesarios para la definición del

II.- INTRODUCCION. modelo.

III.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESUMEN DE CONTENIDOS DE LOS ANEJOS
A, B, C Y D PRESENTADOS EN LOS TOMOS II Y III.

III.1.- Resumen del estudio de auscultación hidráulica y
deformacional de las presas, contenidas en el Anejo A.

III.2.- Comportamiento hidráulico general de los cimientos de las
presas estudiadas.

III.2.1.- Condiciones generales de la filtración. como forma

III.2.2.- Condiciones específicas en zonas preferentes de

Programa básico filtración. aplicación de un modelo determinista de

III.3.- Resumen de los modelos teóricos de "Interpretación de las

redes de filtración y de la influencia de las heterogeneidades

inducidas en el medio", contenida en el Anejo B.

III.4.- Formulación de un modelo determinista para interpretación de
la auscultación hidráulica deformacional. Factores a con-
siderar.

III.4.1.- Consideraciones generales.

III.4.2.- Zonas de aplicación del modelo.

III.4.3.- Hipótesis básicas para la aplicación del modelo.

- III.4.4.- Curvas características utilizadas para la representación de las magnitudes hidráulicas y deformacionales.
- III.4.5.- Datos mínimos necesarios para la definición del modelo.
- III.4.6.- Formulación básica del modelo.
- III.4.7.- Forma de aplicación del modelo.
- III.5.- Análisis de resultados posibles por la aplicación del modelo a los datos de auscultación convencional y observación de los resultados en la sección central de la ménsula central de la presa de Almendra.
- IV.- Conclusiones generales sobre "la auscultación hidráulica como forma de conocimiento determinista".
- V.- Programa básico para la aplicación de un modelo determinista de auscultación hidráulica.
- VI.- Líneas de investigación.
- VII.- Bibliografía.

Auscultación Hidráulica de Presas. Modelo Determinista

I.- ANTECEDENTES

La comprobación y auscultación de las grandes estructuras y de modo concreto, de las presas y embalses, se inicia con el Siglo XX. En relación al temario de los Congresos Internacionales de Grandes Presas, cuyo primero se celebró en Stockholmo en 1931 y cuyo último se celebrará en San Francisco el próximo año 1988, de sesenta y tres cuestiones discutidas sobre proyecto, construcción, explotación e impacto de las grandes Presas, veinte hacen referencia expresa a la auscultación de presas y cimientos, como forma de juzgar el comportamiento y evaluar la seguridad o riesgo de la obra.

I.- ANTECEDENTES

Recientemente, en el campo de las presas, ha sido objeto de multitud de conferencias y simposios nacionales e internacionales, (ver bibliografía); ahora bien, en el mundo de las presas, la documentación más importante se encuentra en los libros de "actes rendues" de los diez y seis Congresos Internacionales celebrados y resultan de consulta obligada a la hora de acudir a la problemática que plantea la auscultación.

Las veinte cuestiones que importa destacar son las siguientes:

Auscultación Hidráulica de Presas. Modelo Determinista

Primer Congreso STOCKHOLMO, 1933

I.- ANTECEDENTES

Cuestión 1.a - "Deterioro por envejecimiento del hormigón de las

La comprobación y auscultación de las grandes estructuras y de modo concreto, de las presas y embalses, se inicia con el Siglo XX. En relación al temario de los Congresos Internacionales de Grandes Presas, cuyo primero se celebró en Stockholmo en 1933 y cuyo último se celebrará en San Francisco el próximo año 1988, de sesenta y tres cuestiones discutidas sobre proyecto, construcción, explotación e impacto de las grandes Presas, veinte hacen referencia expresa a la auscultación de presas y cimientos como forma de juzgar el comportamiento y evaluar la seguridad ó riesgo de la obra.

Recientemente, el tema de la seguridad de las presas, ha sido objeto de multitud de conferencias y simposios nacionales e internacionales, (ver bibliografía); ahora bien, en el mundo de las Presas, la documentación más importante se encuentra en los libros de "Comptes rendues" de los diez y seis Congresos Internacionales mencionados y resultan de consulta obligada a la hora de acudir a la problemática que plantea la auscultación:

terceros y hormigón"

las veinte cuestiones que importa destacar son las siguientes:

Quinto Congreso PARIS, 1955

Primer Congreso STOCKHOLMO, 1933

Cuestión 1.a.- "Deterioro por envejecimiento del hormigón de las

Cuestión 1.b.- "presas de gravedad".

Cuestión 1.b.- "Cuestiones relativas a las influencias de la temperatura interna y a la deformación de las presas de gravedad".

Sexto Congreso NEW YORK, 1958

Cuestión 2.b.- "Estudio de las leyes físicas que rigen la

Cuestión 21.- filtración a través de una presa de tierras y su cimiento".

Tercer Congreso STOCKHOLMO, 1948

Cuestión 8.- "Exposición crítica de las medidas de subpresión y de las tensiones resultantes en las presas".

Cuestión 25.- "Propiedades físicas y mecánicas del macizo

Cuestión 9.- "Métodos e instrumentación para medir los esfuerzos y las deformaciones en las presas de tierras y hormigón".

Quinto Congreso PARIS, 1955

Cuestión 17.- "Balances económicos y de seguridad, de los diferentes tipos de presas de hormigón".

Cuestión 18.- "Asientos en presas debidos a la compresibilidad de los materiales constitutivos de la obra de fábrica ó su cimiento. Cuestiones relacionadas con los movimientos sísmicos".

Sexto Congreso NEW YORK, 1958

Cuestión 21.- "Observaciones de las tensiones y deformaciones en los cimientos y apoyos laterales de las presas.

Cuestión 34.- "Comparación de estas observaciones con los cálculos y los ensayos en modelos reducidos".

Cuestión 35.- "Presas sometidas a movimientos de sismicidad ó

Octavo Congreso EDINBURGH, 1964

Cuestión 28.- "Propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, medidas "in situ". Procedimientos para determinar estas propiedades desde el punto de vista del proyecto y la construcción de grandes presas".

Cuestión 29.- "Resultados e interpretación de las medidas "de todo tipo" hechas en presas, incluso observaciones sobre movimientos sísmicos".

Cuestión 31.- "Estudio, métodos de ejecución y comportamiento de las grandes presas, de altura próxima o superior a los 80 ms, en relación con su cimiento rocoso".

Noveno Congreso ESTANBUL, 1967

Cuestión 32.- "Seguridad de las presas desde el punto de vista de su cimiento y estabilidad de los vertidos de embalse".

Cuestión 34.- "Comportamiento y deterioro de las presas".

Cuestión 35.- "Presas sometidas a movimientos de sismicidad ó situaciones excepcionales".

Décimo Congreso. MONTREAL, 1970

Cuestión 38.- "Control de presas y embalses en explotación".

Décimo segundo Congreso. MEXICO, 1976

Cuestión 45.- "Investigación sobre filtraciones y drenajes en las presas y sus cimientos".

Décimo tercero Congreso. NEW DELHI, 1979

Cuestión 49.- Desperfectos ó roturas en presas.

Décimo cuarto Congreso. RIO DE JANEIRO, 1982

Cuestión 52.- La seguridad de las Presas en explotación.

Cuestión 53.- Influencia de la geología y la geotécnica sobre el Proyecto de una Presa.

Décimo quinto Congreso. LAUSANA, 1985

Cuestión 56.- Auscultación de las Presas y sus Cimentaciones.

Cabe apreciar, en un intento de discretizar el análisis del comportamiento, la separación en grandes capítulos de auscultación:

- I Auscultación hidráulica.
- II Auscultación térmica.
- III Auscultación tensional y deformacional.
- IV Auscultación sísmica.

La reglamentación española sobre grandes presas hace énfasis notable en los problemas de auscultación.

En su primera versión "Normas para la redacción de Proyectos de Embalses", del año 1905, el tema de la auscultación no aparece sino someramente mencionado. Con fecha 1960, la Dirección General de Obras Hidráulicas publica, en dos folletos, las "Normas transitorias sobre vigilancia de presas" documento clave en la técnica española de auscultación de Presas; la vigente Instrucción para el Proyecto Construcción y Explotación de Grandes Presas, en sus sucesivas ediciones de 1962 (provisional), de 1967 (vigente), así como la futura "Instrucción de Presas y Embalses", discutida entre los años 79 y 86 en las Universidades de Cantabria, Politécnica de Barcelona y Politécnica de Valencia, desarrollan con intensidad progresivamente creciente el concepto de auscultación, de forma, que en la Instrucción en estudio, de los diez y siete artículos de que consta, uno se dedica de modo expreso a la auscultación, aspecto que queda implícitamente recogido en los otros diez y seis.

Esta reglamentación hace referencia fundamentalmente al control de las Presas con vistas a su seguridad dejando abierto el camino de la investigación del comportamiento reológico de materiales y cimientos, tema que, conjuntamente con el social de la seguridad ó riesgo asumido, constituye el motivo primordial de la auscultación.

Centrándose en el comportamiento del binomio presa-cimiento, en estructuras de fábrica, existen unos hitos fundamentales que marcan los avances más espectaculares en los modelos de comportamiento y acciones a tener en cuenta; tales son, algunos desastres y roturas de presas importantes:

Presa de Puentes (España)	Año 1802
Presa de San Francisco (USA)	Año 1928
Presa de Malpasset (Francia)	Año 1959
Presa Vajont (Italia)	Año 1963
Presa de Teton (USA)	Año 1975

Al interpretar la rotura de Malpasset se puso de relieve la variación de las características de permeabilidad y por ende, de los índices fundamentales de la filtración: caudales y subpresiones, a lo largo del proceso de puesta en carga, resultando un modelo variable de comportamiento, muy diferente del modelo estable de proyecto. Es importante destacar el artículo recogido en el 9º Congreso Internacional de Grandes Presas, Estambul 1967 "Comment protéger les barrages-voutes contre la pression de l'eau dans les appuis"; en este artículo, con la justificación de estudiar la estabilidad y proyecto de la presa de Kukuan, los autores Minassian, Sabarly y Londe meditan sobre las causas y los efectos de la subpresión y su variación con el estado de deformación del cimiento.

Se establecen en él, algunos de los criterios fundamentales que orientan la presente investigación, tales como reglas generales y comentarios sobre las heterogeneidades inducidas en el cimiento y su eficacia ante la filtración, de los que se extraen ideas que han de resultar perfectamente coherentes con los comportamientos de mayor generalidad obtenidos por el análisis de auscultación hidráulica-deformacional en cimientos de presas de fábrica.

REGLAS GENERALES

Primera Regla

"El caudal de filtración es aumentado por el drenaje y disminuido por la inyección".

"Un macizo fisurado homogéneo, puede caracterizarse por un coeficiente de permeabilidad equivalente K ".

Segunda Regla

COMENTARIOS SOBRE LA RED DE DRENAJE

"En un macizo de permeabilidad uniforme, el caudal de filtración depende de K . La velocidad de filtración depende, en cada punto de K y W . La presión en cada punto no depende de K ni de W ".

Tercera Regla

COMENTARIOS SOBRE EL EFECTO DE CIERRE DE FISURAS

"En un macizo fisurado heterogéneo caracterizado por diferentes valores de K equivalente, la presión en cada punto depende de los valores

relativos de estas permeabilidades mientras el caudal y las velocidades de filtración depende de sus valores absolutos".

de Obras Hidráulicas editó un cuaderno titulado "Auscultación Hidráulica de presas,"

redactado por COMENTARIOS SOBRE LAS PANTALLAS DE INYECCION con la Universidad de Cantabria, a través del cual reproducimos, por un

especial, "Una pantalla de impermeabilización, no reduce apreciablemente los caudales de filtración, y las subpresiones aguas abajo, sino que tiene un espesor notable y su permeabilidad es mucho más pequeña que la del resto del terreno. En estas condiciones, la pantalla soporta prácticamente la carga hidrostática aguas arriba".

ESTANCIAMIENTO DE LA
CONTAMINACIÓN DE PRESAS. E. B. GAZIEV, HIDROPROEKT INSTITUTE (MOSCÚ)

"Para asegurar que la pantalla de impermeabilización, realizada por inyección, sea eficaz, es necesario que el terreno natural en la que se ejecuta sea bastante permeable, sino es así, la penetración limitada de la inyección reduce poco la permeabilidad natural del terreno y lo hace en todo caso de forma localizada".

en los cimientos de presas. Una pequeña tensión en la masa de la

de juntas y

de rechazo produce modificaciones apreciables en la

"Los drenes del cimiento, reducen las presiones aguas abajo si el flujo de filtración, es captado por la red de drenaje".

me clara en los

CONSIDERACIONES SOBRE EL EFECTO DE CIERRE DE FISURAS

se ratifica plenamente con cierto número de datos de

"Una tensión moderada, puede modificar el espesor de las fisuras, produciendo una variación importante de la permeabilidad local".

En 1973, con motivo del 11º Congreso Internacional de Grandes Presas celebrado en Madrid, la Dirección General de Obras Hidráulicas editó un cuaderno titulado "Auscultación Hidráulica de presas," redactado por la mencionada Dirección General en colaboración con la Universidad de Cantabria, a través del cual reproducimos, por un especial valor para el tema que nos ocupa, el juicio emitido por el especialista ruso E.G. Gaziev, en el segundo Congreso Internacional de Geología del Ingeniero, celebrado en São Paulo en 1974.

PROBLEMAS MAYORES EN EL CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CIMENTACION DE PRESAS. E.G. GAZIEV. HIDROPROYECT INSTITUTE (MOSCU).

"La mejor instrumentación para enjuiciar las masas rocosas consiste en drenes y piezómetros. El análisis minucioso de los resultados de tales observaciones, denominado auscultación hidráulica, constituye un medio poderoso de detectar las modificaciones más ligeras en los cimientos de presas. Una pequeña tensión en la masa de la roca puede inducir cambios importantes en el espesor de juntas y fisuras, lo que de rechazo produce modificaciones apreciables en la conductividad hidráulica de la cimentación; así, las deformaciones más leves de la roca de cimentación pueden inferir de forma clara en las líneas de filtración.

Esta idea se ratifica plenamente con cierto número de datos de filtración recopilado en un volumen muy interesante de Auscultación Hidráulica de presas publicado por el Ministerio de Obras Públicas



español, con motivo del IIº Congreso Internacional de Grandes Presas. Tal muestreo hidrológico permite detectar cualquier anomalía en el comportamiento de una masa rocosa, probablemente con mayor rapidez que cualquier otro sistema de instrumentación.

Deben destacarse algunos conceptos acerca de las características específicas de la Auscultación Hidráulica de rocas. Como resumen, en rocas fisuradas, la filtración no se produce de forma uniforme en la masa rocosa sino que discurre fundamentalmente por fisuras, por otra parte y según se desprende de la investigación, la red de filtración no se produce a lo largo de toda la fisura sino por canales específicos en el seno de la propia junta y de su materia de relleno.

De esta forma en lugar de una filtración uniforme se produce una red de corriente que atraviesa el macizo rocoso a modo de un sistema de vasos sanguíneos".

Estos párrafos sintetizan de forma brillante el contenido de esta investigación, iniciada en la Universidad de Santander en el año 1981.

Se han publicado resultados provisionales del trabajo que han sido presentados, en diversas reuniones internacionales:

- Simposio sobre seguridad de presas en Coimbra 1984
- 15º ICOLD Lausana 1985
- Simposio sobre Mecánica de Rocas Pekin 1986

Es obligado mencionar, cuando se habla de auscultación de presas y muy especialmente al interpretar la auscultación hidráulica, la persona de José Luis Fernández Casado, inspirador de esta investigación desde sus primeros contactos con las presas y el agua intersticial, allá por la década de los cincuenta. Como es bien conocido de cuantos entienden en el mundo de las presas en España, tanto la Instrucción de Grandes Presas como gran parte de la bibliografía que se cita se deben a la inspiración de este insigne ingeniero y maestro.

II.- INTRODUCCION

II.- INTRODUCCION

La auscultación de Presas como base de evaluar el riesgo ó, más en concordancia con la mentalidad del Ingeniero, el grado de seguridad de las presas, conforme se expone en el capítulo anterior, se diferencia en cuatro rubros.

Auscultación hidráulica

Auscultación térmica

Auscultación de deformacional y tensional

Auscultación sísmica

La investigación que se presenta trata exclusivamente de los tres primeros. Entra en el campo de la sismología, tanto en el efecto de la sismicidad natural sobre presa y embalse, como de la posible sismicidad inducida por el llenado.

II.- INTRODUCCION

De forma convencional se han venido admitiendo que la auscultación hidráulica constituye una herramienta idónea para evaluar la seguridad, mientras que la auscultación térmica y de deformacional nos introducen en el carismático campo de la investigación.

La tesis que se expone discrepa de este planteamiento y pretende, por el contrario, poner de manifiesto como la auscultación hidráulica interpretada con precisión y con la ayuda de los datos térmicos y de la deformación, suministrados por los datos de

II.- INTRODUCCION

La auscultación de Presas como base de evaluar el riesgo ó, más en concordancia con la mentalidad del ingeniero, el grado de seguridad de las presas, conforme se expone en el capítulo anterior, se diferencia en cuatro rubros:

Auscultación hidráulica

Auscultación térmica

Auscultación deformacional y tensional

Auscultación sísmica

La investigación que se presenta trata exclusivamente de los tres primeros, sin entrar en ningún momento en aspectos sísmicos, tanto en el efecto de la sismicidad natural sobre presa y embalse, como de la posible sismicidad inducida por el llenado.

De forma convencional se han venido admitiendo que la auscultación hidráulica constituye una herramienta idónea para evaluar la seguridad, mientras que la auscultación térmica y deformacional nos introducen en el carismático campo de la investigación.

La tesis que se expone discrepa de este planteamiento y pretende, por el contrario, poner de manifiesto como la auscultación hidráulica interpretada con precisión y con la ayuda de los datos térmicos y de la deformación, suministrados por los datos de

auscultación, permite plantear un modelo determinista de comportamiento con su doble vertiente de valorar el riesgo de determinado "mal-comportamiento" y avanzar el conocimiento reológico de grandes masas naturales o artificiales, con puntualidad y precisión notables.

Parece importante destacar la dificultad, casi insalvable, que supone establecer una correlación clara entre seguridad (riesgo) versus auscultación. La obra hidráulica y de modo especial el embalse y su estructura de cierre están muy directamente influenciadas por condiciones naturales de acciones, materiales y tiempo, tres elementos sometidos a un conocimiento imperfecto por parte del ingeniero e incursos en un proceso "erosivo" que tiende a la recuperación de las condiciones naturales.

La auscultación pretende establecer modelos de comportamiento, es decir, una interpretación de la realidad que, como destaca la filosofía clásica, no es la propia realidad, al igual que el lenguaje no pasa de ser sino una interpretación de los hechos, supuesto que como dice Wittgenstein, el mundo es todo lo que acontece, el conjunto de los hechos atómicos.

Se intenta destacar la necesidad que tiene el hombre de discretizar el análisis del riesgo, para plantearlo no de forma conjunta e integral, sino como riesgo de comportamiento inadecuado de

esta forma, la auscultación no da respuesta directa sobre la seguridad de la presa, sino sobre el riesgo de que se produzcan determinados efectos no deseables en una parte de la misma. Aspecto fundamental, bien que complementario, es analizar como estos efectos no deseables afectan el conjunto de la obra.

Concretando el problema que nos ocupa, se analiza la influencia mútua entre la líneas de filtración, interpretadas a través de los indicadores de caudales y subpresiones y el estado de la deformación, con vistas a visualizar el riesgo de rotura hidráulica.

Esta interrelación es fácilmente reconocible en materiales deformables y poco permeables, donde la variación tensional que supone el ciclo de llenado y vaciado y el ciclo térmico entraña una modificación importante, apreciable al menos, de la permeabilidad. En estas circunstancias tenemos tres elementos claramente afectados: núcleos de presas de materiales sueltos; cimentación de presas de materiales sueltos y cimentación de presas de fábrica.

La presente investigación se refiere a cimentaciones rocosas de presas de fábrica, preferentemente presas arco, con una gama amplia de variación en el estado tensional transmitido por la estructura del cimiento. Se han seleccionado cimentaciones poco permeables y poco deformables, fundamentalmente rocas ígneas y metamórficas no solubles: granitos, gneis, esquistos, cuarcitas y algunas areniscas, en el campo de las detríticas.

Los supuestos de permeabilidad preferentemente de fisura y no matricial son obvios y, tanto la permeabilidad como la deformabilidad presentan valores bajos en relación con rocas sueltas ó materiales limo- arcillosos, y sensiblemente mayores que la fábrica a que sirven de apoyo, de forma que es admisible suponer un cambio neto entre la fábrica y la cimentación.

No se han considerado rocas calcáreas, con permeabilidad aumentada por disolución, por tratarse en general de macizos competentes, con permeabilidad muy acusada localmente y poco sensible a variaciones del estado de carga.

El tratamiento general acordado por la práctica, a las cimentaciones del tipo de las consideradas es: drenaje, red piezométrica, inyecciones de consolidación poco profundas y eventualmente, pantalla de inyección profunda, aguas arriba.

Las rocas poco permeables y deformables, como lo serán las margas, arcillas y algunas formaciones volcánicas de tipo aglomerado, no entran en esta exposición, al no ser cimentación habitual en presas arco.

III.-METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESUMEN DE CONTENIDOS DE LOS ANEJOS A, B, C Y D PRESENTADOS EN LOS TOMOS II Y III

Para lograr la aproximación a un "modelo determinista" que relaciona las modificaciones en la red de filtración, con los estados de deformación del cemento, se han seguido una serie de fases sucesivas con objeto de conocer la realidad física observable por la auscultación

III.-METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESUMEN DE CONTENIDOS DE LOS ANEJOS A, B, C Y D, PRESENTADOS EN LOS TOMOS II Y III

La auscultación hidráulica define las formas de filtración, con la precisión que sólo puede obtenerse de la sensibilidad del agua para buscar los caminos más fáciles de penetración a través de discontinuidades. La auscultación deformacional del cemento es un indicador de menor precisión, por cuanto los datos disponibles necesitan una interpretación indirecta a través de modelos intermedios, siendo su colaboración necesaria para cuantificar y comparar los efectos detectados por el agua. El presente estudio incluye cuatro anejos cuyos contenidos y objetivos básicos, se relacionan:

Anejo A: Estudio de la auscultación hidráulica y deformacional de presas bóveda u de gravedad, durante períodos de tiempo que incluyan variaciones de embalse u estados térmicos muy repetidos y posteriores a la puesta en carga inicial

III.- METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESUMEN DE CONTENIDOS DE LOS ANEJOS A, B, C Y D PRESENTADOS EN LOS TOMOS II Y III

Para lograr la aproximación a un "modelo determinista" que relaciona las modificaciones en la red de filtración, con los estados de deformación del cimiento, se han seguido una serie de fases sucesivas con objeto de conocer la realidad física observable por la auscultación hidráulica y conectarla con las leyes y formas teóricas de relación deformabilidad-conductividad hidráulica, aceptadas en la práctica de la modelización matemática.

La auscultación hidráulica define las formas de filtración, con la precisión que sólo puede obtenerse de la sensibilidad del agua para buscar los caminos más fáciles de penetración a través de discontinuidades. La auscultación deformacional del cimiento es un indicador de menor precisión, por cuanto los datos disponibles necesitan una interpretación indirecta a través de modelos intermedios, siendo su colaboración necesaria para cuantificar y comparar los efectos detectados por el agua. El presente estudio incluye cuatro anejos cuyos contenidos y objetivos básicos, se relacionan:

Anejo A: Estudio de la auscultación hidráulica y deformacional de presas bóveda y de gravedad, durante períodos de tiempo que incluyen variaciones de embalse y estados térmicos muy repetidos y posteriores a la puesta en carga inicial

El objetivo de este anejo es, resumir e interpretar los datos proporcionados por la auscultación hidráulica en presas de distintas tipologías y cimientos, reconociendo los factores de mayor influencia y generalización que afectan a la filtración en un macizo rocoso sometido a acciones externas variables.

Anejo B: Modelos simples de análisis físico-matemático de la filtración a través de macizos rocosos.

Constituye en resumen, un "estado de conocimiento". Su objetivo es la exposición de distintos modelos teóricos de: "interpretación de las redes de filtración e influencia de las heterogeneidades propias e inducidas en el medio", destacando preferentemente en él los aspectos que se han de modelizar, tal es la variación de conductividad hidráulica por efectos de deformación.

Anejo C: Planteamiento de las hipótesis básicas para la definición de un modelo determinista.

El objetivo de este anejo consiste en definir las hipótesis más sencillas y generalizables, con validez contrastada en las observaciones contenidas en el Anejo A; de tal forma que, con un número de datos escasos y habitualmente conocidos se puedan valorar los efectos de cambio en la conductividad hidráulica bajo efecto tensional. Se aplica

básicamente el modelo a diversos indicadores de la auscultación hidráulica de las presas elegidas.

En el Anexo A (Tomo II), se resume el análisis de la
Anejo D: Formulación y forma de aplicación del modelo. Análisis y
básicas, y valoración de los resultados obtenidos en la presa de Almendra

que permiten una mayor generalización de las condiciones de filtración deducidas. El objetivo de este anejo es el contraste cuantificado de las hipótesis básicas de planteamiento del modelo y la definición de los datos necesarios para aplicar una línea de auscultación hidráulica determinista, que sirva para obtener criterios de valoración del riesgo de determinado "mal-comportamiento" y colabore en el estudio de la filtración a través de medios rocosos discontinuos. Se inicia una vía de investigación del comportamiento reológico del macizo.

-Presa de EUME - Bóveda de 103 ms de altura, en esquistos.

-Presa de LAS PORTAS - Bóveda de 141 ms de altura, en cuarcitas y esquistos.

-Presa de CERNADILLA - Presa de gravedad con altura sobre cimientos de 58 ms, en esquistos.

-Presa de VILASOUDO - Presa de gravedad con altura sobre cimientos de 69 ms, en gneis.

III.1.- RESUMEN DEL ESTUDIO DE AUSCULTACION HIDRAULICA Y DE FORMACIONAL DE LAS PRESAS CONTENIDAS EN EL ANEJO A

En el Anejo A (Tomo II), se pormenoriza el análisis de la auscultación hidráulica en siete presas que han sido tomadas como básicas, complementándose, con la aportación de datos en otras presas que permiten una mayor generalización de las condiciones de filtración deducidas. Las presas tomadas como básicas son:

-Presa de ALBARELLOS.- Bóveda de 90 ms de altura, cimentada en granitos y esquistos.

-Presa de SANTA EULALIA.- Bóveda de 74 ms de altura, en cuarcitas y esquistos.

-Presa de BELESAR.- Bóveda de 132 ms de altura, en granitos.

-Presa de EUME.- Bóveda de 103 ms de altura, en esquistos.

-Presa de LAS PORTAS.- Bóveda de 141 ms de altura, en cuarcitas y esquistos.

-Presa de CERNADILLA.- Presa de gravedad con altura sobre cimientos de 58 ms, en esquistos.

-Presa de VILASOUTO.- Presa de gravedad con altura sobre cimientos de 69 ms, en gneis.

III.1.1.- Resumen del estudio de auscultación hidráulica y
deformacional de la presa Albarellos (Anejo A.
Epígrafe A.3. Págs. 10 a 132. Cuadros 3.I a 3.VI y
Figuras 3.1 a 3.36)

La Presa de Albarellos en explotación desde el año 1973,
constituye un ejemplo tipo de bóveda delgada cimentada en terreno

III.1.1.- PRESA DE ALBARELLOS
impalpable y poco deformable. En su cimentación, especialmente
en 20 ms de profundidad se disponen las soluciones acordadas por la
práctica: "pantalla de impermeabilización y drenaje desde la galería
perimetral de contorno".

Los datos de auscultación hidráulica deformacional que han sido
analizados se refieren a un amplio periodo de tiempo que abarca los años
74-83.

La figura 1 sintetiza sus características geométricas, definidas
con exactitud en las figuras 3.1(a,b,c) del epígrafe A.3. (Págs. 16, 17 y 18).

III.1.1.- Resumen del estudio de auscultación hidráulica y deformacional de la presa Albarellos (Anejo A. Epígrafe A.3. Págs. 10 a 132. Cuadros 3.I a 3.VI y Figuras 3.1 a 3.36)

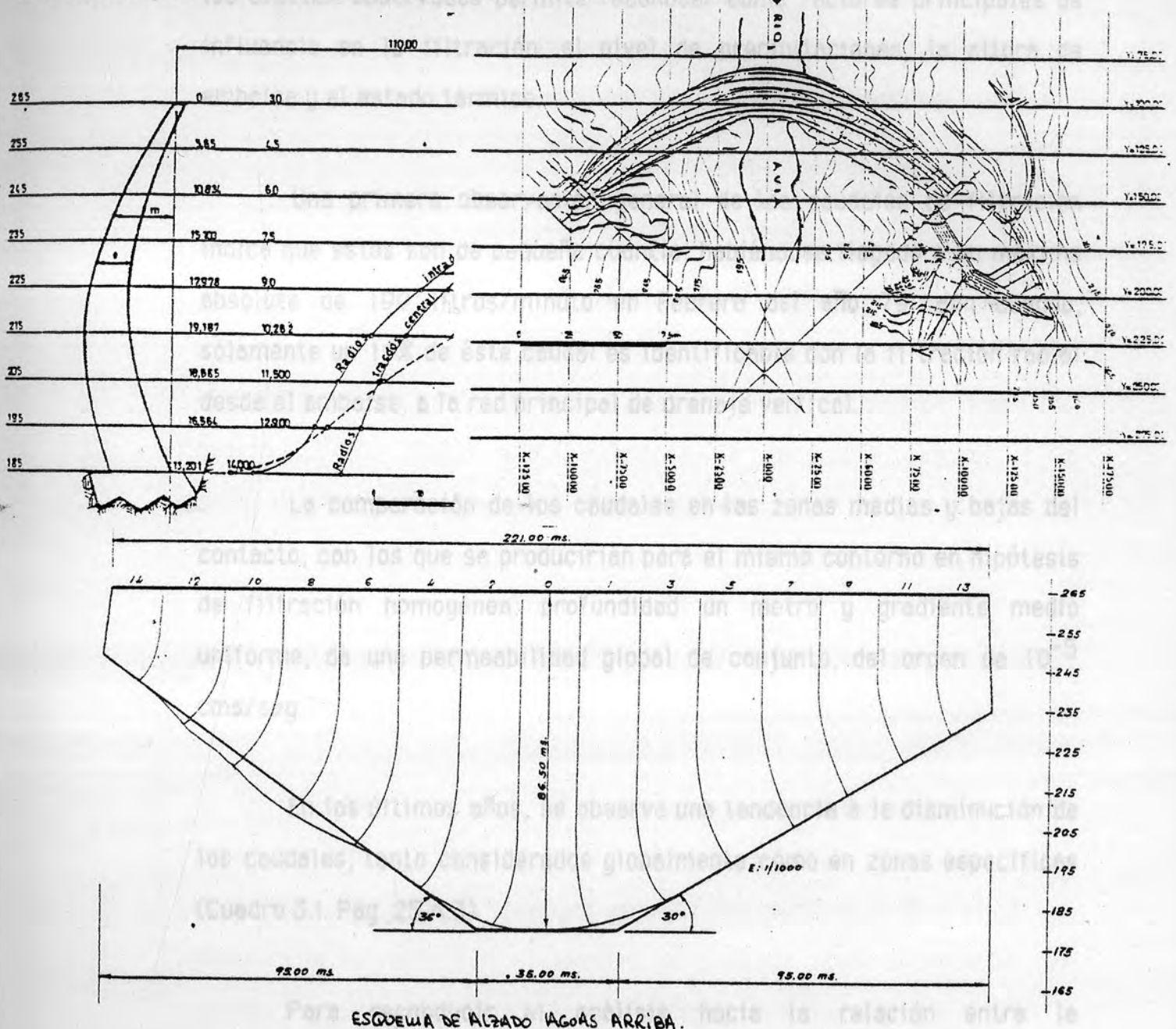
La Presa de Albarellos en explotación desde el año 1973, constituye un ejemplo tipo de bóveda delgada cimentada en terreno impermeable y poco deformable; en su cimiento consolidado inicialmente en 20 ms de profundidad se disponen las soluciones acordadas por la práctica: "pantalla de impermeabilización y drenaje desde la galería perimetral de contorno".

Los datos de auscultación hidráulica deformacional que han sido analizados se refieren a un amplio período de tiempo que abarca los años 74-83.

La figura 1 sintetiza sus características geométricas, definidas con exactitud en las figuras 3.1(a,b,c) del epígrafe A.3. (Págs. 16,17 y 18).

FIGURA 1.- Presa de Ribarells. Características geométricas.

SECCIÓN DE LA MÉNSULA CENTRAL DE LA PRESA PLANTA GENERAL DE LA PRESA



ESQUEMA DE ALZADO AGUAS ARRIBA.

FIGURA 1.- Presa de Albarelos. Características geométricas.

La profusión de datos presentados y la sistemática repetición de los efectos observados permite reconocer como factores principales de influencia en la filtración: el nivel de precipitaciones, la altura de embalse y el estado térmico.

Una primera observación general de los caudales de filtración indica que estos son de pequeña cuantía, habiéndose llegado a un máximo absoluto de 190 litros/minuto en Febrero del año 79, aún cuando, sólamente un 10% de éste caudal es identificable con la filtración radial desde el embalse, a la red principal de drenaje vertical.

La comparación de los caudales en las zonas medias y bajas del contacto, con los que se producirían para el mismo contorno en hipótesis de filtración homogénea, profundidad un metro y gradiente medio uniforme, da una permeabilidad global de conjunto, del orden de 10^{-5} cms/seg.

En los últimos años, se observa una tendencia a la disminución de los caudales, tanto considerados globalmente como en zonas específicas (Cuadro 3.1. Pág. 25.A.3).

Para reconducir el análisis hacia la relación entre la conductividad hidráulica del cimiento y su estado de deformación se estudian los caudales en zonas profundas de aparente homogeneidad, aisladas de la influencia de las aportaciones de ladera debidas a los

niveles freáticos remanentes y a las filtraciones directas del agua de lluvia. La eliminación del nivel de precipitaciones como factor de influencia en la filtración reduce la dependencia de los caudales a los niveles de embalse combinados con distintos estados térmicos.

Se constata, en estas zonas, la reducción de los efectos de asimetría global en ambas márgenes que tienen su origen en heterogeneidades inducidas (drenaje subhorizontal y tunel de desvío en margen derecha figura 3.3, página 22.A.3) ó en diferencias estructurales. (Estribo izquierdo y muro de acompañamiento margen izquierda figura 3.4, página 23.A.3); Sigue manifestándose la tendencia general a la modificación de caudales en el tiempo y la variación de sus valores por efecto de deformación térmica-estructural de la presa que se traduce en estados tensionales añadidos a los de carga hidráulica. Así, los caudales de invierno serán siempre superiores a los de verano para las mismas condiciones de embalse.

A pesar de la uniformidad de disposición del drenaje, en zonas bajas de ladera y cuenco con aparente homogeneidad, coexisten drenes específicos que aportan la mayor parte de los caudales de filtración, con drenes que no manifiestan caudales para ningún nivel de embalse y/ó estado térmico combinado. En los drenes que se significan por la aportación continua de caudales en clara dependencia con la cota embalse, se dá la tendencia común a variaciones del caudal muchos mayores para niveles altos de embalse y se configura así un tipo de relación $q-H$

El análisis general de los piezómetros disponibles diferencia al sistemáticamente creciente con respecto a una relación lineal. La apreciación de este efecto, se marca definitivamente a partir de una cota de embalse umbral que supone para los drenes analizados una carga de agua correspondiente al 80% de la máxima posible.

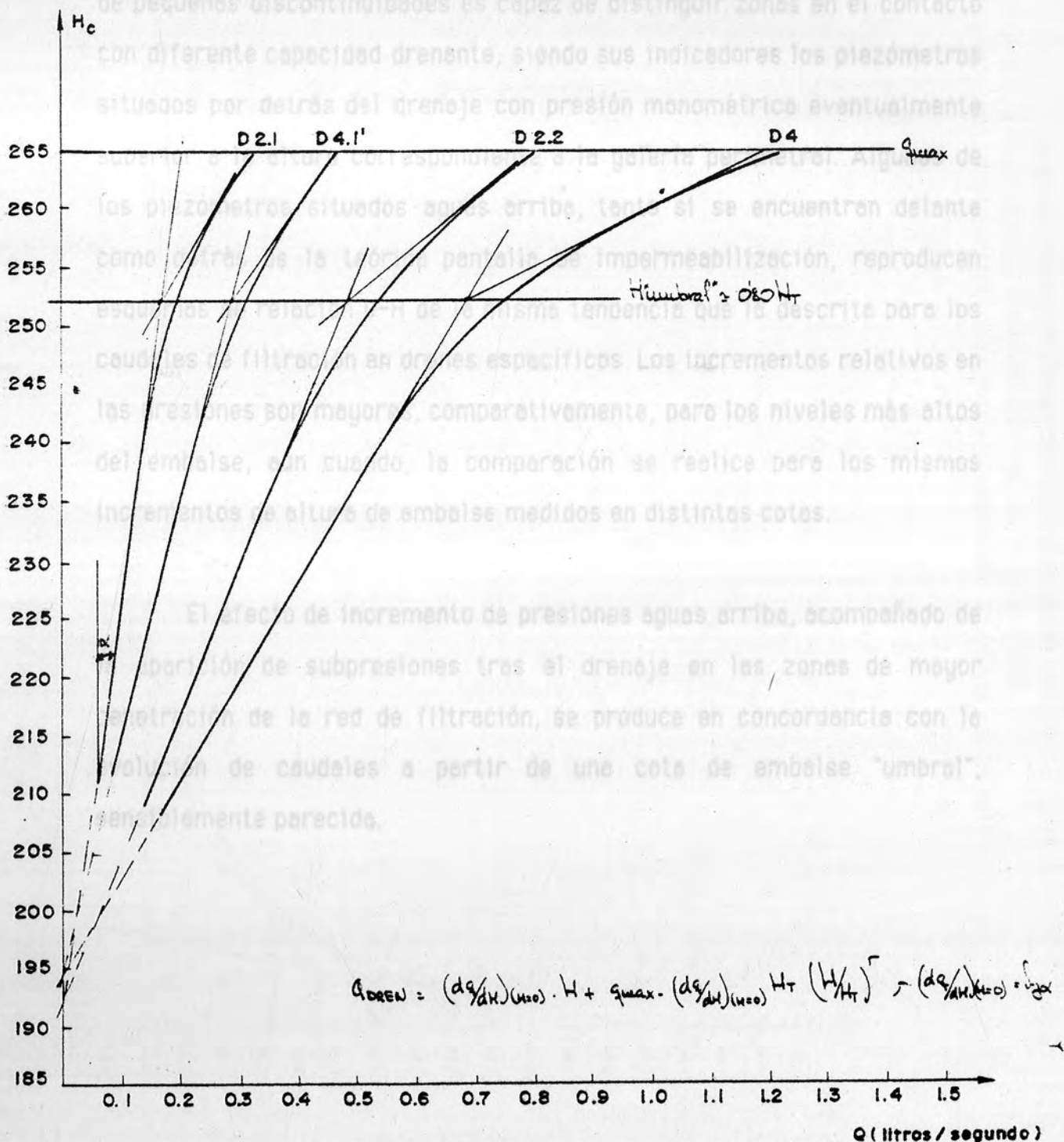
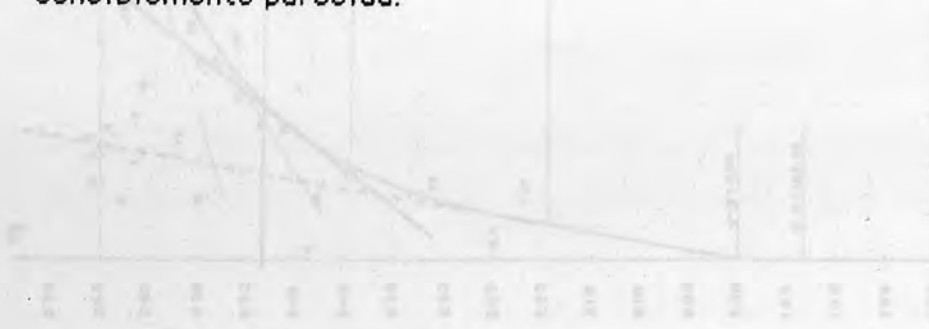


FIGURA 2.- Presa de Albareillos. Tendencia progresiva al crecimiento de la relación q/H con la altura de embalse, en zonas bajas de ladera.

El análisis general de los piezómetros disponibles diferencia el comportamiento del cimiento a la subpresión tanto en zonas específicas del perfil longitudinal como en cada uno de los perfiles transversales: en el perfil longitudinal de la presa, la sensibilidad del agua a la apreciación de pequeñas discontinuidades es capaz de distinguir zonas en el contacto con diferente capacidad drenante, siendo sus indicadores los piezómetros situados por detrás del drenaje con presión manométrica eventualmente superior a la altura correspondiente a la galería perimetral. Algunos de los piezómetros situados aguas arriba, tanto si se encuentran delante como detrás de la teórica pantalla de impermeabilización, reproducen esquemas de relación $u-H$ de la misma tendencia que la descrita para los caudales de filtración en drenes específicos. Los incrementos relativos en las presiones son mayores, comparativamente, para los niveles más altos del embalse, aún cuando, la comparación se realice para los mismos incrementos de altura de embalse medidos en distintas cotas.

El efecto de incremento de presiones aguas arriba, acompañado de la aparición de subpresiones tras el drenaje en las zonas de mayor penetración de la red de filtración, se produce en concordancia con la evolución de caudales a partir de una cota de embalse "umbral", sensiblemente parecida.



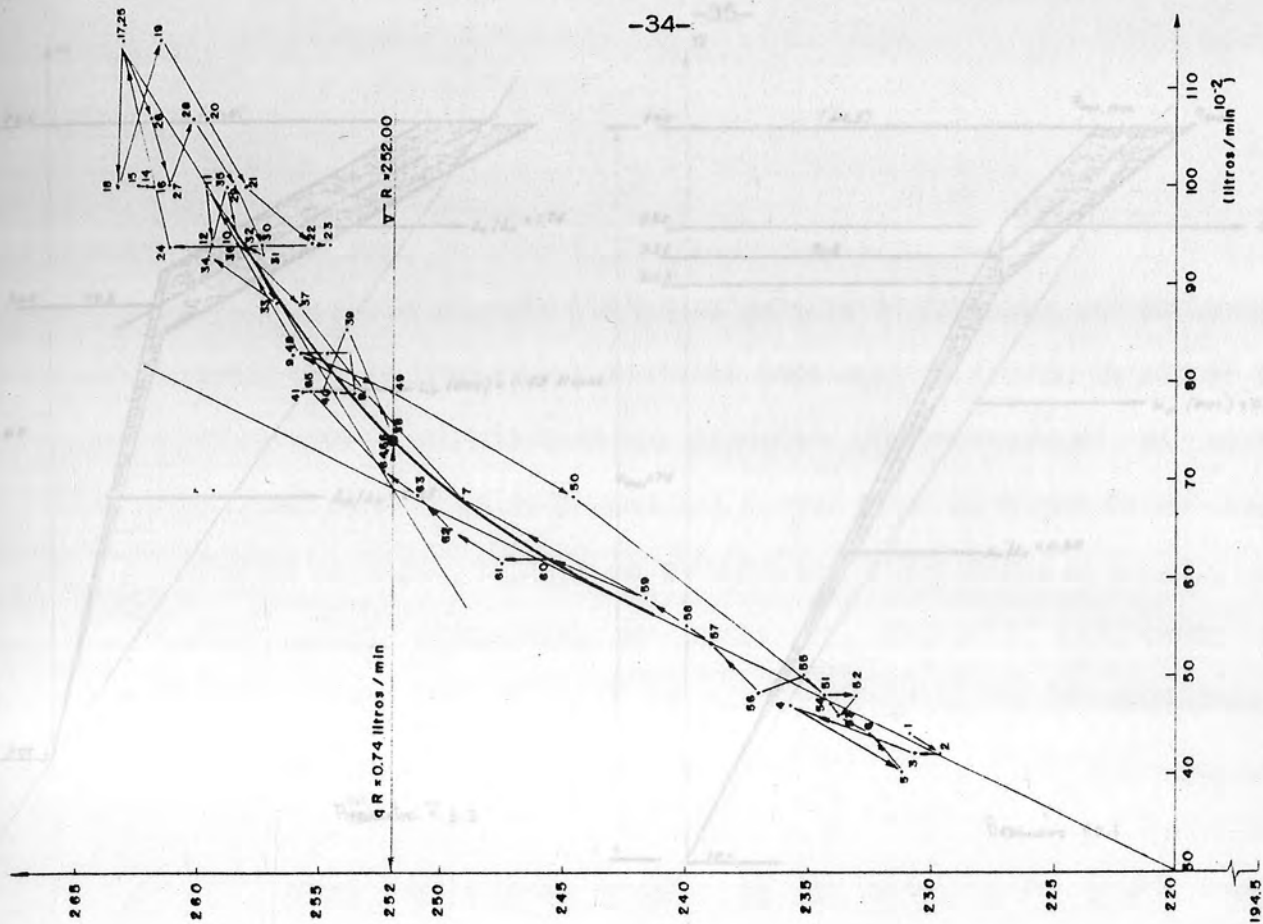


FIGURA 3.- Presa de Albarellos. Curvas características de las relaciones $u(H)$, $q(H)$ a través de los indicadores: (Piezómetro P-3 y Dren P-4), en los bloques 3 y 2 colaterales al bloque central.

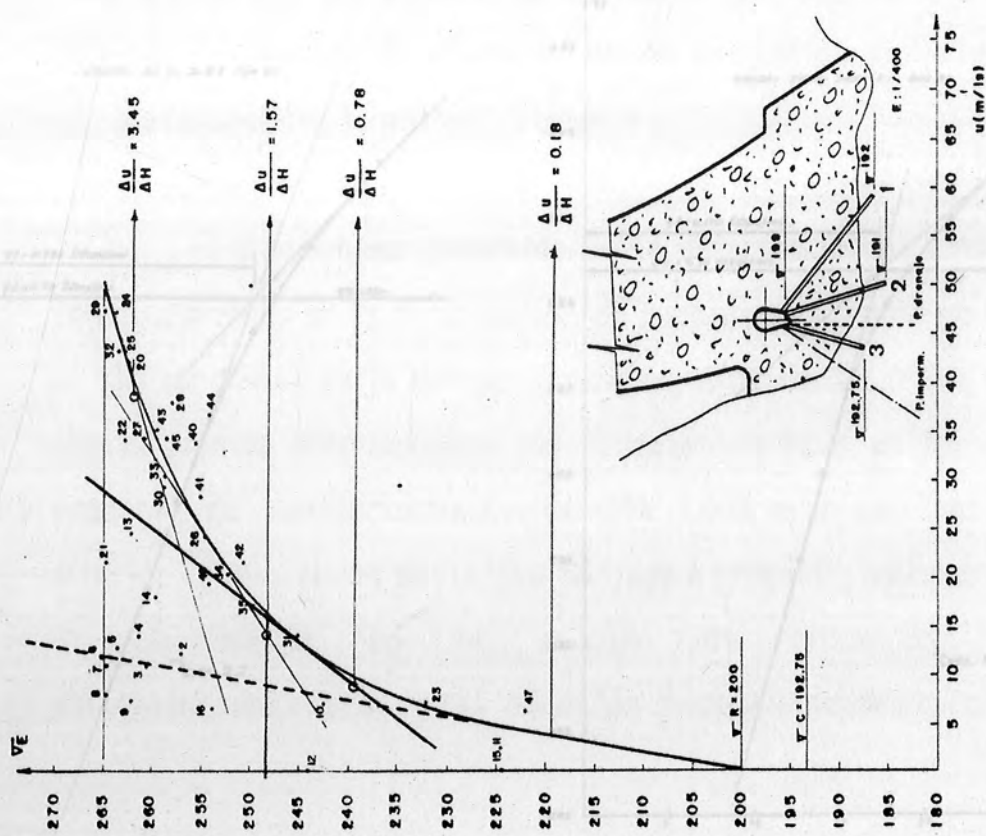


FIGURA 4.- Presa de Ribarells. Curvas características de las relaciones $u(H)$ y $q(H)$ en algunos indicadores de las zonas preferentes de filtración con representación de sus husos de definición.

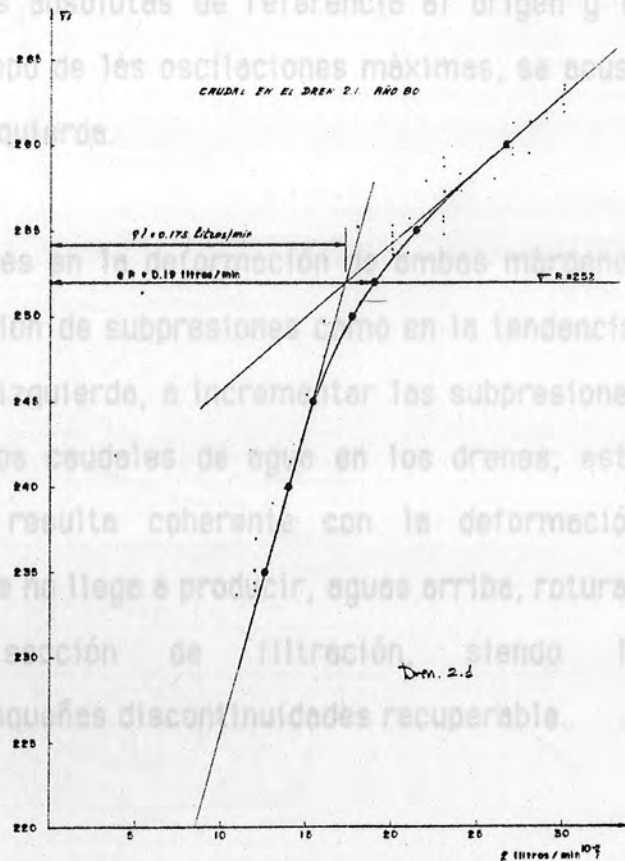
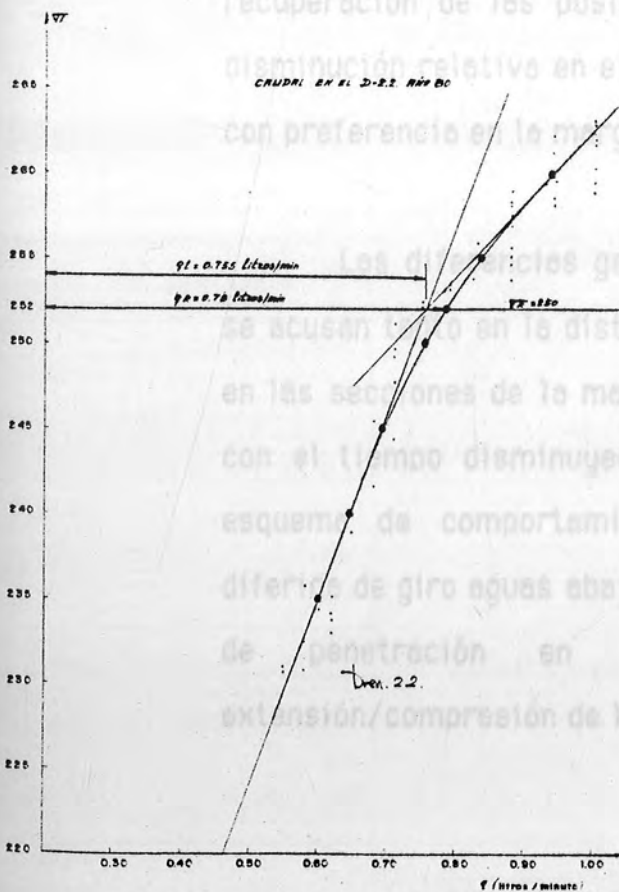
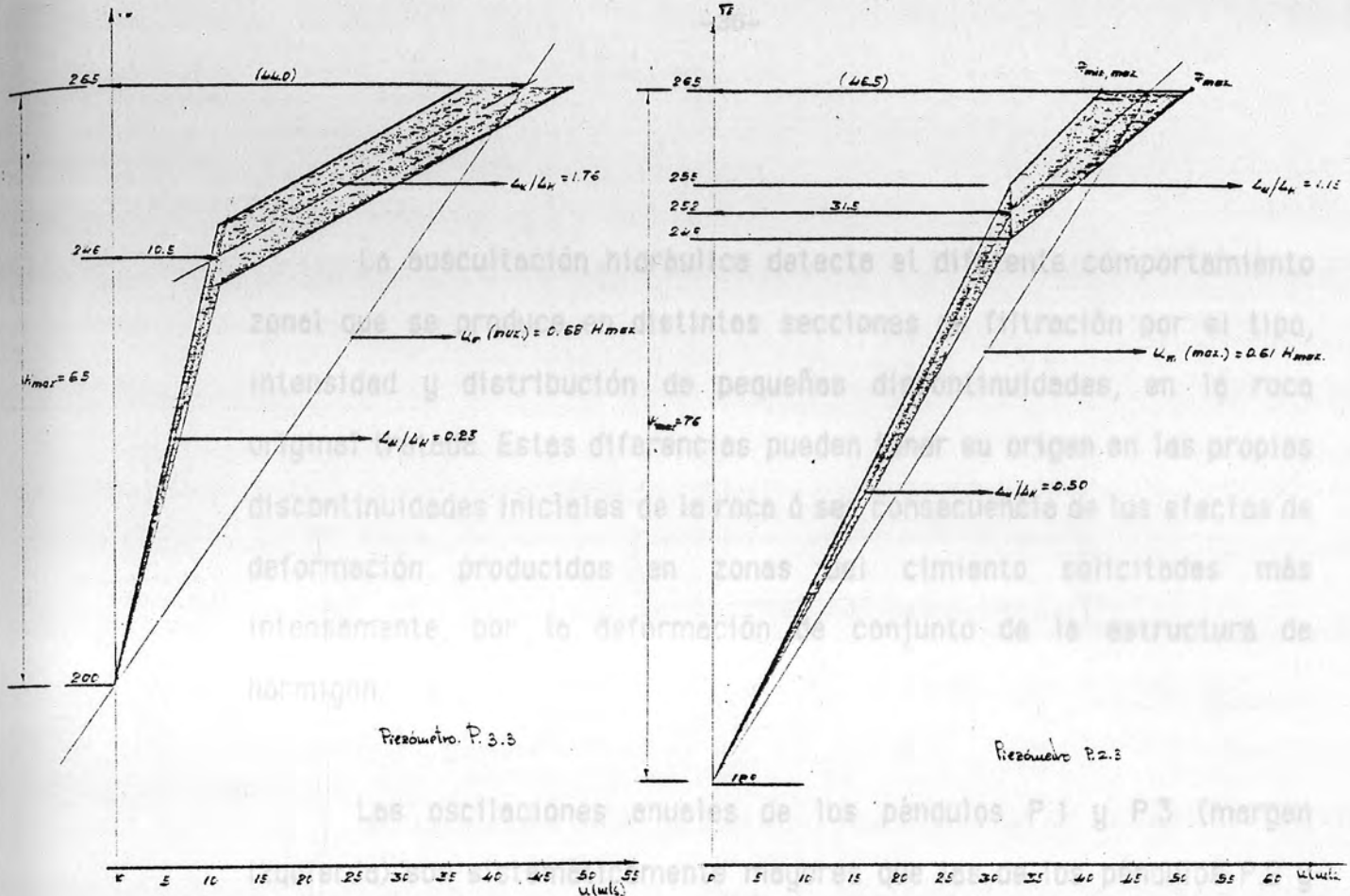
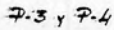


FIGURA 4.- Presa de Albarellos. Curvas características de las relaciones $u(x,H)$ y $q(H)$ en algunos indicadores de las zonas preferentes de filtración con representación de sus husos de definición.

La auscultación hidráulica detecta el diferente comportamiento zonal que se produce en distintas secciones de filtración por el tipo, intensidad y distribución de pequeñas discontinuidades, en la roca original tratada. Estas diferencias pueden tener su origen en las propias discontinuidades iniciales de la roca ó ser consecuencia de los efectos de deformación producidos en zonas del cimiento solicitadas más intensamente, por la deformación de conjunto de la estructura de hormigón.

Las oscilaciones anuales de los péndulos P.1 y P.3 (margen izquierda) son sistemáticamente mayores que las de los péndulos P.2 y P.4 (margen derecha). De la misma manera que, los efectos de no recuperación de las posiciones absolutas de referencia al origen y la disminución relativa en el tiempo de las oscilaciones máximas, se acusa con preferencia en la margen izquierda.

Las diferencias generales en la deformación de ambos márgenes se acusan tanto en la distribución de subpresiones como en la tendencia, en las secciones de la margen izquierda, a incrementar las subpresiones con el tiempo disminuyendo los caudales de agua en los drenes; este esquema de comportamiento resulta coherente con la deformación diferida de giro aguas abajo, que no llega a producir, aguas arriba, roturas de penetración en la sección de filtración, siendo la extensión/compresión de las pequeñas discontinuidades recuperable.



AÑO 75 I.- Febrero $\nabla_E = 262$
 II.- Setiembre $\nabla_E = 205$
 $\theta(\text{péndulo } 3) = 4,1 \cdot 10^{-4}$
 $\theta(\text{péndulo } 4) = 3,1 \cdot 10^{-4}$

AÑO 83 III.- Enero-Mayo $\nabla_E = 260$
IV.- Octubre $\nabla_E = 210$
 $\theta(\text{péndulo } 3) = 3,4 \cdot 10^{-4}$
 $\theta(\text{péndulo } 4) = 2,3 \cdot 10^{-4}$

A) Indicación de la mayor deformabilidad de su margen izquierda (P-3) con respecto a la derecha (P-4).

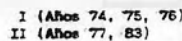
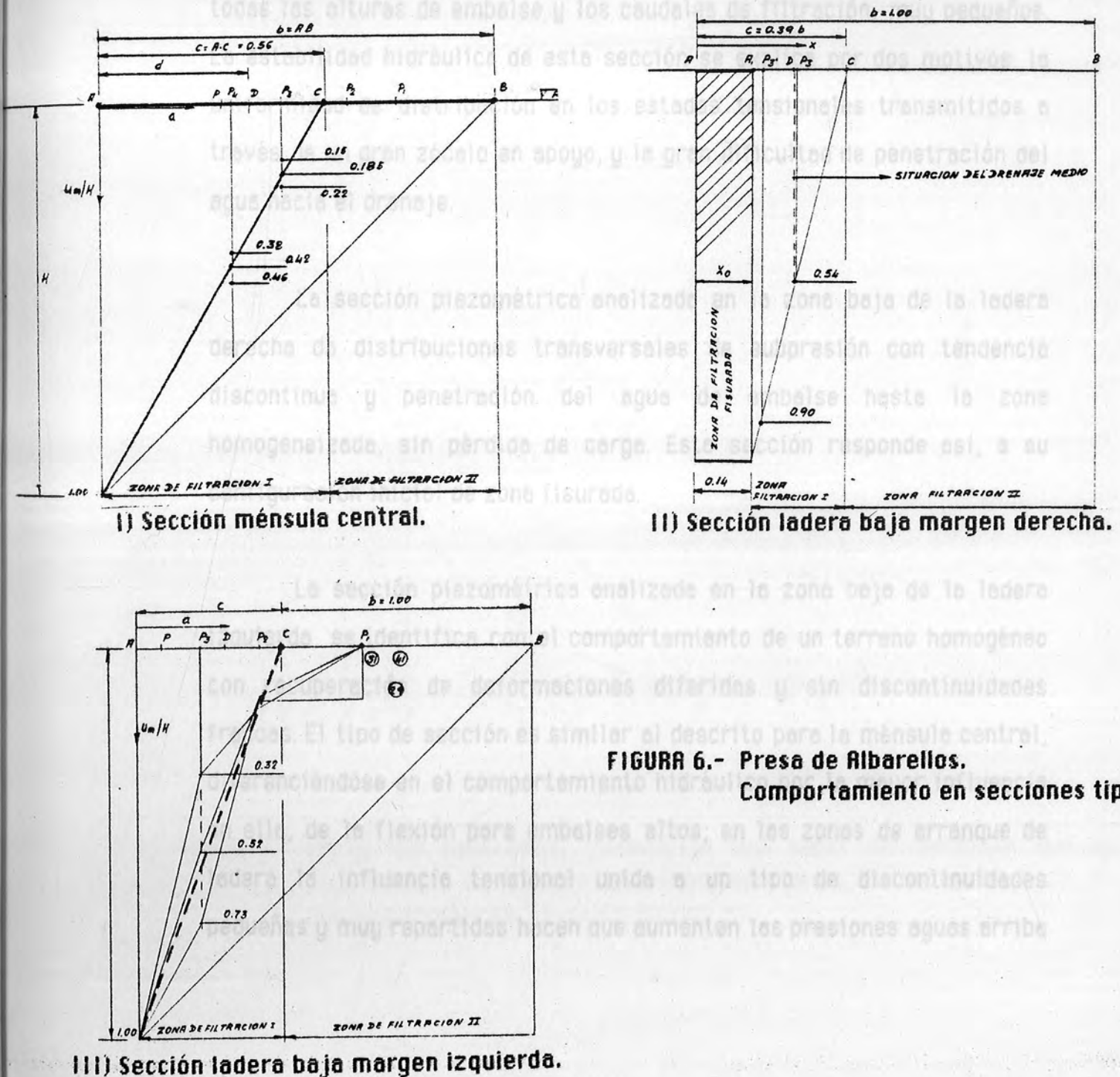


FIGURA 5.- Presa de Albarelos.

8) Incremento con el tiempo de las presiones aguas arriba y aguas abajo del drenaje en la margen izquierda. (Bloque 5).

En la Presa de Albarelos se han analizado tres secciones "tipo" con diferentes comportamientos hidráulicos. Los esquemas de filtración producidos en ellas son perfectamente coherentes con las distintas características generales de la roca en el emplazamiento y con las deformaciones observadas en los péndulos.



**FIGURA 6.- Presa de Albarelos.
Comportamiento en secciones tipo.**

La sección correspondiente a la ménsula central responde a su estructura de granito compacto e impermeable. Las inyecciones de consolidación y de pantalla configuran un medio de filtración muy homogeneizado, sin apreciable modificaciones de conductividad hidráulica bajo efecto tensional. Las distribuciones de subpresión son lineales para todas las alturas de embalse y los caudales de filtración, muy pequeños. La estabilidad hidráulica de esta sección se explica por dos motivos: la uniformidad de distribución en los estados tensionales transmitidos a través de un gran zócalo en apoyo, y la gran dificultad de penetración del agua hacia el drenaje.

La sección piezométrica analizada en la zona baja de la ladera derecha da distribuciones transversales de subpresión con tendencia discontinua y penetración del agua de embalse hasta la zona homogeneizada, sin pérdida de carga. Esta sección responde así, a su configuración inicial de zona fisurada.

La sección piezométrica analizada en la zona baja de la ladera izquierda, se identifica con el comportamiento de un terreno homogéneo con recuperación de deformaciones diferidas y sin discontinuidades francas. El tipo de sección es similar al descrito para la ménsula central, diferenciándose en el comportamiento hidráulico por la mayor influencia en ella, de la flexión para embalses altos; en las zonas de arranque de ladera la influencia tensional unida a un tipo de discontinuidades pequeñas y muy repartidas hacen que aumenten las presiones aguas arriba

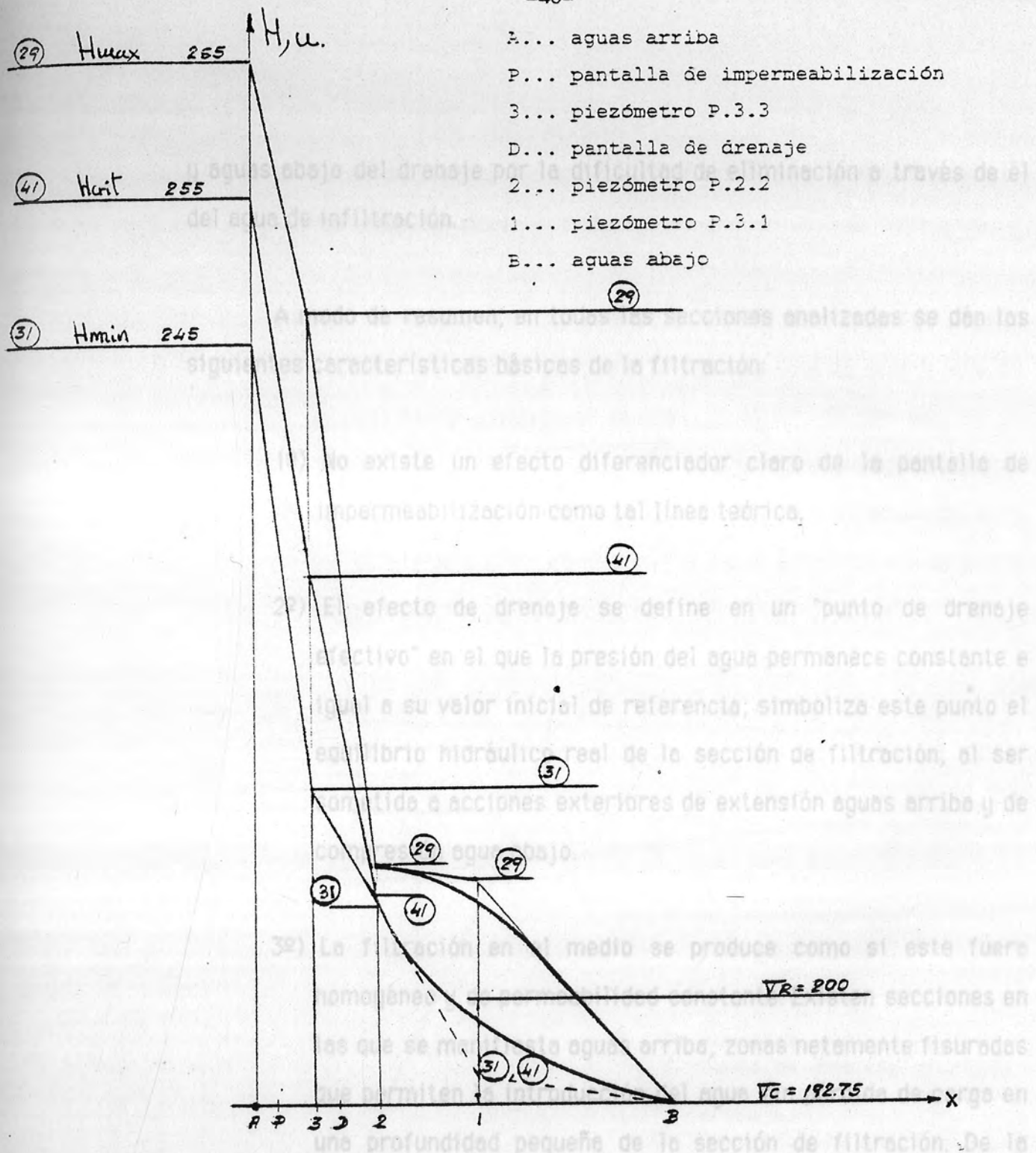


FIGURA 7.- Presa de Albarelos. Influencia del nivel de embalse en la distribución de subpresiones en secciones transversales de la margen izquierda. (Sección Bloque 3).

y aguas abajo del drenaje por la dificultad de eliminación a través de él del agua de infiltración.

A modo de resumen, en todas las secciones analizadas se dan las siguientes características básicas de la filtración:

- 1º) No existe un efecto diferenciador claro de la pantalla de impermeabilización como tal línea teórica.
- 2º) El efecto de drenaje se define en un "punto de drenaje efectivo" en el que la presión del agua permanece constante e igual a su valor inicial de referencia; simboliza este punto el equilibrio hidráulico real de la sección de filtración, al ser sometida a acciones exteriores de extensión aguas arriba y de compresión agua abajo.
- 3º) La filtración en el medio se produce como si este fuera homogéneo y de permeabilidad constante. Existen secciones en las que se manifiesta aguas arriba, zonas netamente fisuradas que permiten la introducción del agua sin pérdida de carga en una profundidad pequeña de la sección de filtración. De la misma manera existen, secciones en las que la dificultad de drenaje y la ausencia neta de fisuración aguas arriba reproduce un modelo de comportamiento hidráulico inestable, a partir de una altura de embalse umbral, identificándose,

estas zonas por su mayor deformabilidad y lentitud en la recuperación de deformaciones.

- 4º) En el punto de drenaje real se da una presión media equivalente, que es igual, de forma aproximada, a la media de la presión al considerar el drenaje abierto ó cerrado, en un "medio" de filtración, supuesto con permeabilidad constante. Se indica de esta forma la existencia de una filtración captada por el drenaje y otra que penetra hacia el pie de aguas abajo de la presa sin ser interceptada.

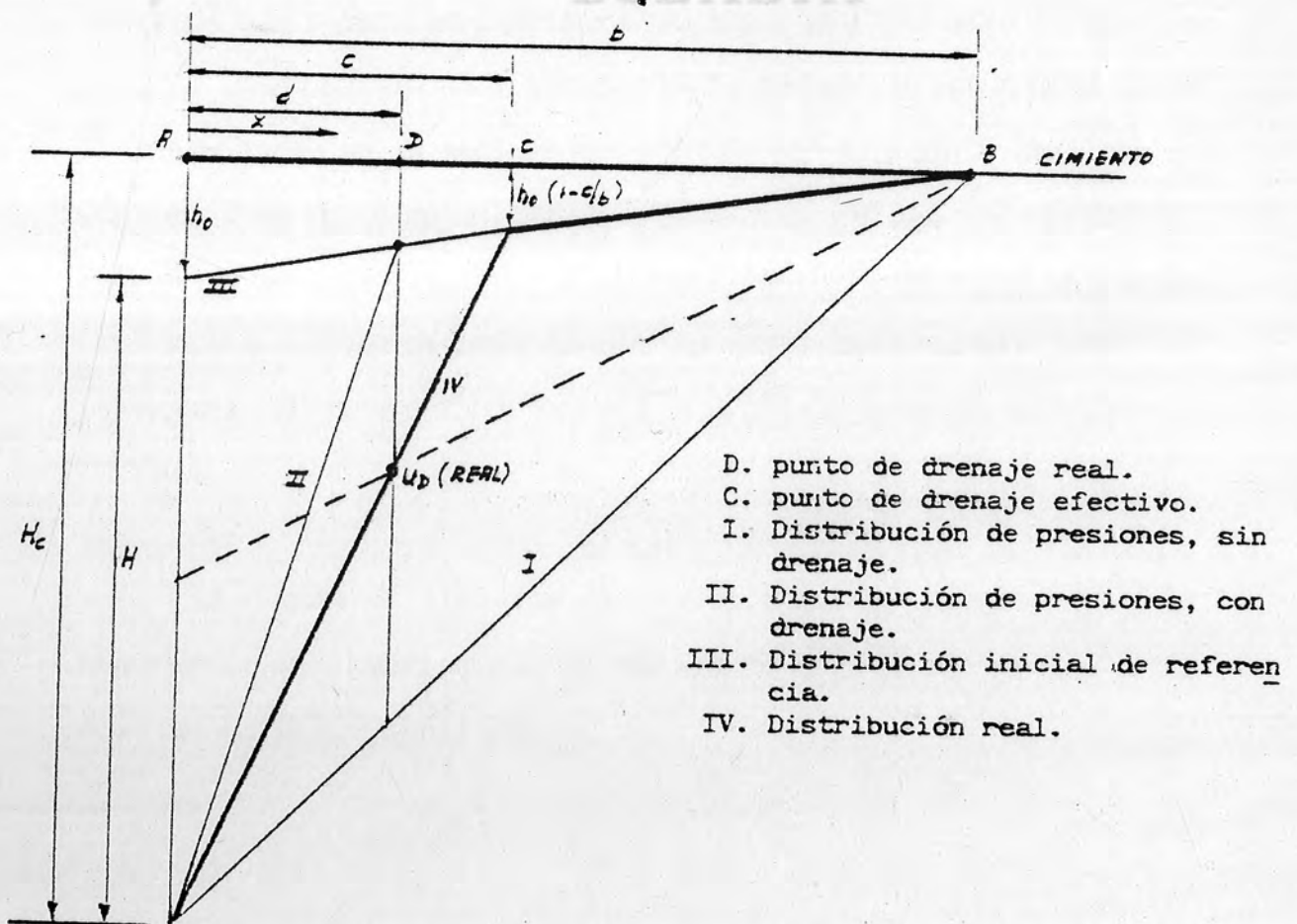


FIGURA 8.- Presa de Albarelos. Esquema general de subpresiones modelizado linealmente.

III.1.2.- Resumen de la auscultación hidráulica y deformacional
de la presa de Santa Eulalia. (Anejo A. Epígrafe A.4.
Páginas 1 a 72. Cuadros 4.I a 4.VIII y Figuras 4.1 a
4.20)

La Presa de Santa Eulalia construida en el año 1966, es una bóveda
simétrica de doble curvatura, con 141 mts de altura sobre cimientos y
emplazada en terrenos silúricos formados por capas de cuarcitas y
pizarras.

III.1.2.- PRESA DE SANTA EULALIA

La presa fué proyectada en forma especialmente esbelta y
orientada a un reparto muy uniforme de cargas en el cimiento a través de
su apoyo en zócalo sin junta perimetral. Su concepción estructural queda
"ejemplarizada" en la publicación editada por el Comité Nacional de
Grandes Presas, con el título "GRANDES PRESAS. EXPERIENCIAS
ESPAÑOLAS EN SU PROYECTO Y CONSTRUCCION 1976" en el que se dice en
referencia a la Presa de Santa Eulalia: "La tentación estructural conduce a
esbelteces casi insuperables. Es como si la era del hormigón alcanzase su
frontera".

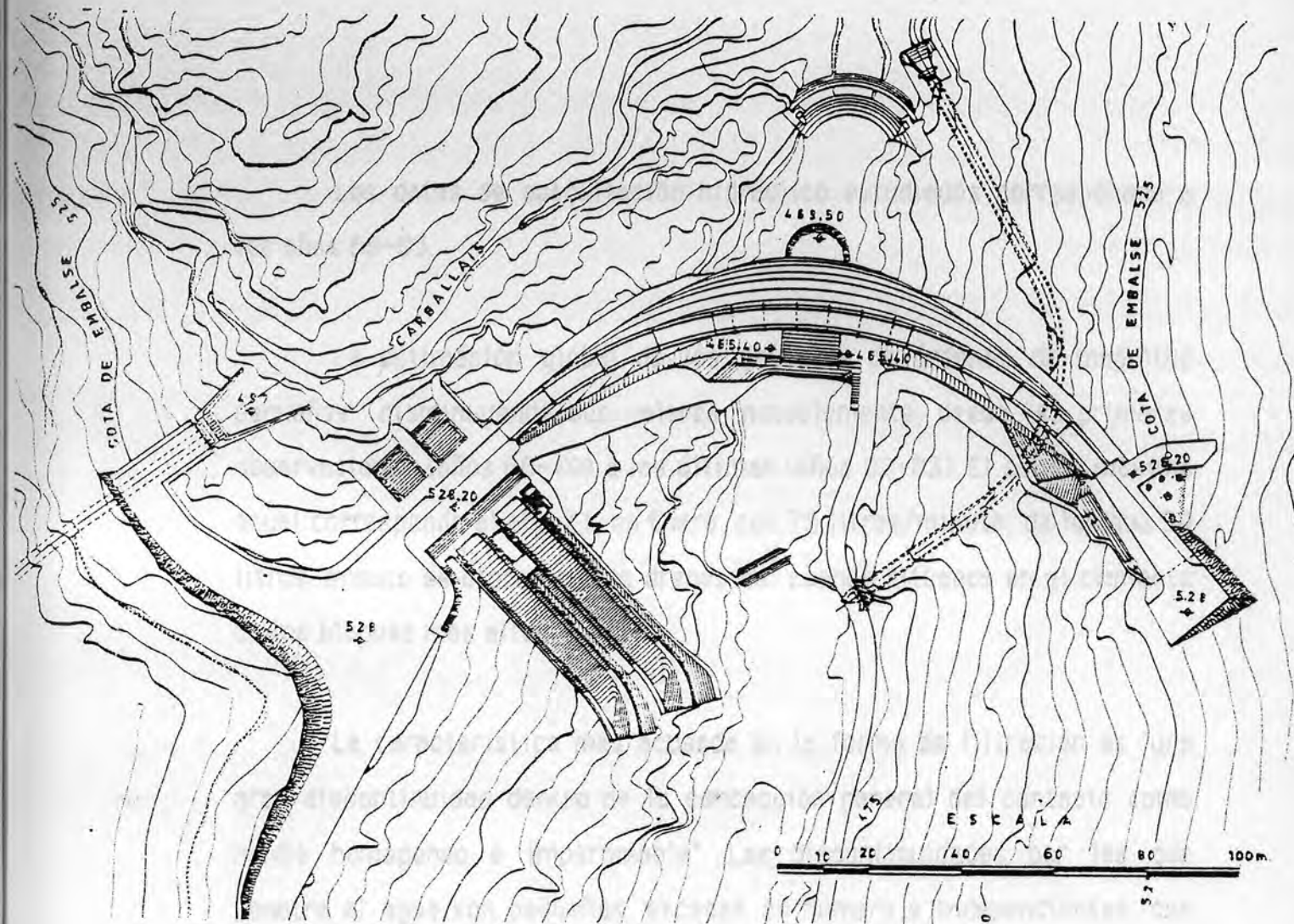
La figura 9 sintetiza las características geométricas más
importantes de la presa, que se definen con mayor precisión en el epígrafe
A.4.1 del Anejo A, Páginas 3-6.

III.1.2.- Resumen de la auscultación hidráulica y deformacional de la presa de Santa Eulalia. (Anejo A, Epígrafe A.4, Páginas 1 a 72. Cuadros 4.I a 4.VIII y Figuras 4.1 a 4.20).

La Presa de Santa Eulalia construida en el año 1966, es una bóveda simétrica de doble curvatura, con 141 mls de altura sobre cimientos y emplazada en terrenos silúricos formados por capas de cuarcitas y pizarras.

La presa fué proyectada con forma especialmente esbelta y orientada a un reparto muy uniforme de cargas en el cimiento a través de su apoyo en zócalo sin junta perimetral. Su concepción estructural queda "ejemplarizada" en la publicación editada por el Comité Nacional de Grandes Presas, con el título "GRANDES PRESAS. EXPERIENCIAS ESPAÑOLAS EN SU PROYECTO Y CONSTRUCCION 1976" en el que se dice en referencia a la Presa de Santa Eulalia: "La tentación estructural conduce a esbelteces casi insuperables. Es como si la era del hormigón alcanzase su frontera"

La figura 9 sintetiza las características geométricas más importantes de la presa, que se definen con mayor precisión en el epígrafe A.4.1 del Anejo A, Páginas 3-6.



Planta de la presa

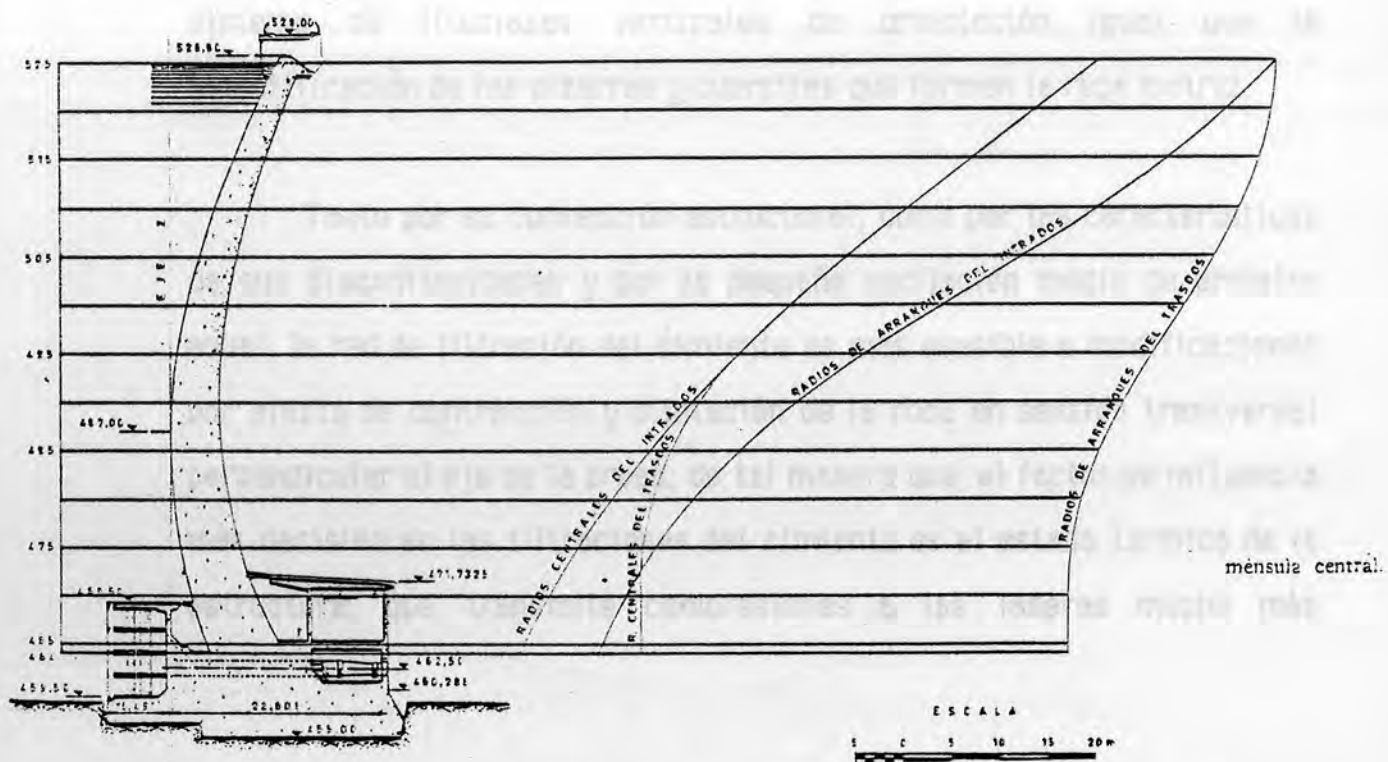


FIGURA 9.- Presa de Santa Eulalia. Características geométricas.

Los datos de auscultación hidráulica estudiados corresponden a los años 68-83.

La estimación global de los caudales da órdenes de magnitud pequeños disminuyendo sus valores, notablemente, desde las primeras observaciones (años 68-70) a las últimas (años 80-83). El caudal máximo anual corresponde al año 71, en Enero, con 76 litros/minuto, de los que 59 litros/minuto se aforan en los drenes del cuenco situados en el cimientto de los bloques más altos.

La característica más acusada en la forma de filtración es "una gran discontinuidad dentro de la concepción general del contacto como medio homogéneo e impermeable". Las discontinuidades por las que penetra el agua son pequeñas, escasas en número e independientes, con una dimensión predominante en sentido vertical que concuerda con el sistema de litoclasas verticales de orientación igual que la estratificación de los pizarras y cuarcitas que forman la roca matriz.

Tanto por su concepción estructural, como por las características de sus discontinuidades y por la pequeña oscilación media de embalse anual, la red de filtración del cimientto es más sensible a modificaciones por efecto de contracción y dilatación de la roca en sentido transversal perpendicular al eje de la presa; de tal manera que, el factor de influencia más decisivo en las filtraciones del cimientto es el estado térmico de la estructura, que transmite compresiones a las laderas mucho más

acusadas en épocas de estiaje por la dilatación impedida de los arcos según planos horizontales.

Son así observables caudales y estados de subpresión perfectamente diferenciados en verano y en invierno para las mismas alturas de embalse. (Ver cuadro de la página 15.A.4).

DIFERENCIA ESTACIONAL

- I.- Setiembre del 70; $V_E = 523,40$
 II.- Marzo del 70 $V_E = 522,90$

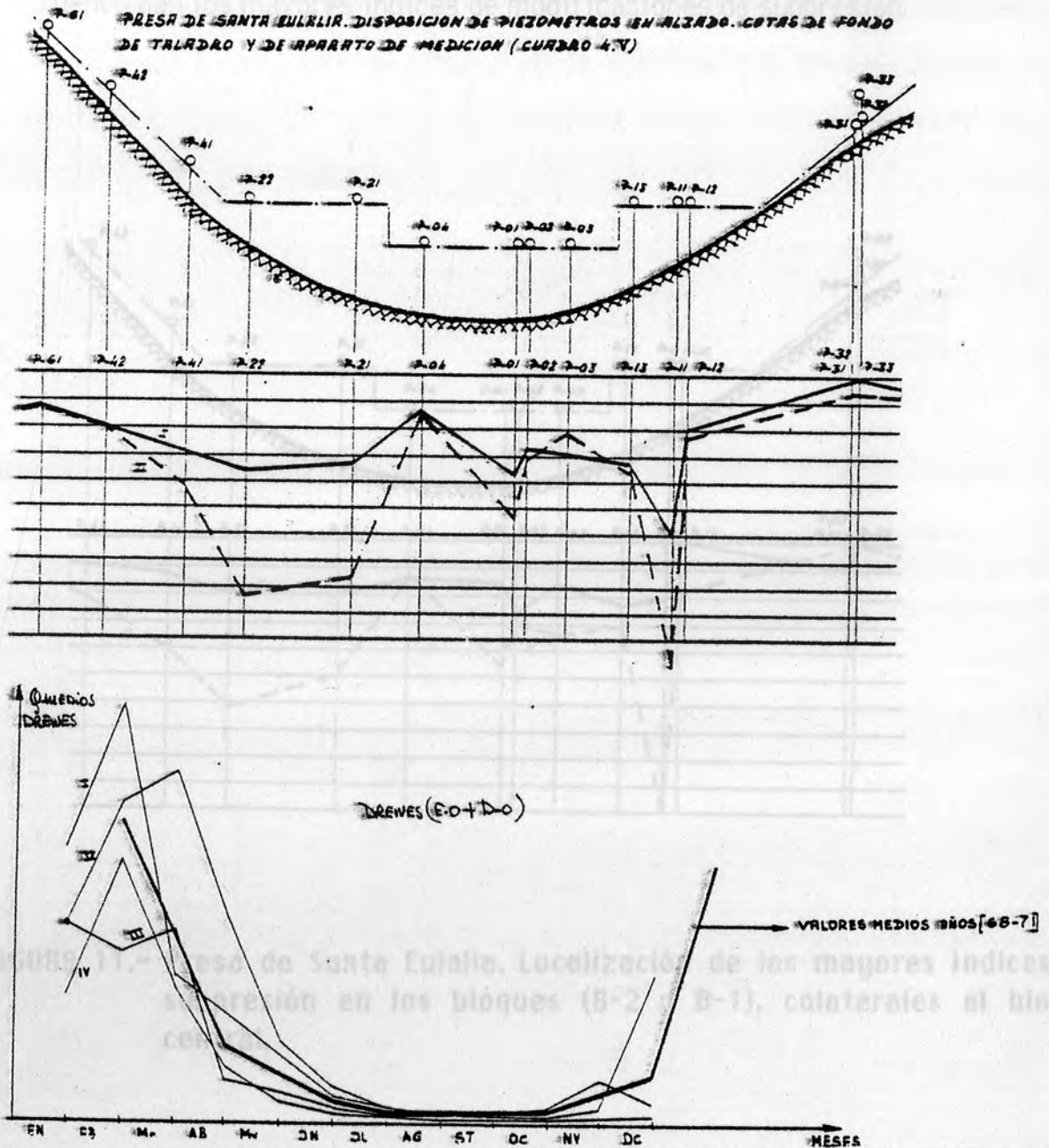


FIGURA 10.- Presa de Santa Eulalia. Diferencia de presiones y caudales por efecto estacional.

Los efectos de modificación de caudales y subpresiones, en el contacto total presa-cimiento, que se imputan a una tendencia general de la estructura a trabajar preferentemente como arco, en todos sus niveles, se acusan aún más en los arranques de ladera en el tercio inferior de la altura total de la presa sobre cimientos y es así como, sistemáticamente, y a lo largo de todo el período de observación, los bloques colaterales al cuenco dan los mayores índices de modificaciones de subpresión. *hacia el drenaje*, al tiempo que se equilibran las subpresiones en los distintos taladros y disminuye el valor del gradiente medio (pantallo-drenaje) en las secciones transversales.

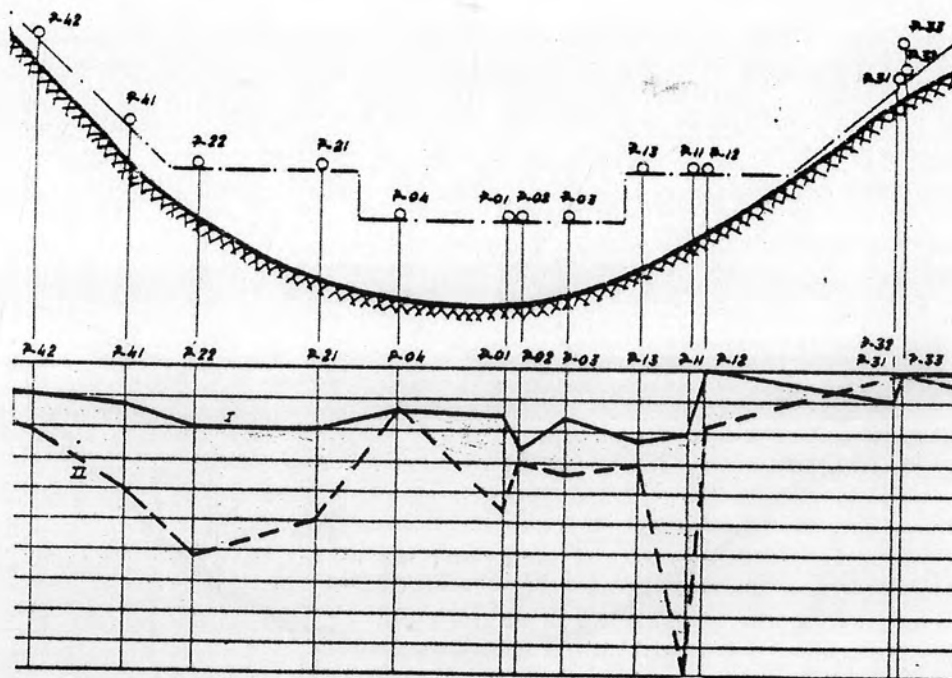


FIGURA 11.- Presa de Santa Eulalia. Localización de los mayores índices de subpresión en los bloques (B-2 y B-1), colaterales al bloque central.

En estos bloques altos, la distribución de subpresiones en la línea teórica del drenaje longitudinal, tiende a uniformarse con el tiempo, mientras que los caudales de filtración tienden a disminuir. Estos dos efectos simultáneos y notorios, se relacionan con la tendencia manifestadas por las mediciones geodésicas a un ligero desplazamiento de la presa en giro hacia aguas abajo que favorece la uniformidad de compresión en el pié de presa haciendo más uniforme el flujo hacia el drenaje, al tiempo que se equilibran la subpresiones en los distintos taladros y disminuye el valor del gradiente medio (pantalla-drenaje) en las secciones transversales.

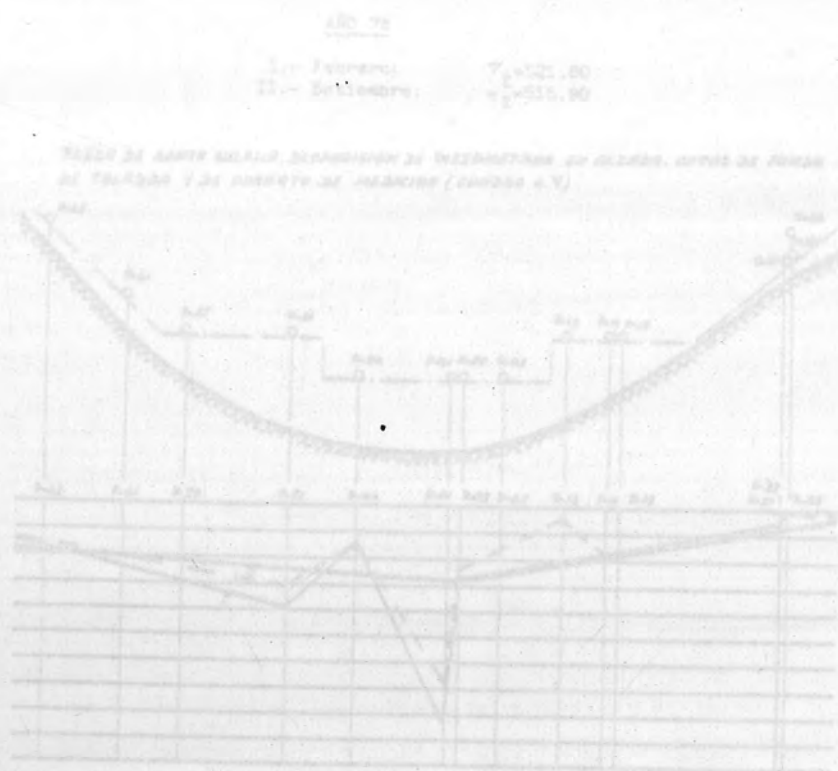
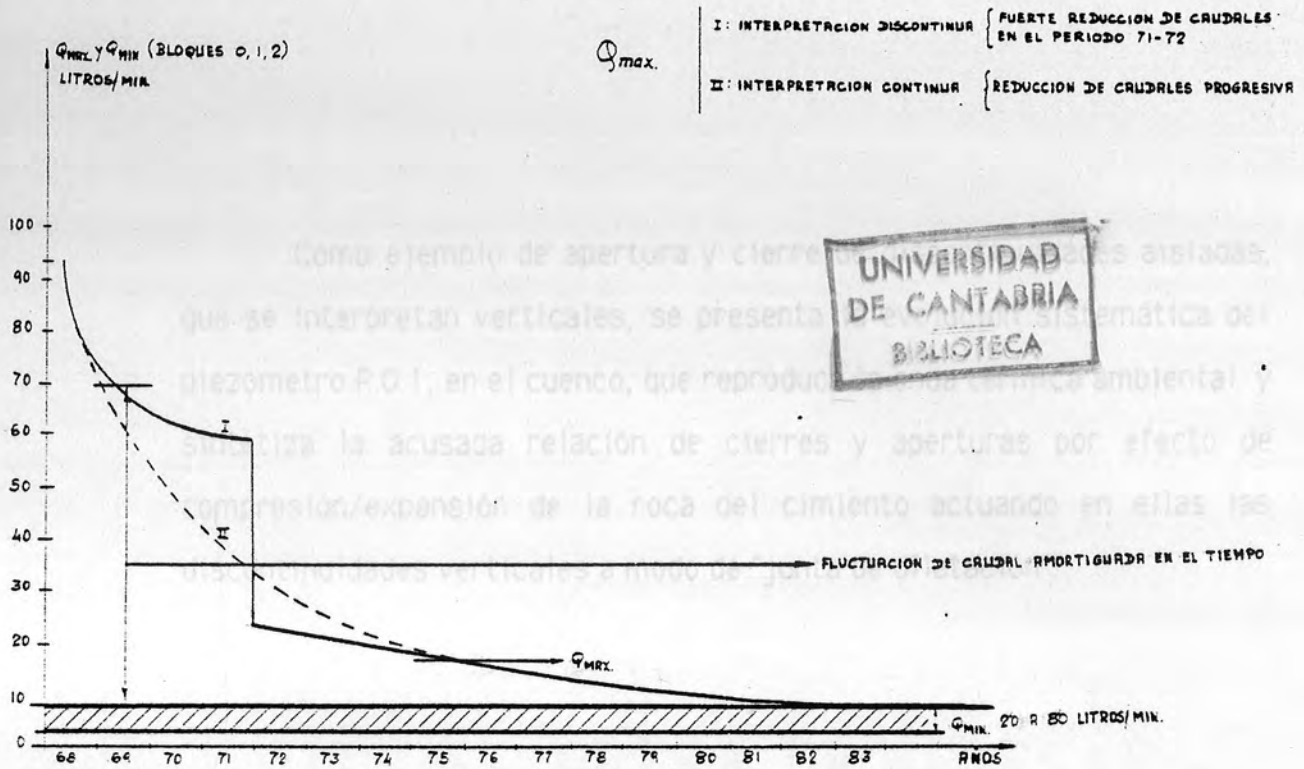


FIGURA 12.- Presa de Santa Eulalia. A) Tendencia en el tiempo a la disminución de los caudales máximos y B) Tendencia a la uniformidad con el tiempo de la presión media en un perfil longitudinal de la presa.



- Presa de Santa Eulalia. Caudales máximos y mínimos (Periodo 66-83).

AÑO 78

I.- Febrero; $\nabla_E = 521,80$
II.- Setiembre; $\nabla_E = 515,90$

PRESA DE SANTA EULALIA. DISPOSICION DE PIEZOMETROS EN ALZADO. COTAS DE FONDO DE TALADRO Y DE APARATO DE MEDICION (CUADRO 4.V)

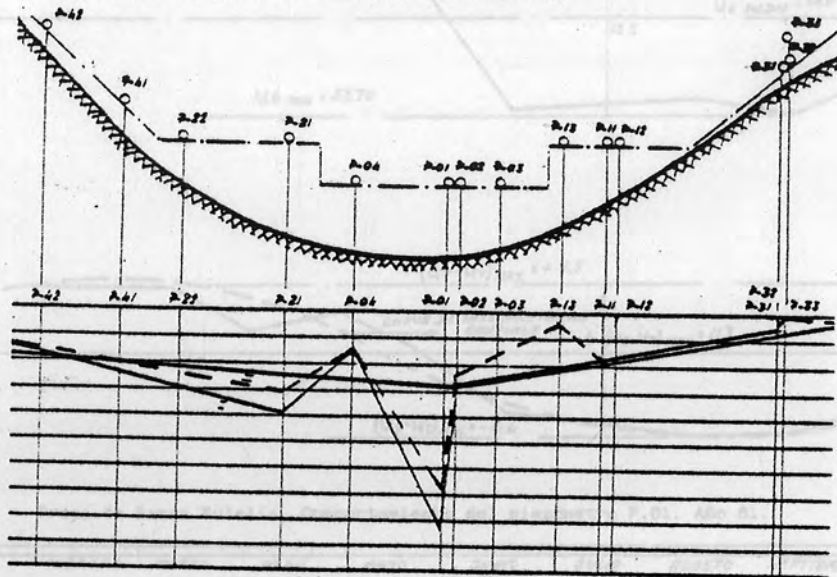


FIGURA 12.- Presa de Santa Eulalia. A) Tendencia en el tiempo a la disminucion de los caudales máximos y B) Tendencia a la uniformidad con el tiempo de la presión media en un perfil longitudinal de la presa.

Cómo ejemplo de apertura y cierre de discontinuidades aisladas, que se interpretan verticales, se presenta la evolución sistemática del piezómetro P.O.1, en el cuenco, que reproduce la onda térmica ambiental y sintetiza la acusada relación de cierres y aperturas por efecto de compresión/expansión de la roca del cimiento actuando en ellas las discontinuidades verticales a modo de "junta de dilatación".

III.1.3.- PRESA DE BELESAR

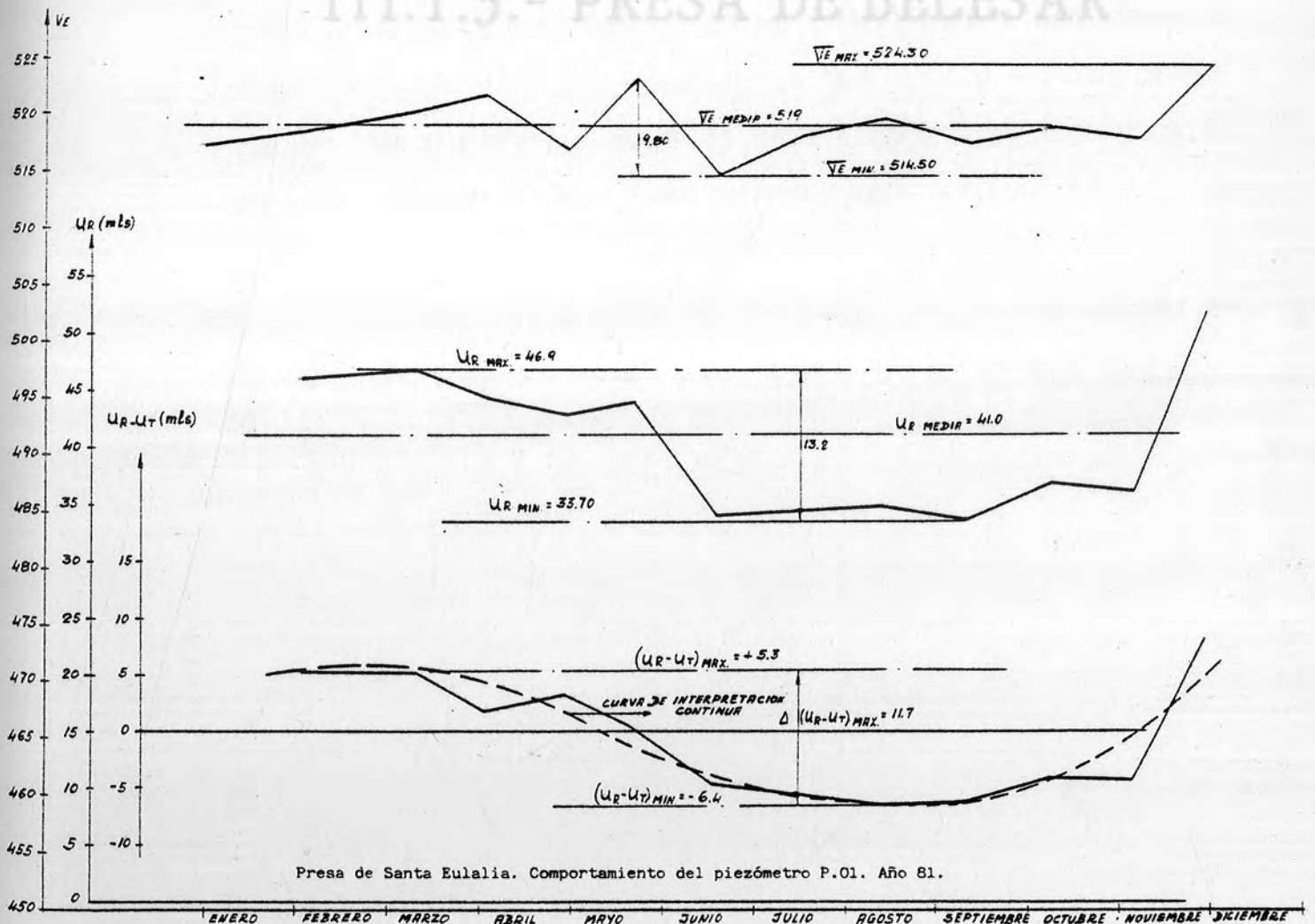


FIGURA 13.- Presa de Santa Eulalia. Influencia del estado térmico sobre la presión en el indicador P.O.1. (B-0; Cuenco).

III.1.3.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa de Belesar. (Anejo A. Epígrafe A.5. Páginas 1-51. Cuadros 5.I y 5.II y Figuras 5.1 a 5.24)

La Presa de Belesar es una bóveda con estribos de gravedad autoresistentes situada en una cerrada simétrica. Fue construida en el año 1963 y su emplazamiento se realiza en granitos porfídicos.

III.1.3.- PRESA DE BELESAR

La excavación de su cimiento fue consolidada en una profundidad media de 12 ms y sus tratamientos especiales para la acción de caudales de filtración y de subpresiones responden al esquema general clásico, pantalla-drenaje desde la galería perimetral. Los datos de auscultación hidráulica analizados corresponden al período 74-83.

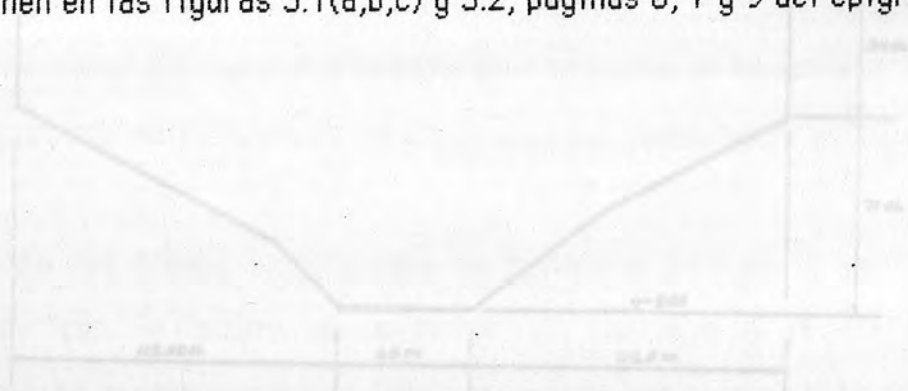
La figura 14 sintetiza las características geométricas que se definen en las figuras 5.1(a,b,c) y 5.2, páginas 6, 7 y 9 del epígrafe A.5.

III.1.3.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa de Belesar. (Anejo A. Epígrafe A.5, Páginas 1-51. Cuadros 5.1 y 5.11 y Figuras 5.1 a 5.24)

La Presa de Belesar es una bóveda con estribos de gravedad autoresistentes situada en una cerrada simétrica. Fué construida en el año 1963 y su emplazamiento se realiza en granitos porfídicos.

La excavación de su cimiento fué consolidada en una profundidad media de 12 ms y sus tratamientos específicos para la eliminación de caudales de filtración y de subpresiones responden al esquema general clásico, pantalla-drenaje desde la galería perimetral. Los datos de auscultación hidráulica analizados corresponden al período 74-83.

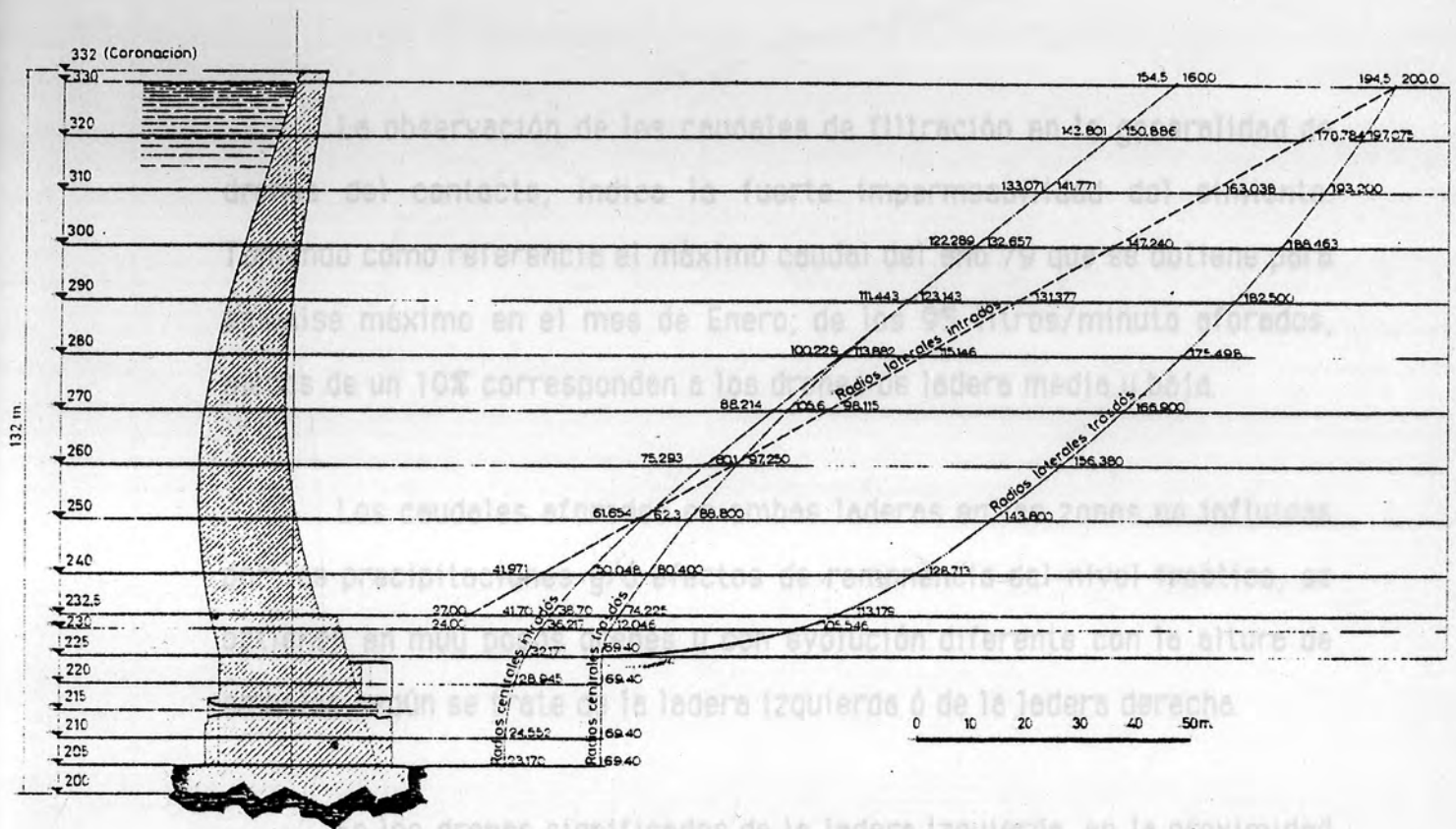
La figura 14 sintetiza las características geométricas que se definen en las figuras 5.1(a,b,c) y 5.2, páginas 6, 7 y 9 del epígrafe A.5.



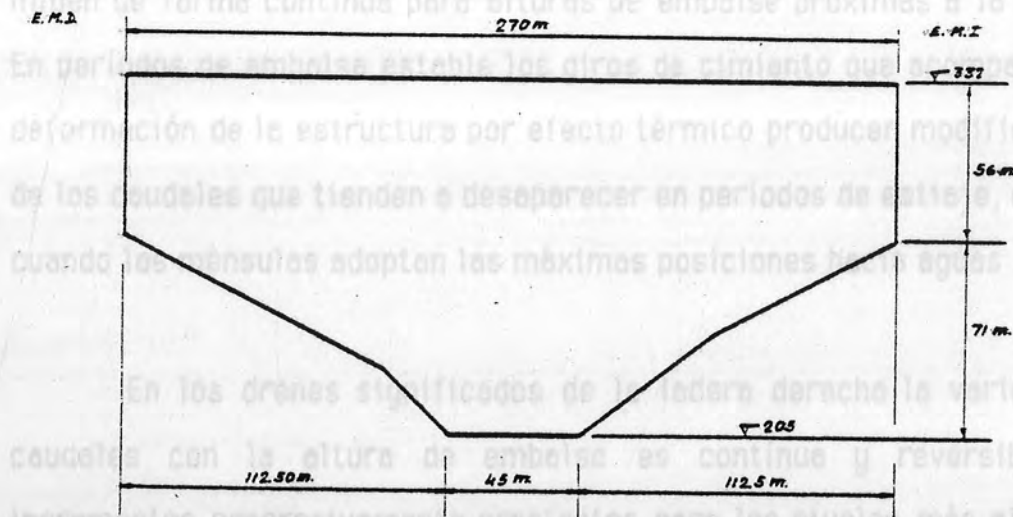
Esquema geométrico de alzado desarrollado

aguas arriba.

FIGURA 14.- Presa de Belesar. Características geométricas.



Sección ménsula central.



Esquema geométrico de alzado desarrollado aguas arriba.

FIGURA 14.- Presa de Belesar. Características geométricas.

La observación de los caudales de filtración en la generalidad de drenes del contacto, indica la fuerte impermeabilidad del cimientó. Tomando como referencia el máximo caudal del año 79 que se obtiene para embalse máximo en el mes de Enero; de los 95 litros/minuto aforados, menos de un 10% corresponden a los drenes de ladera media y baja.

Los caudales aforados en ambas laderas en las zonas no influidas por las precipitaciones y/o efectos de remanencia del nivel freático, se obtienen en muy pocos drenes y con evolución diferente con la altura de embalse según se trate de la ladera izquierda ó de la ladera derecha.

En los drenes significados de la ladera izquierda, en la proximidad del cuenco, los caudales se producen con gran discontinuidad y sólo se miden de forma continua para alturas de embalse próximas a la máxima. En períodos de embalse estable los giros de cimientó que acompañan a la deformación de la estructura por efecto térmico producen modificaciones de los caudales que tienden a desaparecer en períodos de estiaje, es decir, cuando las ménsulas adoptan las máximas posiciones hacia aguas arriba.

En los drenes significados de la ladera derecha la variación de caudales con la altura de embalse es continua y reversible, con incrementos progresivamente crecientes para los niveles más altos. Los caudales son estables para una cota de embalse fija; se evidencia así una filtración por discontinuidades independientes con variaciones en el caudal más acusadas para los gradientes mayores.

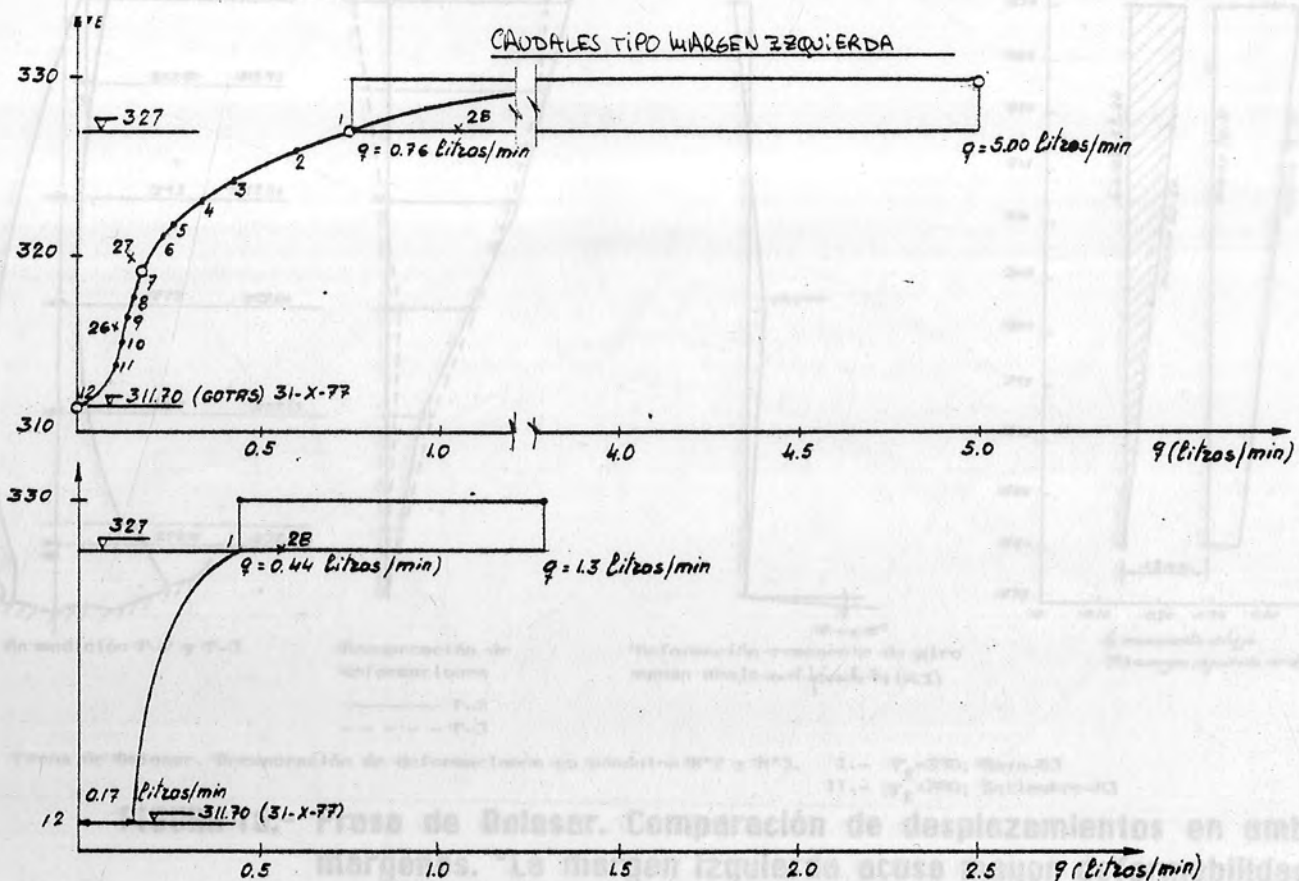
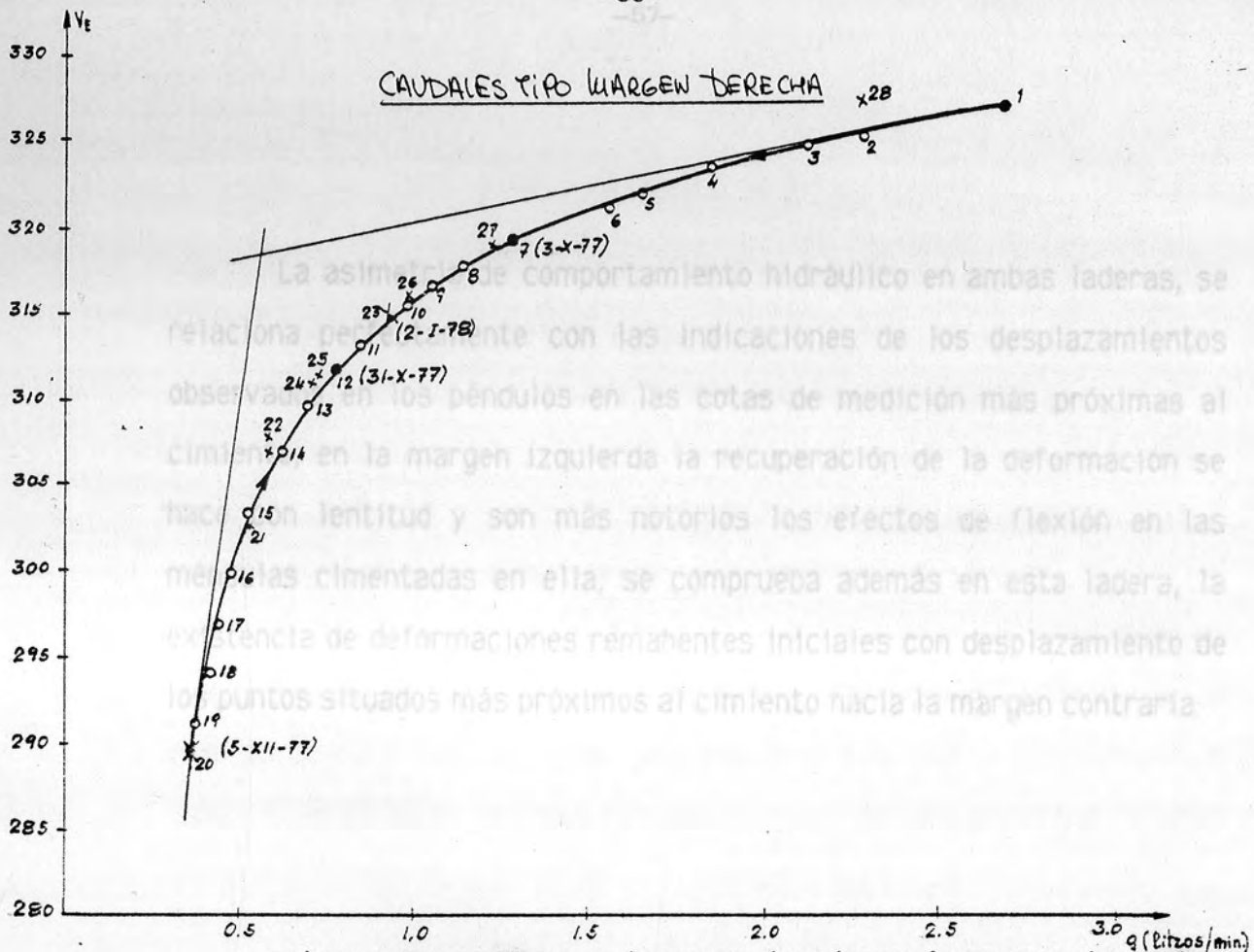
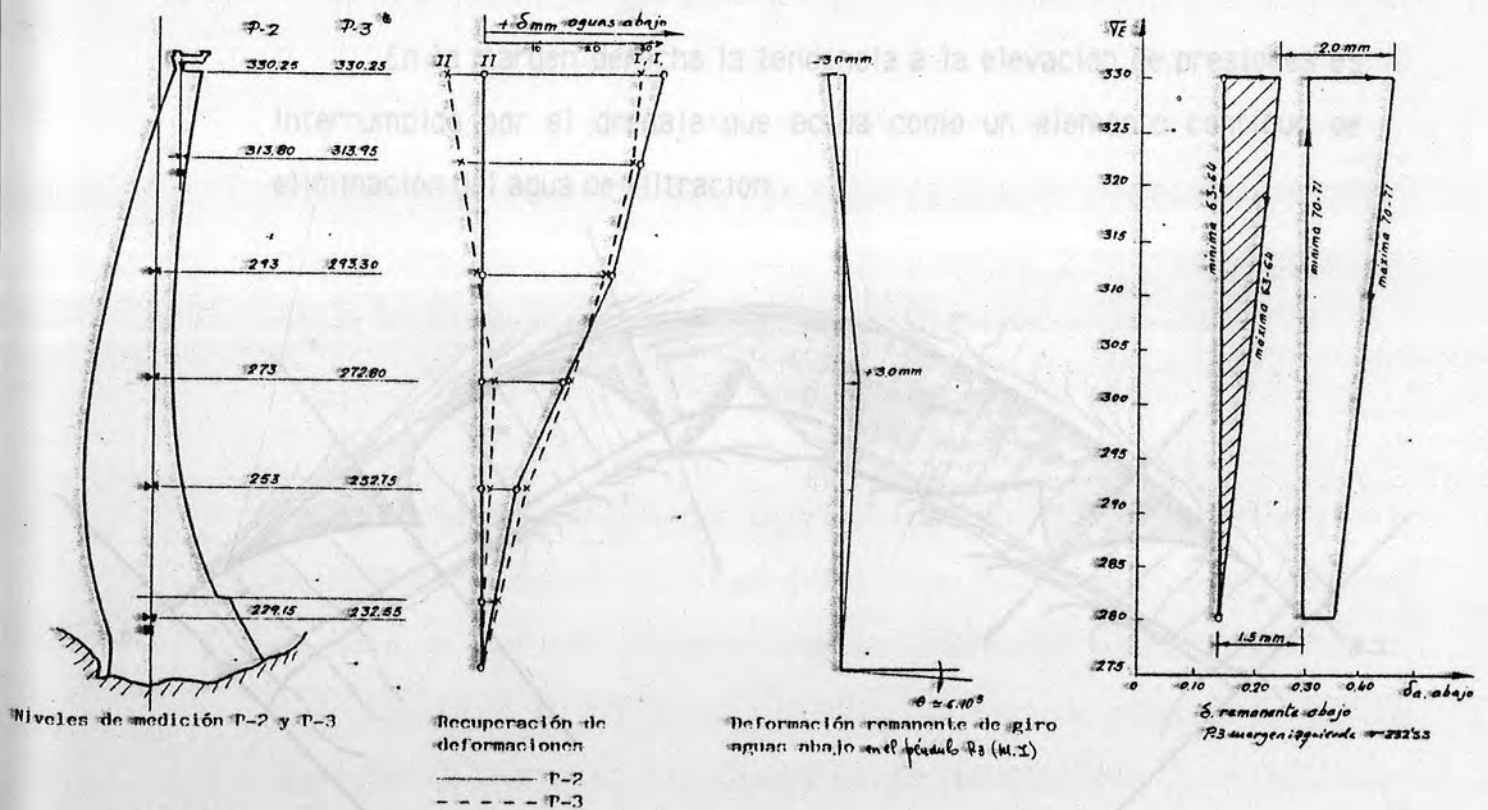


FIGURA 15.- Presa de Belesar.

La asimetría de comportamiento hidráulico en ambas laderas, se relaciona perfectamente con las indicaciones de los desplazamientos observados en los péndulos en las cotas de medición más próximas al cimiento; en la margen izquierda la recuperación de la deformación se hace con lentitud y son más notorios los efectos de flexión en las ménsulas cimentadas en ella; se comprueba además en esta ladera, la existencia de deformaciones remanentes iniciales con desplazamiento de los puntos situados más próximos al cimiento hacia la margen contraria.

entazan con una concepción de cimiento muy poco permeable, en el que tanto la penetración del agua como su evacuación se hace, con dificultad, dándose una respuesta diferida en el tiempo a las acciones externas.



Presa de Belesar. Recuperación de deformaciones en péndulos N°2 y N°3. 1.- $V_F=330$; Mayo-83
11.- $V_F=280$; Setiembre-83

FIGURA 16.- Presa de Belesar. Comparación de desplazamientos en ambas márgenes. "La margen izquierda acusa mayor deformabilidad y deformaciones remanentes en el tiempo".

El análisis de los piezómetros disponibles, con posición en planta en la línea teórica de drenaje ó aguas abajo de ella, refleja en la margen izquierda la dificultad drenante de las secciones próximas al cuenco; la penetración de la red de filtración se produce hacia el pié de aguas abajo de la presa sin que el drenaje suponga una discontinuidad absoluta; para embalses altos mantenidos, se dá la tendencia al incremento de presión media en la línea teórica de drenaje longitudinal y en los descensos de embalse no se produce una rápida disipación de presiones. Ambos efectos enlazan con una concepción de cimiento muy poco permeable, en el que tanto la penetración del agua como su evacuación se hace, con dificultad dándose una respuesta diferida en el tiempo a las acciones externas.

En la margen derecha la tendencia a la elevación de presiones es interrumpida por el drenaje que actúa como un elemento continuo de eliminación del agua de filtración.

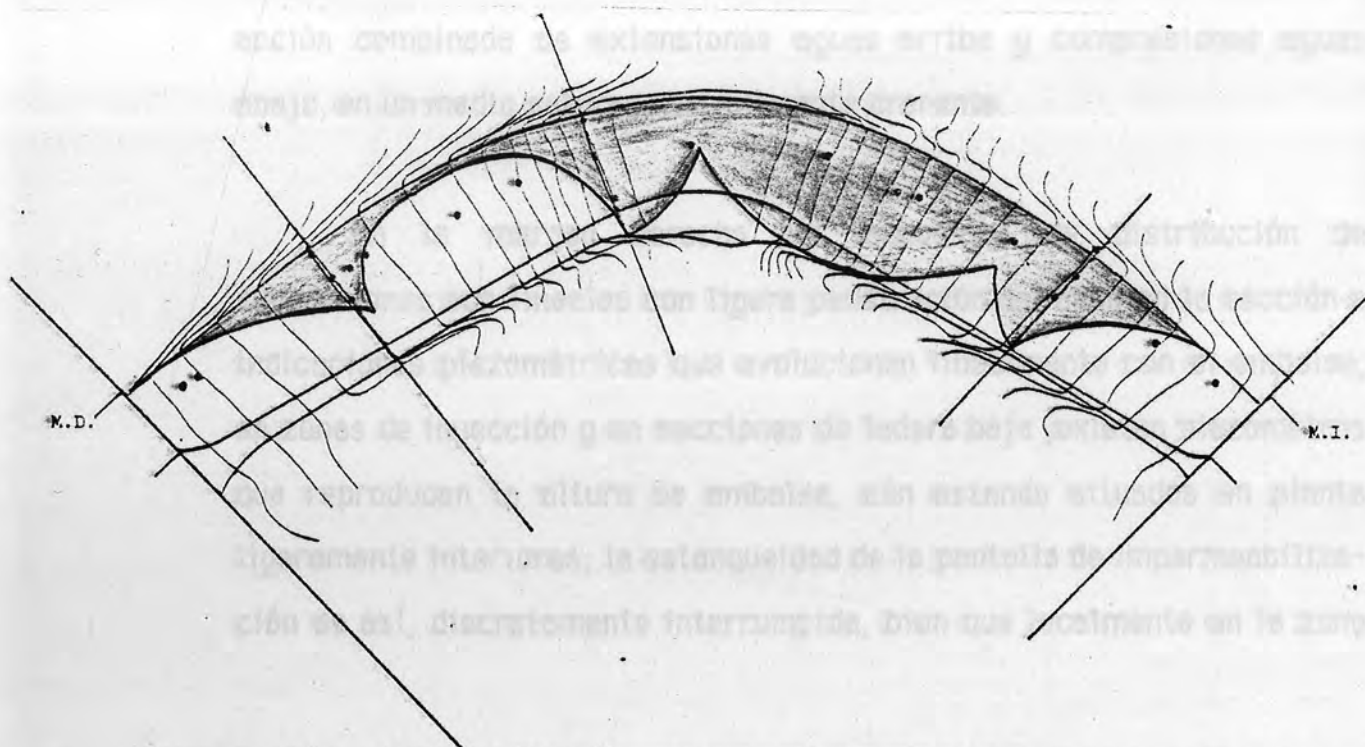


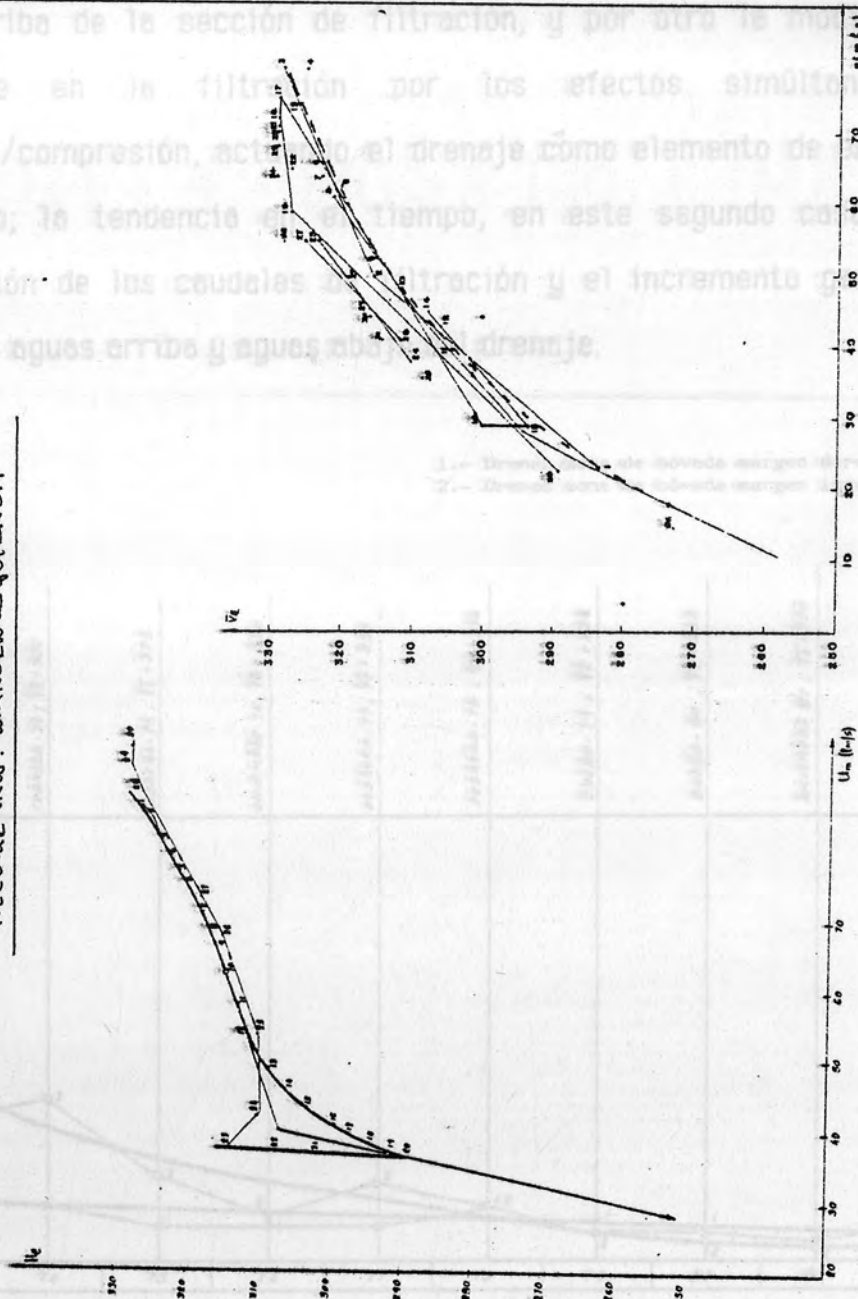
FIGURA 17.- Presa de Belesar. "Observación en la margen izquierda de una mayor penetración en la red de filtración".

La observación de los piezómetros situados aguas arriba de la presa pone de relieve algunos conceptos ya observados en Albarelos, marcándose también la diferenciación de márgenes por su comportamiento hidráulico; en la margen izquierda las tendencias piezométricas aguas arriba reproducen esquemas similares a los presentados en la sección tipo III de la presa de Albarelos (A.3, páginas 97-103) con gradientes de presión muy superiores para cotas de embalse alto a partir de un "umbral relativo" que se sitúa entre las cotas 300 y 310 y que se corresponde para las ménsulas altas con un 75% de la carga máxima de embalse.

Estos efectos acompañados de las modificaciones de las presiones aguas abajo del drenaje, indican la ruptura del equilibrio cuasí-estático que constituye la forma de comportamiento estable para niveles de embalse inferiores al "umbral". La ruptura del equilibrio se produce por la acción combinada de extensiones aguas arriba y compresiones aguas abajo, en un medio saturado difícilmente drenante.

En la margen derecha los esquemas de distribución de subpresiones son lineales con ligera penetración del agua en la sección e indicaciones piezométricas que evolucionan linealmente con el embalse; en zonas de inyección y en secciones de ladera baja existen piezómetros que reproducen la altura de embalse, aún estando situados en planta ligeramente interiores; la estanqueidad de la pantalla de impermeabilización es así, discretamente interrumpida, bien que localmente en la zona

PIEZOMETROS. MARGEN IZQUIERDA



PIEZOMETROS. MARGEN DERECHA

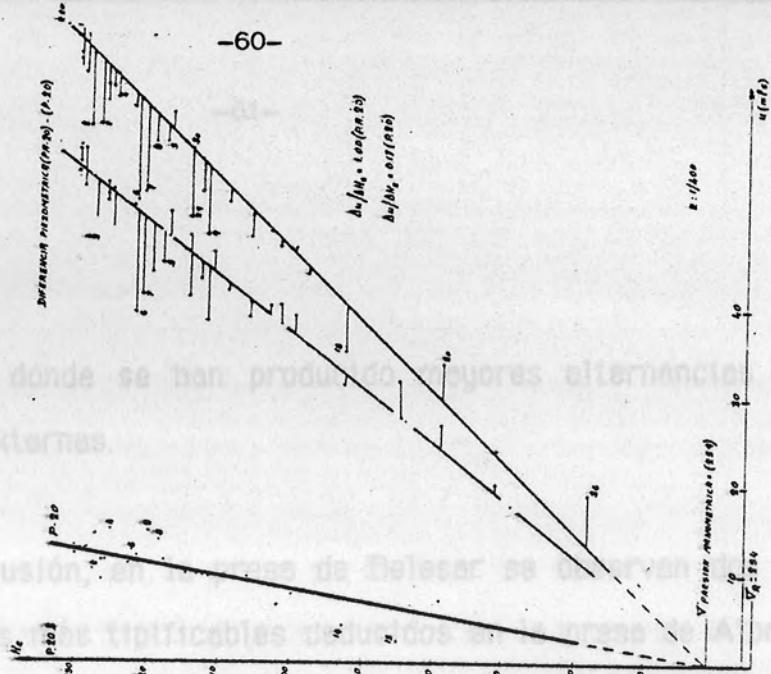


FIGURA 18.- Presa de Belesar. Los indicadores piezométricos de la margen izquierda, aún situados aguas abajo de la pantalla, dan valores de presiones que tienden a la altura de embalse.

de ladera baja donde se han producido mayores alternancias en las sollicitaciones externas.

En conclusión, en la presa de Belesar se observan dos de los comportamientos más tipificables deducidos en la presa de Albarelllos; por un lado la existencia de discontinuidades preestablecidas en el pie de aguas arriba de la sección de filtración, y por otro la modificación reversible en la filtración por los efectos simultáneos de extensión/compresión, actuando el drenaje como elemento de equilibrio hidráulico; la tendencia en el tiempo, en este segundo caso, es la disminución de los caudales de filtración y el incremento general de presiones aguas arriba y aguas abajo del drenaje.

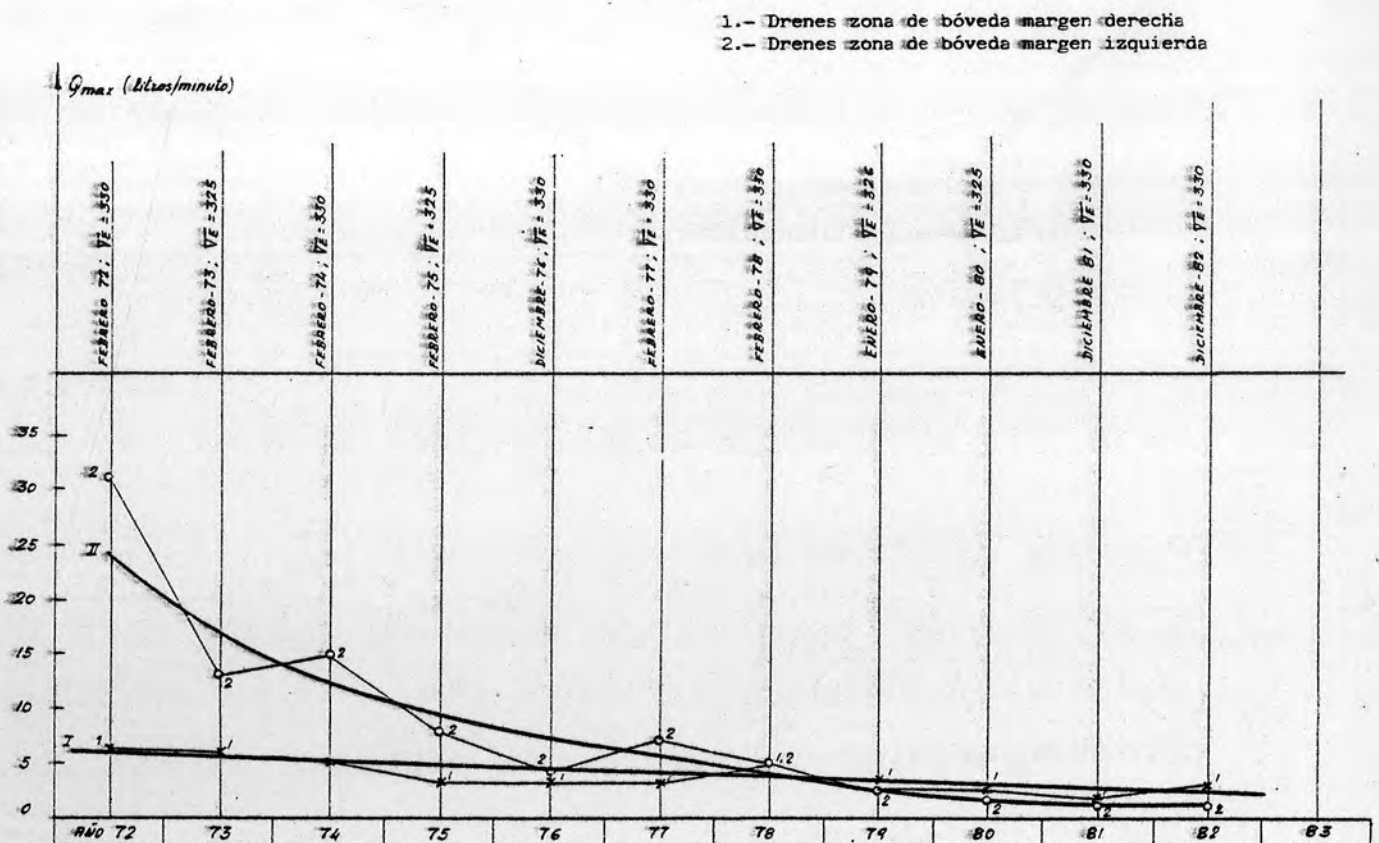


FIGURA 19 Presa de Belesar. Evolución en el tiempo de los caudales de filtración en la zona de contacto presa-cimiento. (I.- Drenes ladera derecha; II.- Drenes ladera izquierda).

III.1.4.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa del Eume. (Anexo A. Epígrafe A.6. Páginas 1 a 43. Figura 6.1 a 6.29)

La presa del Eume, fué construida en el periodo 1955-1960. Es una presa bóveda de doble curvatura, emplazada sobre terrenos paleozóicos de edad Cámbrica predominantemente pizarrinos. La figura 20 representa sus características geométricas más relevantes.

III.1.4.- PRESA DEL EUME

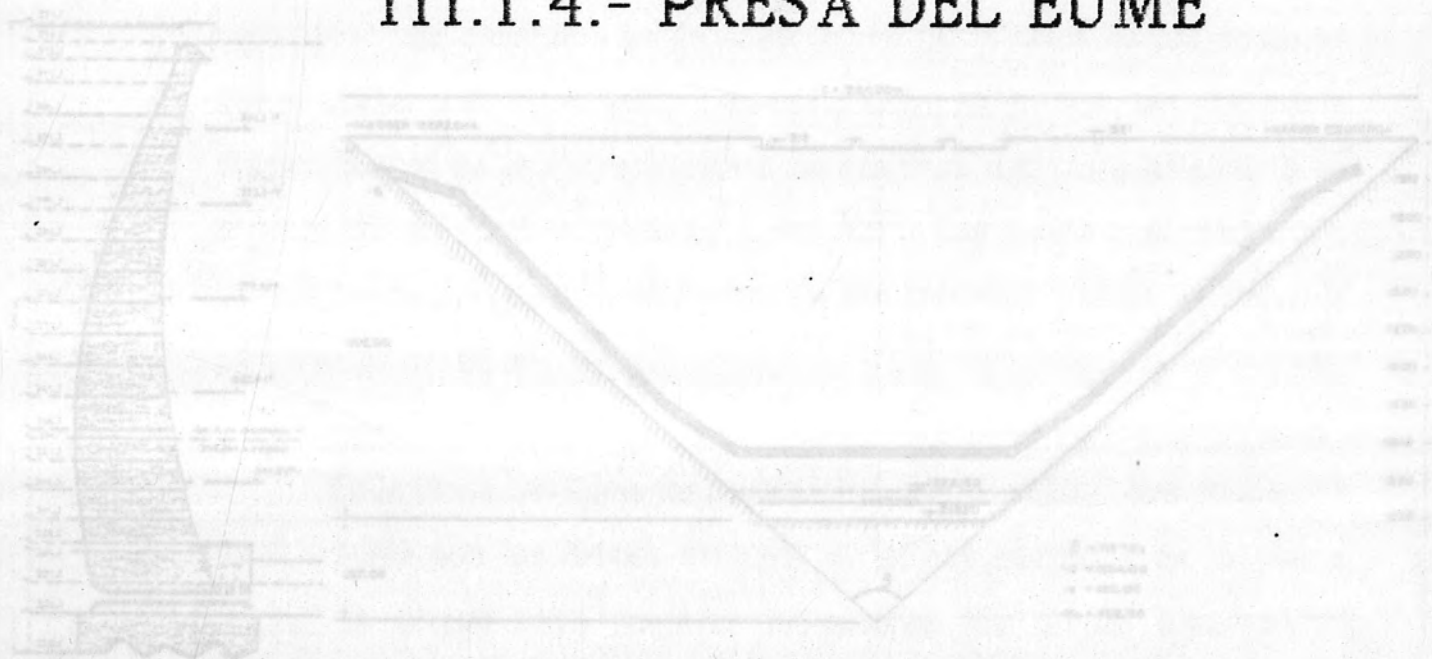


FIGURA 20.- Presa del Eume. Características geométricas

III.1.4.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa del Eume. (Anejo A. Epígrafe A.6. Páginas 1 a 43. Figura 6.1 a 6.20)

La presa del Eume, fué construida en el período 1955-1960. Es una presa bóveda de doble curvatura, emplazada sobre terrenos paleozóicos de edad Cámbrica predominantemente pizarrosos. La figura 20 representa sus características geométricas más relevantes.

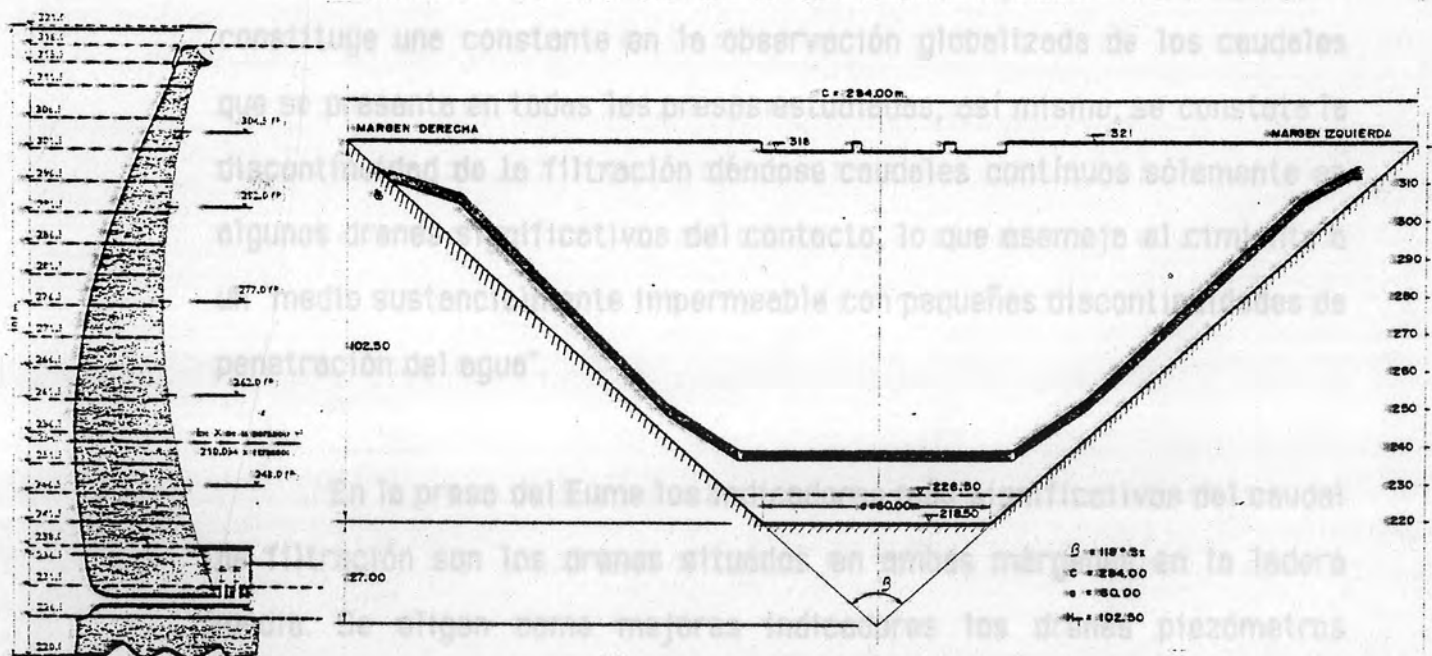


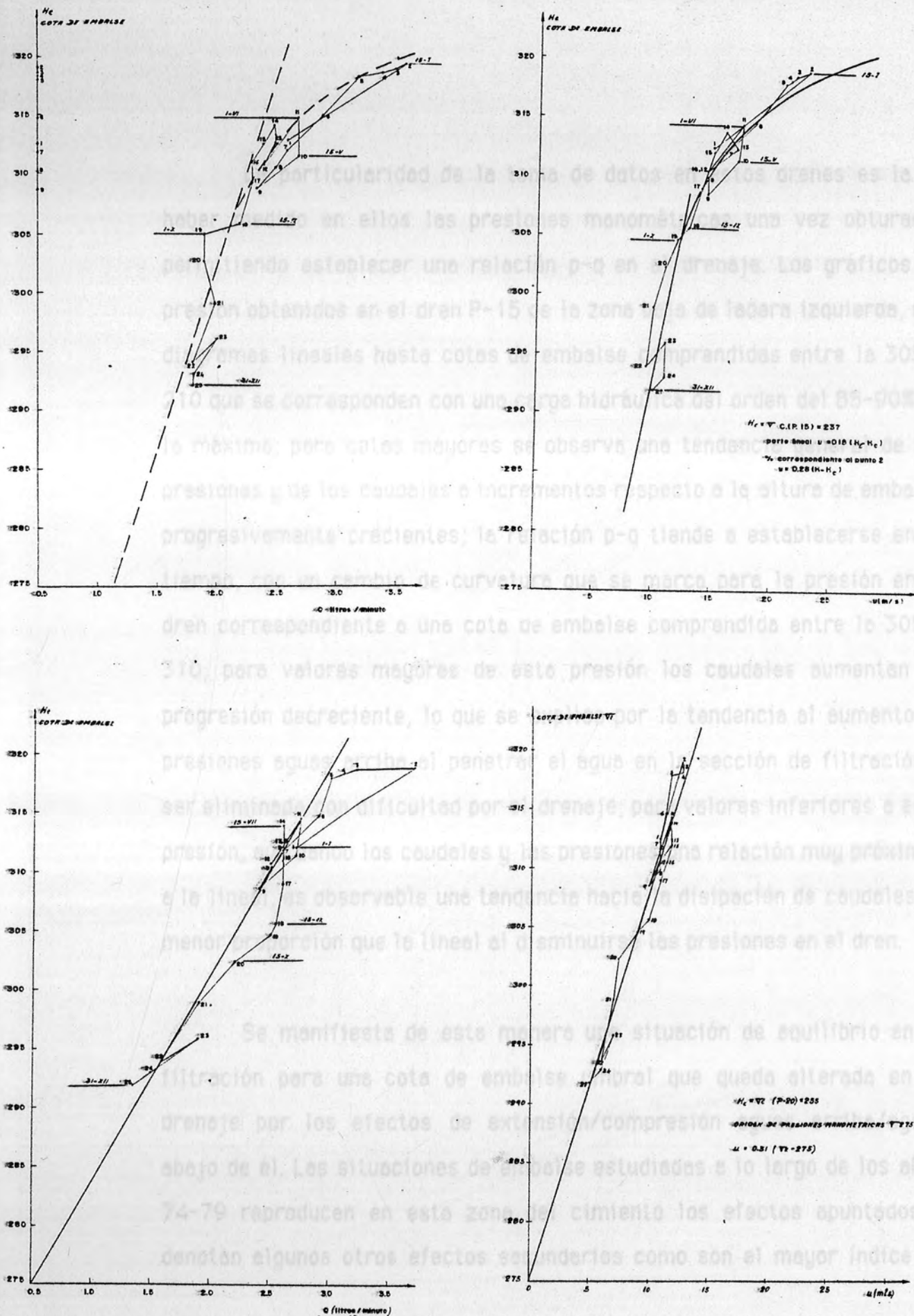
FIGURA 20.- Presa del Eume. Características geométricas

El período de auscultación hidráulica analizado abarca los años 68-83. La magnitud de los caudales drenados en el contacto presa-cimiento no supera en ninguna de las observaciones del período 74-83 los 25 l/min. demostrando la pequeña permeabilidad del conjunto del contacto que tiende a disminuir en el tiempo, observándose como caudales máximos en los años 80-83 valores del orden de 10 l/min.

La influencia de los niveles freáticos remanentes y de las precipitaciones de lluvia en los aforos de drenes altos de ladera, constituye una constante en la observación globalizada de los caudales que se presenta en todas las presas estudiadas; así mismo, se constata la discontinuidad de la filtración dándose caudales continuos solamente en algunos drenes significativos del contacto, lo que asemeja el cimiento a un "medio sustancialmente impermeable con pequeñas discontinuidades de penetración del agua".

En la presa del Eume los indicadores más significativos del caudal de filtración son los drenes situados en ambas márgenes en la ladera media. Se eligen como mejores indicadores los drenes piezómetros designados como P-20 y P-15 que forman parte del sistema general de drenaje perforado donde la galería perimetral en dirección sensiblemente perpendicular a las laderas y ubicados en el plano medio de las secciones transversales; el dren piezómetro P-20 está situado en la zona media de ladera, margen derecha; el dren piezómetro P-15 se situa en la zona baja de la ladera izquierda.

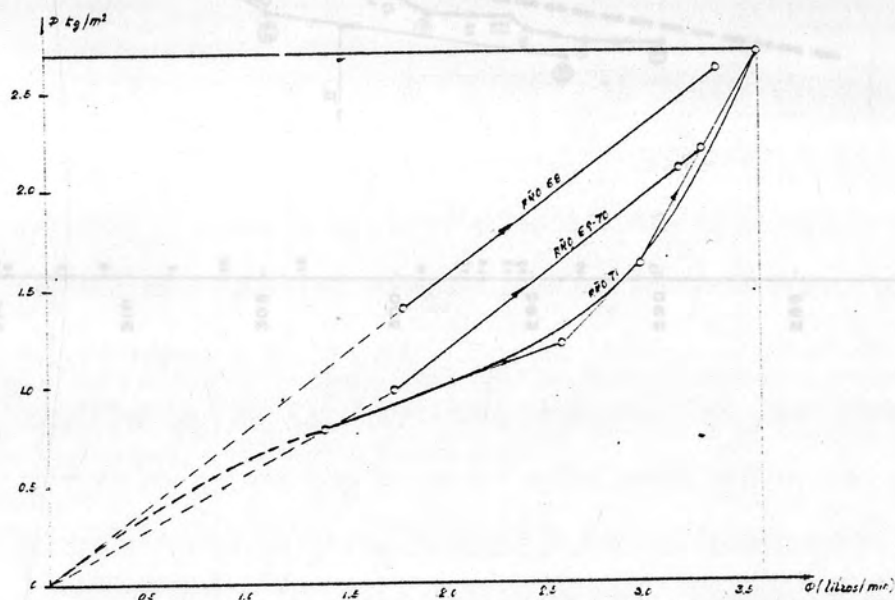
FIGURA 21.- Presa del Eume. Indicadores piezométricos y de caudales en zonas medias de ambas márgenes. A) P-15: margen izquierda; B) P-20: Margen derecha.



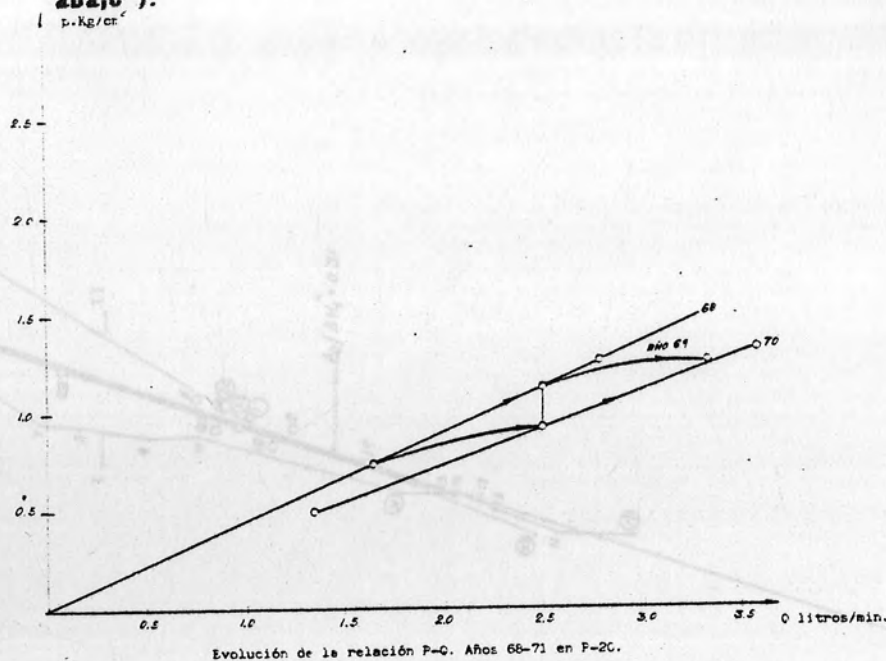
La particularidad de la toma de datos en estos drenes es la de haber medido en ellos las presiones manométricas una vez obturados permitiendo establecer una relación $p-q$ en el drenaje. Los gráficos de presión obtenidos en el dren P-15 de la zona baja de ladera izquierda, dan diagramas lineales hasta cotas de embalse comprendidas entre la 305 y 210 que se corresponden con una carga hidráulica del orden del 85-90% de la máxima; para cotas mayores se observa una tendencia general de las presiones y de los caudales a incrementos respecto a la altura de embalse progresivamente crecientes; la relación $p-q$ tiende a establecerse en el tiempo, con un cambio de curvatura que se marca para la presión en el dren correspondiente a una cota de embalse comprendida entre la 305 y 310; para valores mayores de esta presión los caudales aumentan en progresión decreciente, lo que se explica por la tendencia al aumento de presiones aguas arriba al penetrar el agua en la sección de filtración y ser eliminada con dificultad por el drenaje; para valores inferiores a esta presión, aún dando los caudales y las presiones una relación muy próximas a la lineal, es observable una tendencia hacia la disipación de caudales en menor proporción que la lineal al disminuirse las presiones en el dren.

Se manifiesta de esta manera una situación de equilibrio en la filtración para una cota de embalse umbral que queda alterada en el drenaje por los efectos de extensión/compresión aguas arriba/aguas abajo de él. Las situaciones de embalse estudiadas a lo largo de los años 74-79 reproducen en esta zona del cimiento los efectos apuntados y denotan algunos otros efectos secundarios como son el mayor índice de

caudales en épocas de enfriamiento; la tendencia a mantenerse las presiones en procesos de bajada de embalse desde cotas altas y la rápida subida de presiones con el nivel de embalse desde cotas bajas.



A) Relación p-q en la ladera izquierda. "Tendencia a la acumulación de presiones aguas arriba con dificultad en el drenaje por compresión aguas abajo").



Evolución de la relación P-Q. Años 66-71 en F-2C.

FIGURA 22.- Presa del Eume. B) Relación p-q en la ladera derecha. "Tendencia a la linealidad con ligero incremento de los caudales en el tiempo para las mismas presiones").

FIGURA 23.- Presa del Eume. Estabilidad de las observaciones hidráulicas en el tiempo. ("Las observaciones en los años 69-71-72, son del mismo orden de magnitud y fueran de relación con 11 con en años muy anteriores (Año 70, Figura 21).")

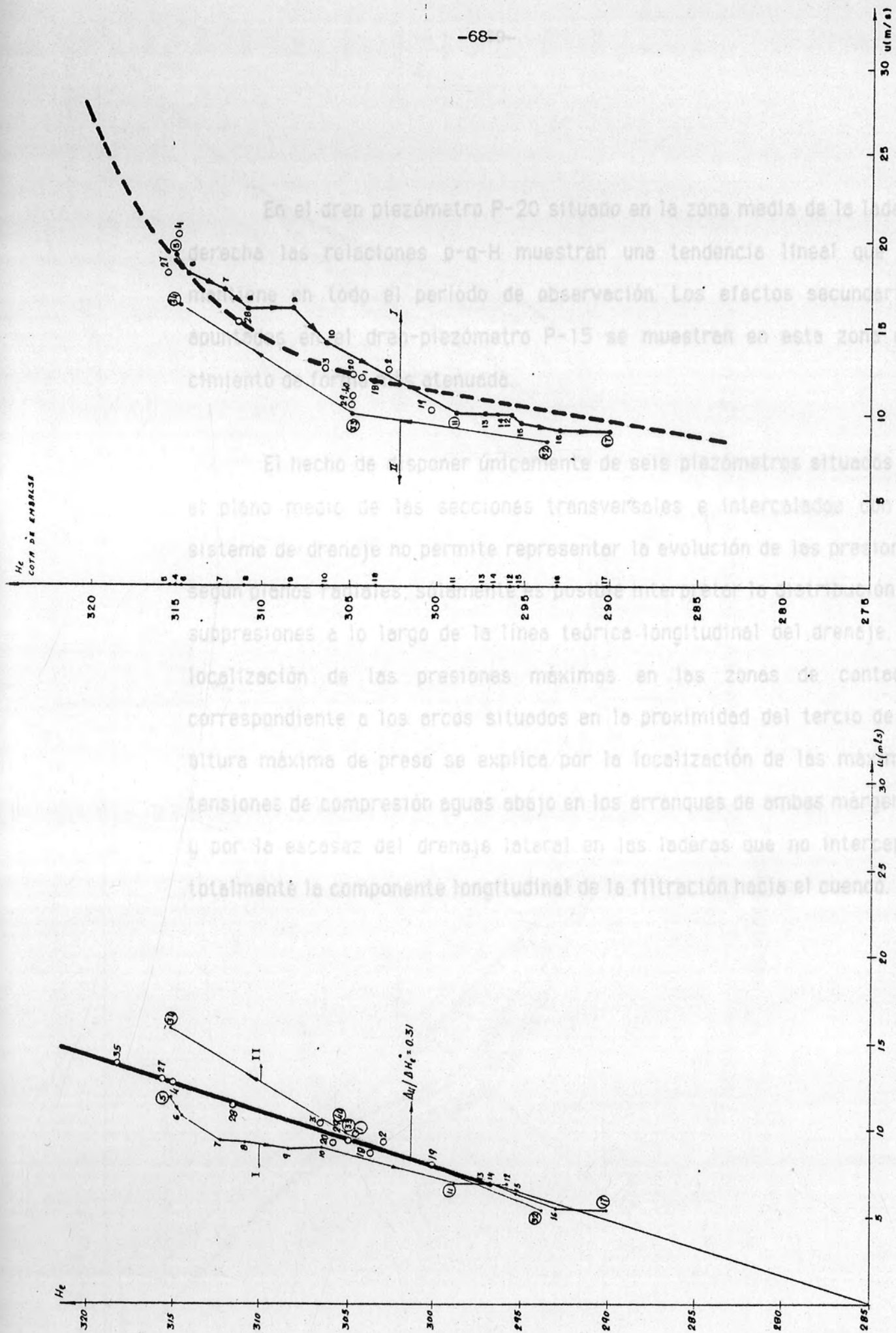


FIGURA 23.- Presa del Eume. Estabilidad de las observaciones hidráulicas en el tiempo.
(*Las observaciones en los años 80-81-82., son del mismo orden de magnitud y forma de relación con H que en años muy anteriores (Año 70. Figura 21).

En el dren piezómetro P-20 situado en la zona media de la ladera derecha las relaciones p-q-H muestran una tendencia lineal que se mantiene en todo el período de observación. Los efectos secundarios apuntados en el dren-piezómetro P-15 se muestran en esta zona del cimijento de forma más atenuada.

El hecho de disponer únicamente de seis piezómetros situados en el plano medio de las secciones transversales e intercalados con el sistema de drenaje no permite representar la evolución de las presiones según planos radiales; sólo es posible interpretar la distribución de subpresiones a lo largo de la línea teórica longitudinal del drenaje. La localización de las presiones máximas en las zonas de contacto correspondiente a los arcos situados en la proximidad del tercio de la altura máxima de presa se explica por la localización de las máximas tensiones de compresión aguas abajo en los arranques de ambas márgenes y por la escasez del drenaje lateral en las laderas que no intercepta totalmente la componente longitudinal de la filtración hacia el cuenco.

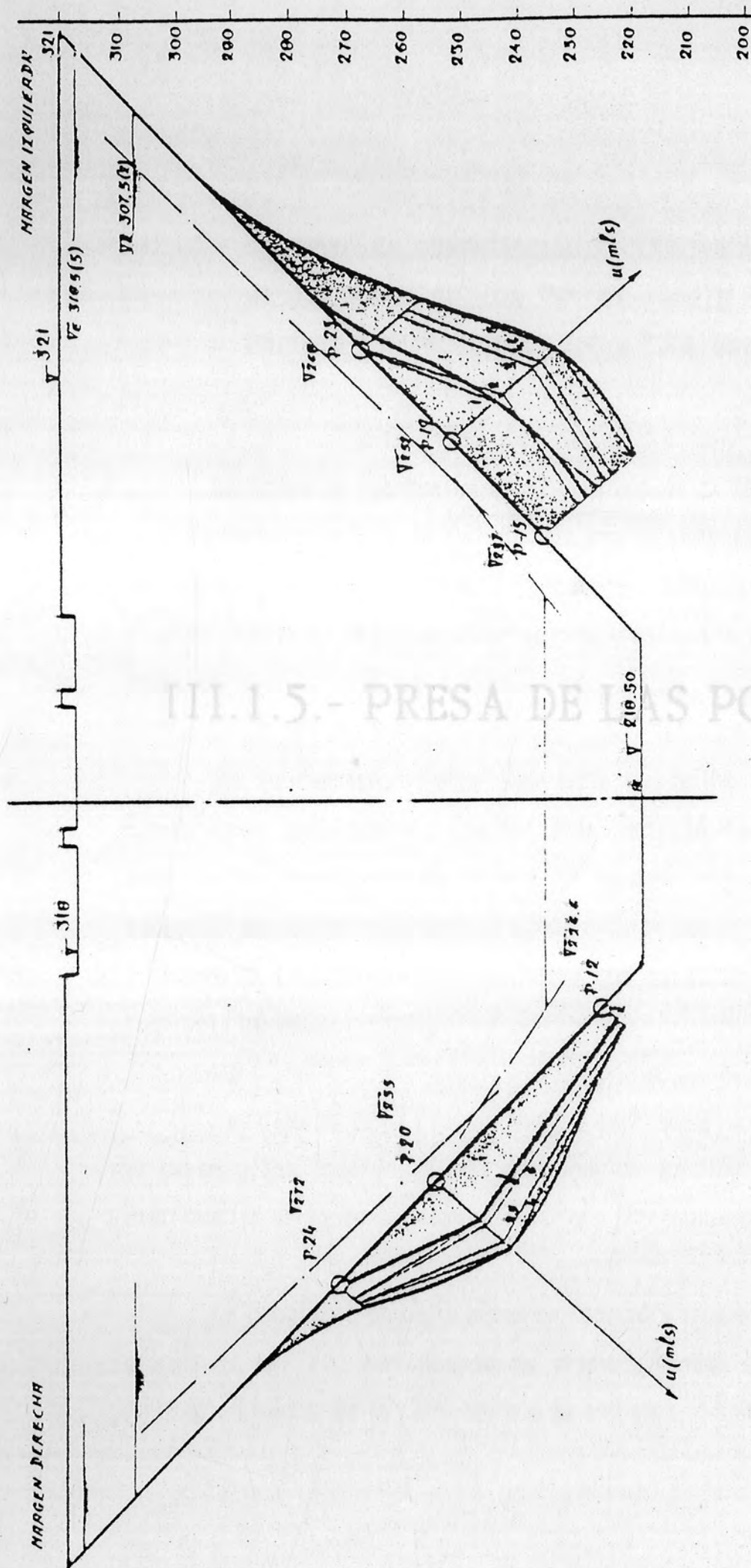


FIGURA 24.- Presa del Eume. Esquema de distribución longitudinal de subpresiones.

III.1.5.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional
de la presa de las Portas (Anexo A. Engrafe A.7.
Páginas 1 a 79. Figuras 7.7. a 7.29. Cuadros 7.I a 7.IX

La Presa de las Portas es de tipo cúpula de doble curvatura con altura sobre cimientos de 141 ms. Su emplazamiento se realiza sobre una serie de paquetes silúricos de pizarras silíceas y cuarcitas que alternan con otros capas de pizarras más blandas con esquistosidad casi vertical.

III.1.5.- PRESA DE LAS PORTAS

En su cerrada existen una serie de fallas que afectan a la cimentación de la presa y que han sido tratadas mediante limpieza y sustitución del material de relleno. El reconocimiento de la roca y la captación de aguas de manantiales, que existen con profusión, se realizó a través de tres galerías horizontales que penetran largamente en la roca del cimiento.

Las figuras 26 y 27 resumen las características geométricas de la presa y los accidentes más notables en su cimiento, así como la distribución de zonas del cimiento por sus tratamientos específicos.

La construcción de la presa se realizó a finales de los años 60 y principios del 70, comenzando su primer llenado en el año 74. La limitación inicial de la cota máxima de embalse, 44 ms por debajo de su

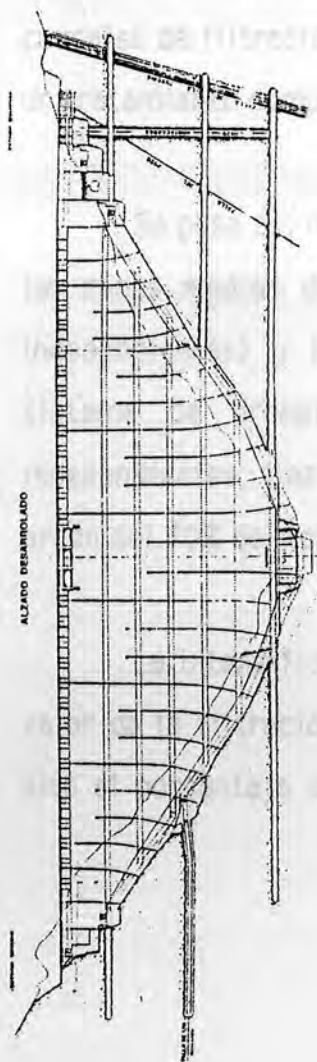
III.1.5.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa de las Portas (Anejo A. Epígrafe A.7. Páginas 1 a 79. Figuras 7.7. a 7.29. Cuadros 7.I a 7.IX

La Presa de las Portas es de tipo cúpula de doble curvatura con altura sobre cimientos de 141 ms. Su emplazamiento se realiza sobre una serie de paquetes silúricos de pizarras silíceas y cuarcitas que alternan con otras capas de pizarras más blandas con esquistosidad casi vertical.

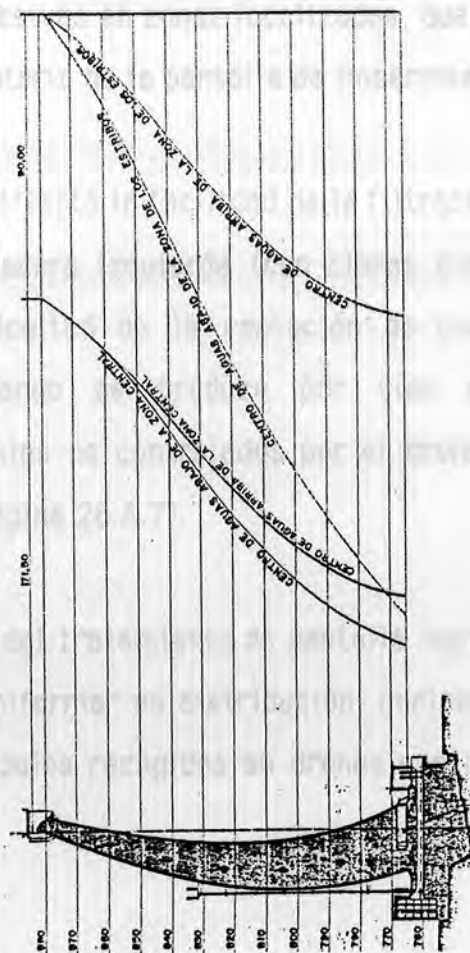
En su cerrada existen una serie de fallas que afectan a la cimentación de la presa y que han sido tratadas mediante limpieza y sustitución del material de relleno. El reconocimiento de la roca y la captación de aguas de manantiales, que existen con profusión, se realiza a través de tres galerías horizontales que penetran largamente en la roca del cimiento.

Las figuras 26 y 27 resumen las características geométricas de la presa y los accidentes más notables en su cimiento, así como la distribución de zonas del cimiento por sus tratamientos específicos.

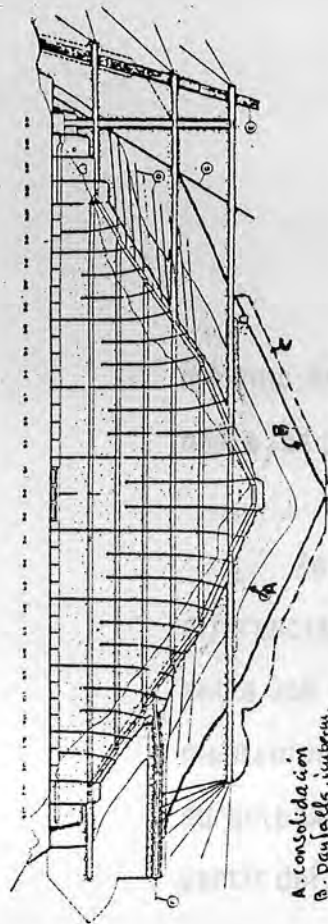
La construcción de la presa se realizó a finales de los años 60 y principios del 70, comenzando su primer llenado en el año 74. La limitación inicial de la cota máxima de embalse, 44 ms por debajo de su



Esquema de alzado aguas abajo.

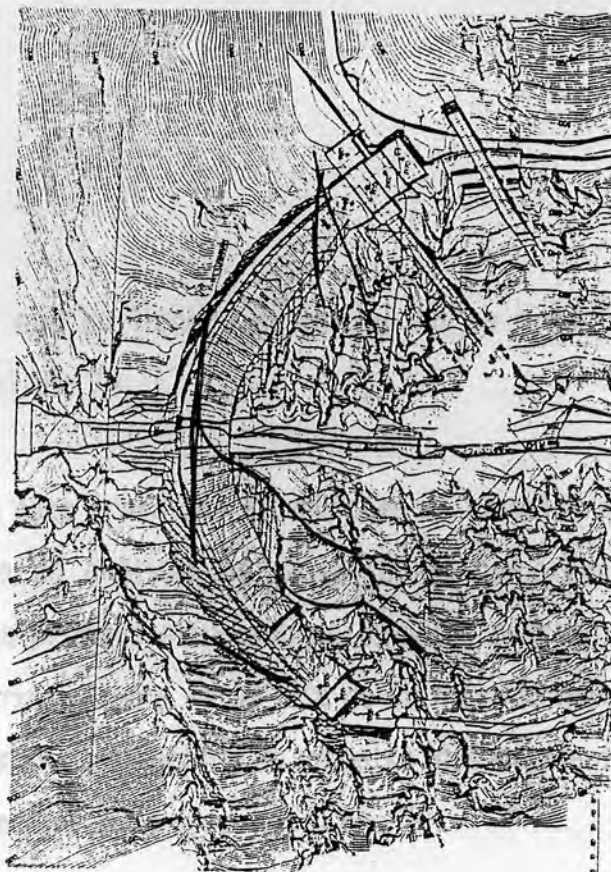


Esquema de sección mínima central



Esquema de disposición de galerías de penetración en roca y tratamientos.

GEOLOGIA DE LA CERRADA



Planta general con situación de fallas y discontinuidades principales.

FIGURA 26.- Presa de Las Portas. Características geométricas.

FIGURA 27.- Presa de Las Portas. Tratamientos del cimienta discontinuidades principales.

máximo nivel normal, hizo que su llenado definitivo no se produjera hasta los primeros meses del año 79.

Se dan por tanto, en ésta presa dos situaciones de embalse muy diferenciadas en el período de análisis de auscultación comprendido entre los años 74 y 83. Una primera situación de embalse parcial con mantenimiento de un nivel muy estable en un 65% de su máximo normal durante un período de 4 años y una situación de embalse más oscilante a partir del segundo llenado parcial de la presa en el año 79.

Fué precisamente en este segundo llenado parcial cuando se pudo observar el comportamiento general de la roca del cimiento, al aparecer caudales de filtración excesivos en zonas localizadas, que recomendaron un tratamiento complementario de la pantalla de impermeabilización.

Se puso así de manifiesto la facilidad de la filtración del agua en las zonas medias de la ladera izquierda (con claras discontinuidades independientes) y la dificultad de la captación de caudales por el sistema de drenaje cuando se produce por vías preferenciales independientes, (los caudales no controlados por el drenaje fueron del orden del 30% del total, Página 26.A.7).

La intensificación del tratamiento de pantalla logró disminuir el valor de la filtración y uniformar su distribución, haciendo mucho más alto el porcentaje de caudales recogidos en drenes con respecto a los

aforos totalizados en las galerías. Las características naturales de las discontinuidades de la roca siguen marcando la diferenciación zonal después del tratamiento, recogándose en la ladera izquierda valores del orden de 3 veces el caudal de la ladera derecha, bien que, relacionados con un caudal totalizado del orden del 50% del que se produjo en la fase de llenado hasta la máxima cota antes del tratamiento complementario de la pantalla (A.7. Página 28).

En su conjunto, el cimientto de la presa de Las Portas presenta unos caudales de filtración superiores a los de los cimientos de las presas de Albareillos, Santa Eulalia, Belesar y Eume, aún cuando la filtración es relacionable con zonas ó efectos localizados.

En los cimientos de las presas citadas, los caudales drenados se situaban para embalses próximos al máximo en valores del tipo:

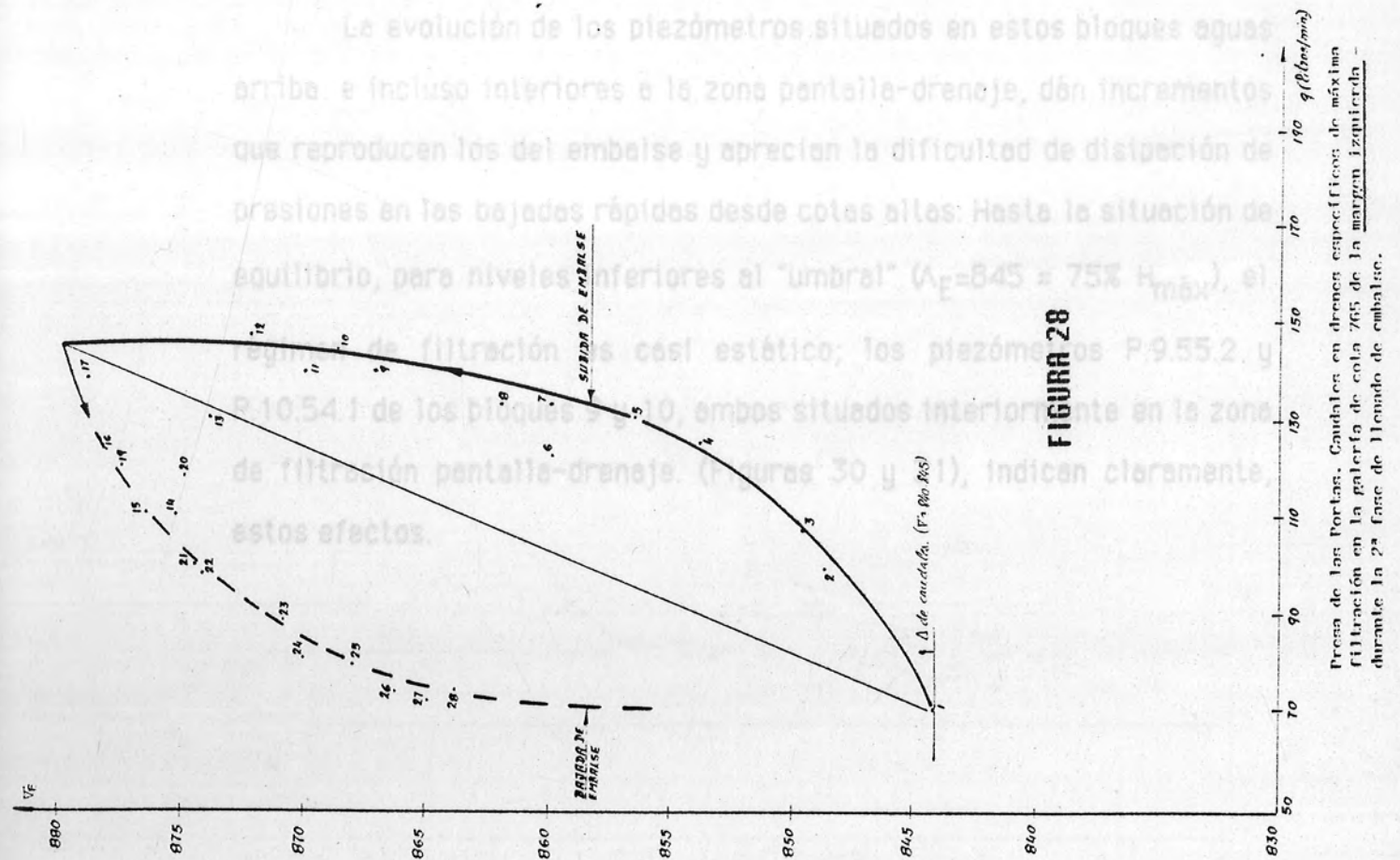
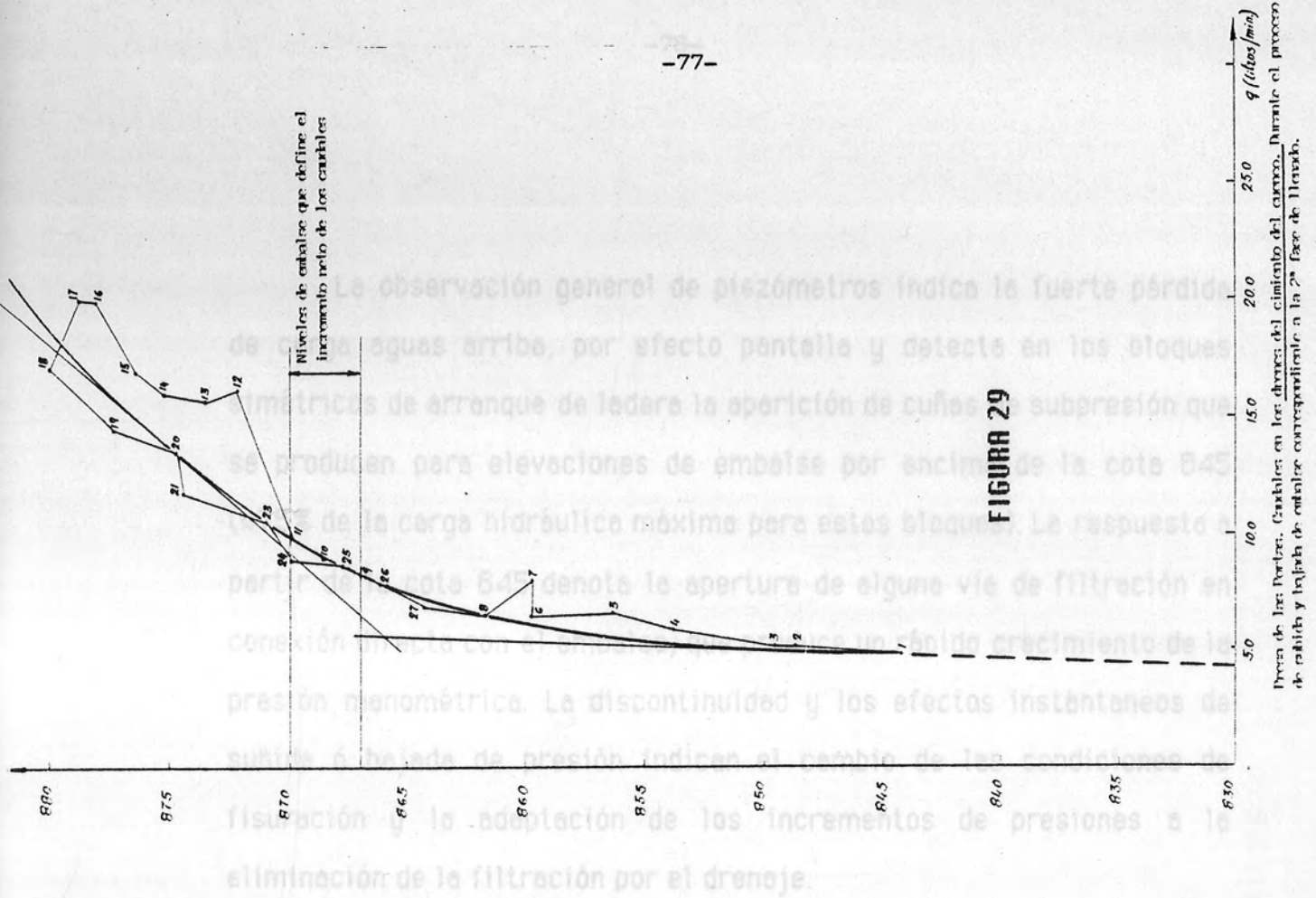
- Albareillos..... conjunto de los drenes de la bóveda ≈ 10 l/mn.
- Santa Eulalia..... conjunto de los drenes de la bóveda $\approx 15-25$ l/mn.
- Belesar..... conjunto de los drenes de la bóveda ≈ 5 l/mn.
- Eume..... conjunto total de drenes ≈ 20 l/mn.

En la presa de las Portas se tienen caudales de un orden de magnitud bastante mayor, incluso posteriormente al tratamiento complementario de la pantalla de impermeabilización, dándose para el total del cimiento valores que han llegado a 450 l/mn. para la A_E 875,32

del mes de Enero de 1982 (próxima a la Δ_E máx 880); de este caudal total, 260 l/mn. corresponden a los drenes del cimientto.

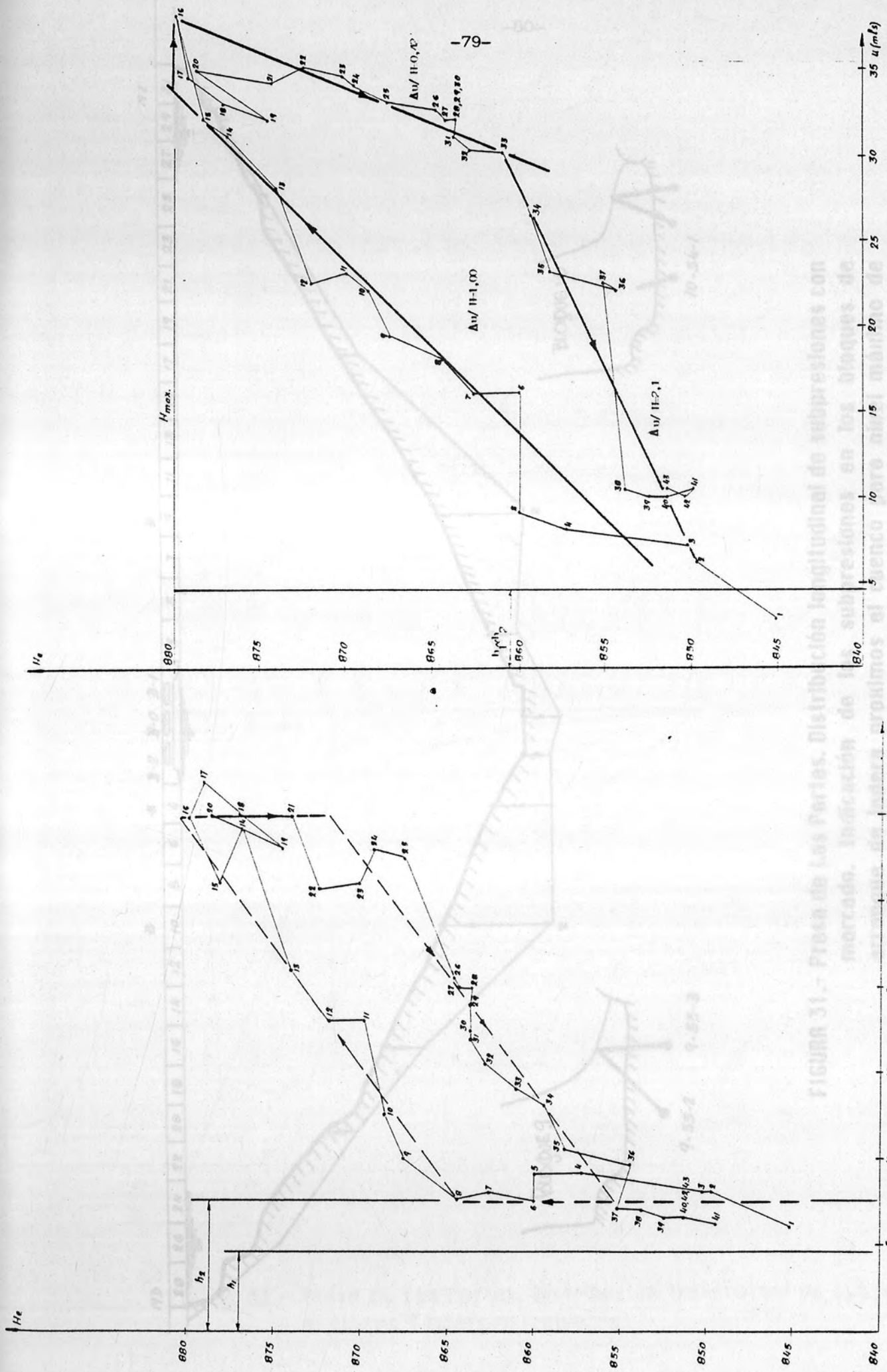
Si se compara el caudal que se ha producido en los drenes del cimientto para la Δ_E 875,32, con el que se daría para el mismo contorno de filtración y profundidad 1 m (suponiendo un gradiente lineal medio pié de aguas arriba-drenaje), se llega a un orden de magnitud, para la permeabilidad global del medio de filtración del tipo de 10^{-4} cm/seg. La permeabilidad específica del macizo rocoso es mucho menor, ya que la filtración real se produce en zonas muy localizadas.

La forma de evolución de los caudales de filtración con la altura de embalse reflejan distintas formas de relación $q-H$ en zonas diferenciadas del contacto en la ladera media de la margen izquierda y en drenes significativos de esta zona, que recogen un 80% del caudal total en la galería, la filtración por discontinuidades preferentes independientes produce relaciones $q-H$ del tipo a la representada en la figura 28, por efecto predominante de filtración por fisuras, con magnitudes de caudales que expresan un regimen de filtración turbulento con pérdidas de carga proporcionales a la velocidad real del agua en las fisuras; en la zona del cuenco más homogénea y estable a la fisuración los efectos se presentan según la forma tipo de extensión-compresión de discontinuidades sin apreciarse vías de filtración independientes (figuras 28 y 29).



La observación general de piezómetros indica la fuerte pérdida de carga aguas arriba, por efecto pantalla y detecta en los bloques simétricos de arranque de ladera la aparición de cuñas de subpresión que se producen para elevaciones de embalse por encima de la cota 845 ($\approx 75\%$ de la carga hidráulica máxima para estos bloques). La respuesta a partir de la cota 845 denota la apertura de alguna vía de filtración en conexión directa con el embalse, que produce un rápido crecimiento de la presión manométrica. La discontinuidad y los efectos instantáneos de subida ó bajada de presión indican el cambio de las condiciones de fisuración y la adaptación de los incrementos de presiones a la eliminación de la filtración por el drenaje.

La evolución de los piezómetros situados en estos bloques aguas arriba, e incluso interiores a la zona pantalla-drenaje, dan incrementos que reproducen los del embalse y aprecian la dificultad de disipación de presiones en las bajadas rápidas desde cotas altas: Hasta la situación de equilibrio, para niveles inferiores al "umbral" ($\Lambda_E = 845 \approx 75\% H_{m\acute{a}x}$), el régimen de filtración es casi estático; los piezómetros P.9.55.2 y P.10.54.1 de los bloques 9 y 10, ambos situados interiormente en la zona de filtración pantalla-drenaje. (Figuras 30 y 31), indican claramente, estos efectos.



Presas de las Portas. Evolución de las presiones en el piezómetro P.10-54-1. (Bloque III). Año 79.

FIGURA 30

Presas de las Portas. Evolución de las presiones en el piezómetro P.955-2. (Bloque II). Año 79.

FIGURA 31.- Presas de las Portas. Distribución longitudinal de subpresiones en los bloques de murea. Indicación de las subpresiones en los bloques de murea.

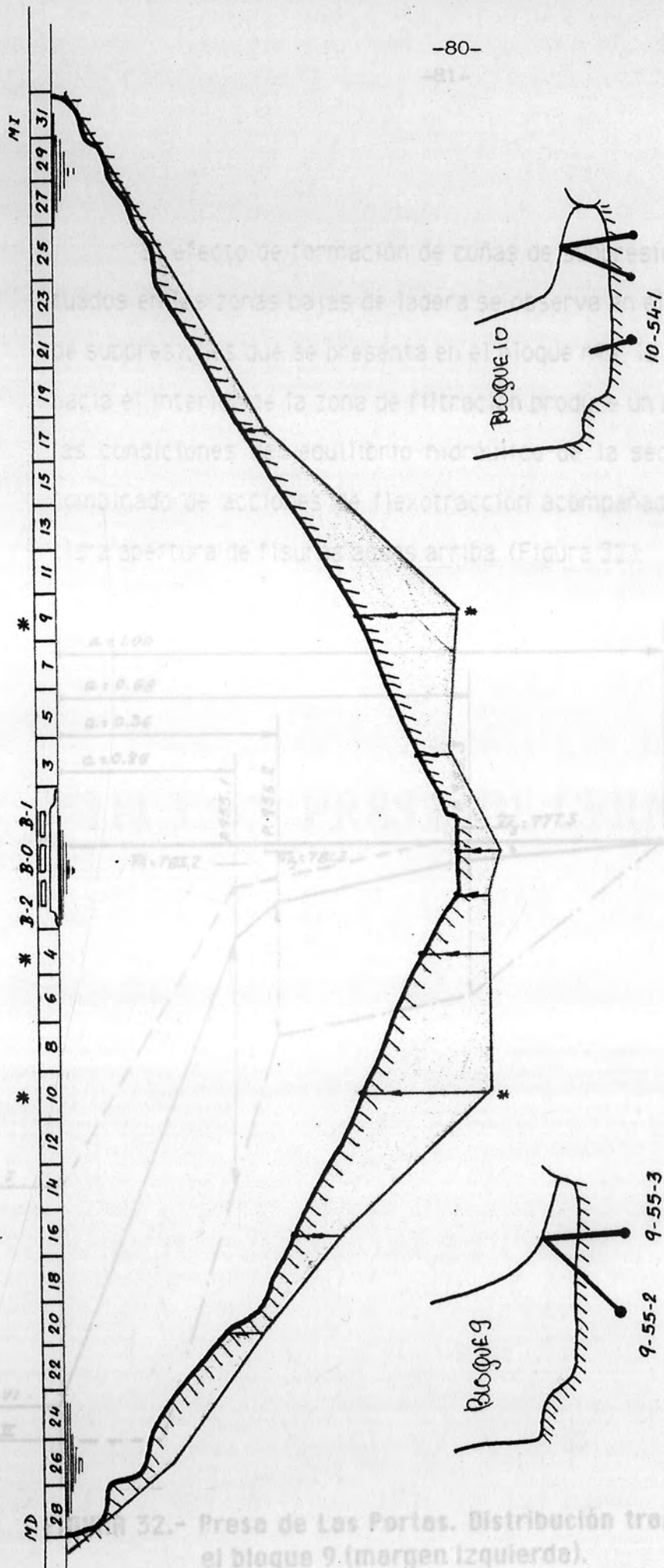


FIGURA 31.- Presa de Las Puercas. Distribución longitudinal de subpresiones con marcado. Indicación de las subpresiones en los bloques de arranque de ladera próximos al cuenco para nivel máximo de embalse.

El efecto de formación de cuñas de subpresión en los bloques situados en las zonas bajas de ladera se observa en el tipo de distribución de subpresiones que se presenta en el bloque nº9; la penetración del agua hacia el interior de la zona de filtración produce un cambio sustancial en las condiciones del equilibrio hidráulico de la sección por el efecto combinado de acciones de flexotracción acompañadas en este caso con clara apertura de fisuras aguas arriba. (Figura 32).

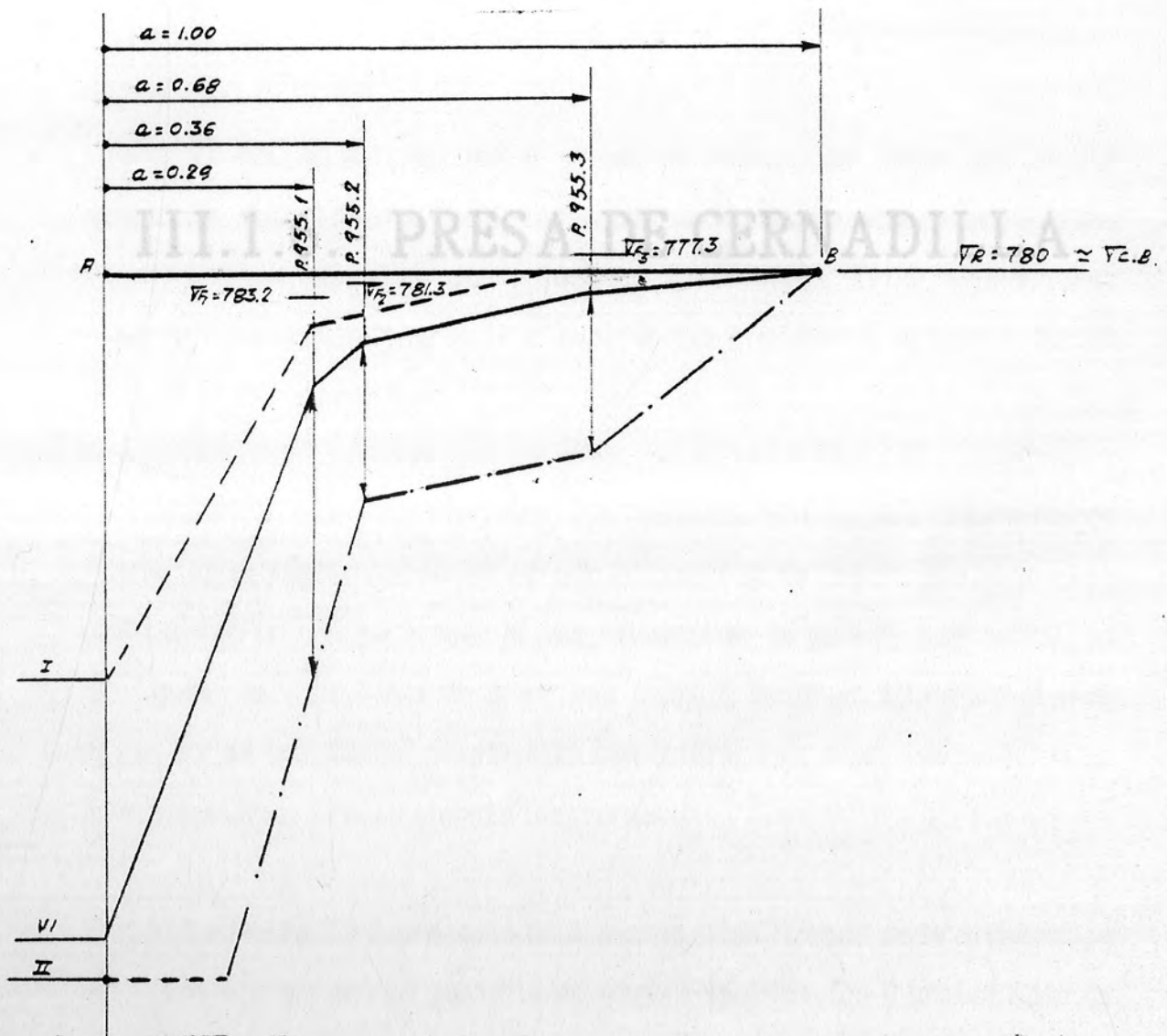


FIGURA 32.- Presa de Las Portas. Distribución transversal de subpresiones en el bloque 9 (margen izquierda).

III.1.6.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional
de la presa de Cernadilla. (Anejo A. Epígrafe A.8.
Páginas 1 a 79. Figuras 8.1 a 8.35)

La Presa de Cernadilla es de gravedad con planta recta y altura máxima sobre cimientos de 69 ms. Su forma responde al esquema clásico de perfil triangular con paramento vertical aguas arriba e inclinación del 75% en el paramento de aguas abajo.

El emplazamiento de la presa, se realiza en Gneis con alguna

III.1.6.- PRESA DE CERNADILLA

alteraciones superficiales de tipo arcilloso de arcilla que aparecen sobre todo en los laderos. Estas alteraciones superficiales condicionaron la excavación del cimiento y la consolidación general en él hasta una profundidad media de 15 ms.

Con el fin de eliminar las subpresiones y los caudales de filtración se reprodujeron los esquemas clásicos de impermeabilización y drenaje con un mismo origen de los taladros en la galería perimetral; se configura, de esta manera, una línea teórica de inyección-drenaje muy aguas arriba (x5 ms del paramento) con interacción entre los taladros de ambos sistemas prácticamente inseparable.

La figura 33 representa un esquema simplificado de la disposición del drenaje transversal, pantalla de impermeabilización y profundidad de consolidación en los bloques más altos del cuenco.

III.1.6.- Resumen de auscultación hidráulica y deformacional de la presa de Cernadilla. (Anejo A. Epígrafe A.8. Páginas 1 a 79. Figuras 8.1 a 8.35)

La Presa de Cernadilla es de gravedad con planta recta y altura máxima sobre cimientos de 69 ms. Su forma responde al esquema clásico de perfil triangular con paramento vertical aguas arriba e inclinación del 75% en el paramento de aguas abajo.

El emplazamiento de la presa, se realiza en Gneis con alguna alteración superficial y diaclasas subhorizontales en ocasiones rellenas de arcilla que aparecen sobre todo en las laderas. Estas alteraciones superficiales condicionaron la excavación del cimiento y la consolidación general en él hasta una profundidad media de 15 ms.

Con el fin de eliminar las subpresiones y los caudales de filtración se reprodujeron los esquemas clásicos de impermeabilización y drenaje con un mismo origen de los taladros en la galería perimetral; se configura, de esta manera, una línea teórica de inyección-drenaje muy aguas arriba (≈ 5 ms del paramento) con interacción entre los taladros de ambos sistemas prácticamente inseparable.

La figura 33 representa un esquema simplificado de la disposición del drenaje transversal, pantalla de impermeabilización y profundidad de consolidación en los bloques más altos del cuenco.

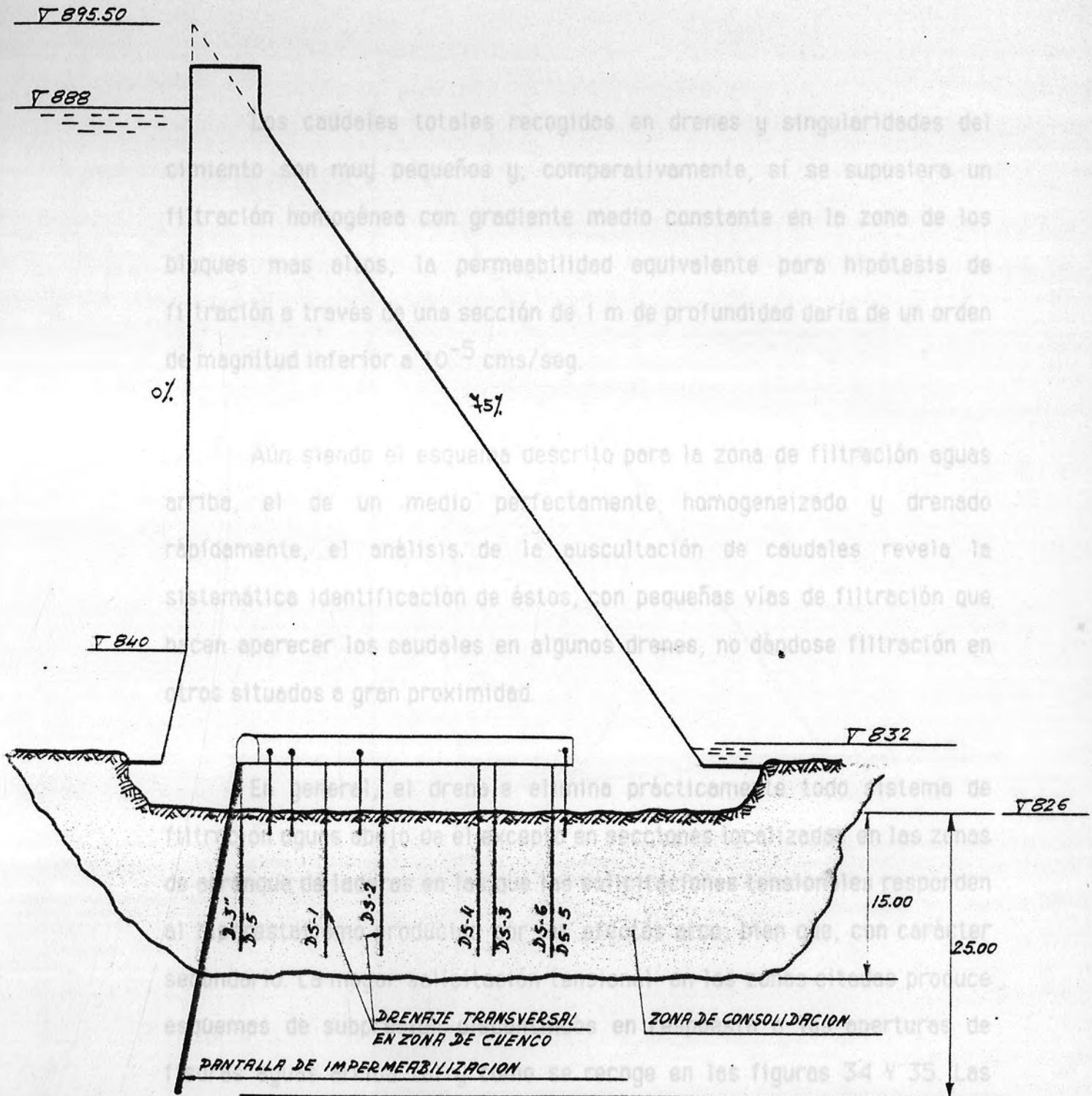


FIGURA 33

Los caudales totales recogidos en drenes y singularidades del cimienta son muy pequeños y, comparativamente, si se supusiera un filtración homogénea con gradiente medio constante en la zona de los bloques mas altos, la permeabilidad equivalente para hipótesis de filtración a través de una sección de 1 m de profundidad daría de un orden de magnitud inferior a 10^{-5} cms/seg.

Aún siendo el esquema descrito para la zona de filtración aguas arriba, el de un medio perfectamente homogeneizado y drenado rápidamente, el análisis de la auscultación de caudales revela la sistemática identificación de éstos, con pequeñas vías de filtración que hacen aparecer los caudales en algunos drenes, no dándose filtración en otros situados a gran proximidad.

En general, el drenaje elimina prácticamente todo sistema de filtración aguas abajo de él excepto en secciones localizadas en las zonas de arranque de laderas en las que las sollicitaciones tensionales responden al hiperestatismo producido por los efectos arco; bien que, con carácter secundario. La mayor sollicitación tensional en las zonas citadas produce esquemas de subpresión discontinuos en respuesta a las aperturas de fisuras aguas arriba tal y como se recoge en las figuras 34 y 35. Las deformaciones de los péndulos expresan perfectamente este efecto arco basado en la respuesta estructural a los movimientos impedidos de dilatación de las secciones horizontales, sobre todo en las zonas bajas de ladera en las que las juntas transversales no se mueven perceptiblemente.

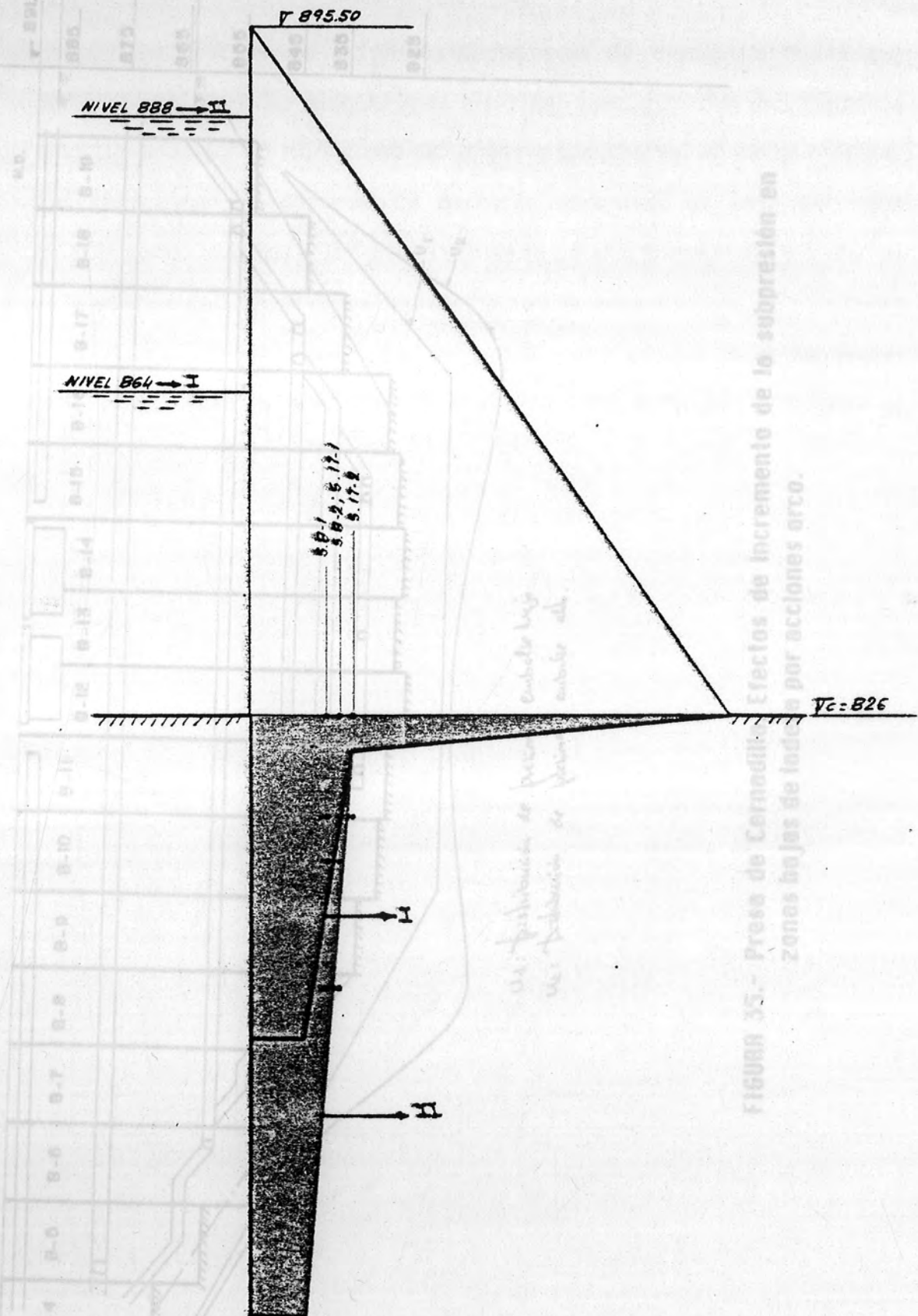
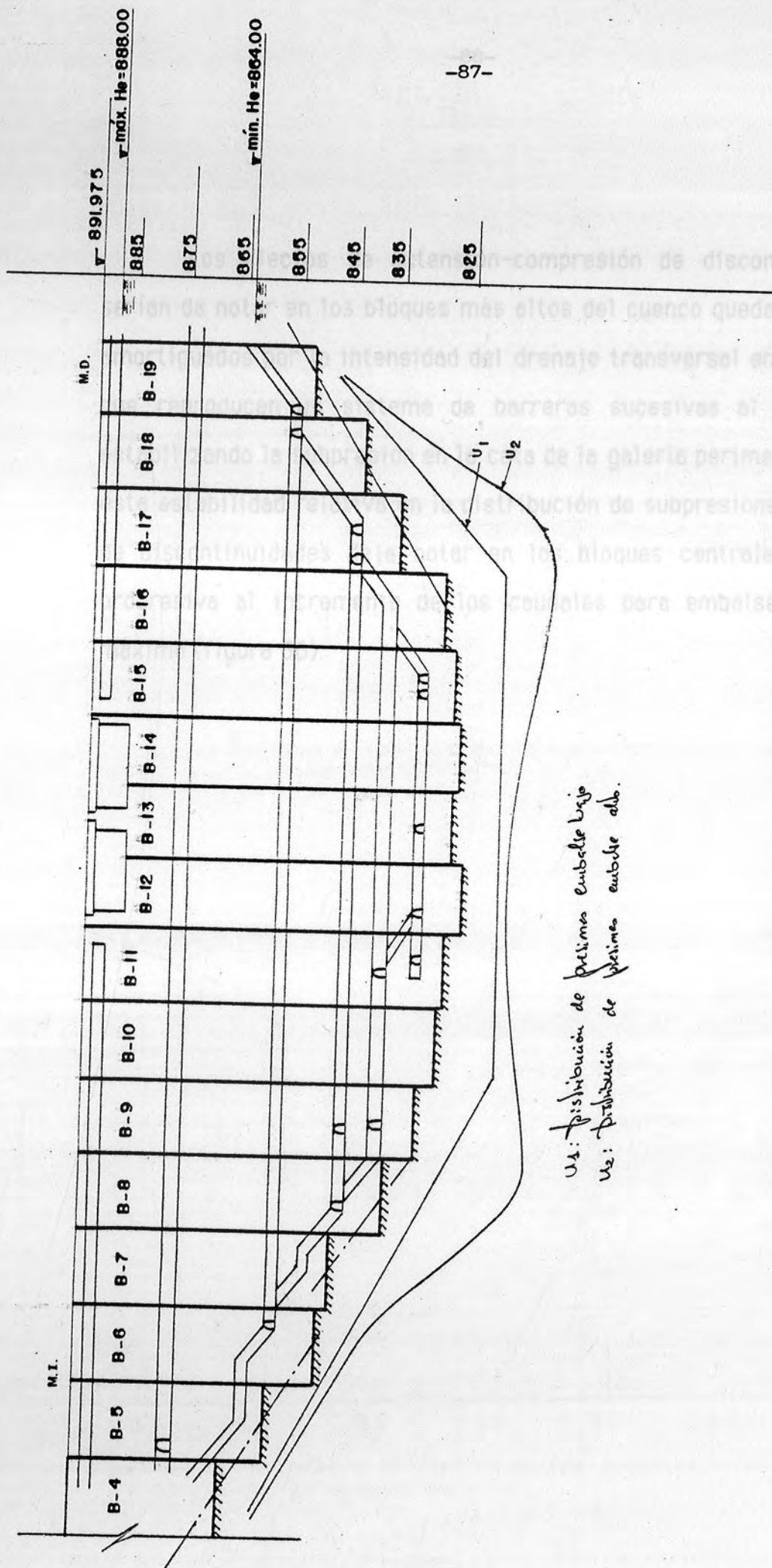


FIGURA 34.- Presa de Cernadilla. Esquema resumen de las presiones en el cimiento correspondientes a los bloques laterales próximos al Cuenco. (B-8-9 y B-16-17).

FIGURA 35.- Presa de Cernadilla. Efectos de incremento de la subpresión en zonas bajas de los lados por acciones arco.



u_1 : distribución de presión embalse bajo
 u_2 : distribución de presión embalse alto.

FIGURA 35.- Presa de Cernadilla. Efectos de incremento de la subpresión en zonas bajas de ladera por acciones arco.

Los efectos de extensión-compresión de discontinuidades que serían de notar en los bloques más altos del cuenco quedan enormemente amortiguados por la intensidad del drenaje transversal en estos bloques, que reproducen un sistema de barreras sucesivas al paso del agua estabilizando la subpresión en la cota de la galería perimetral; a pesar de esta estabilidad relativa en la distribución de subpresiones, la extensión de discontinuidades deja notar en los bloques centrales la tendencia progresiva al incremento de los caudales para embalses próximos al máximo (figura 36).

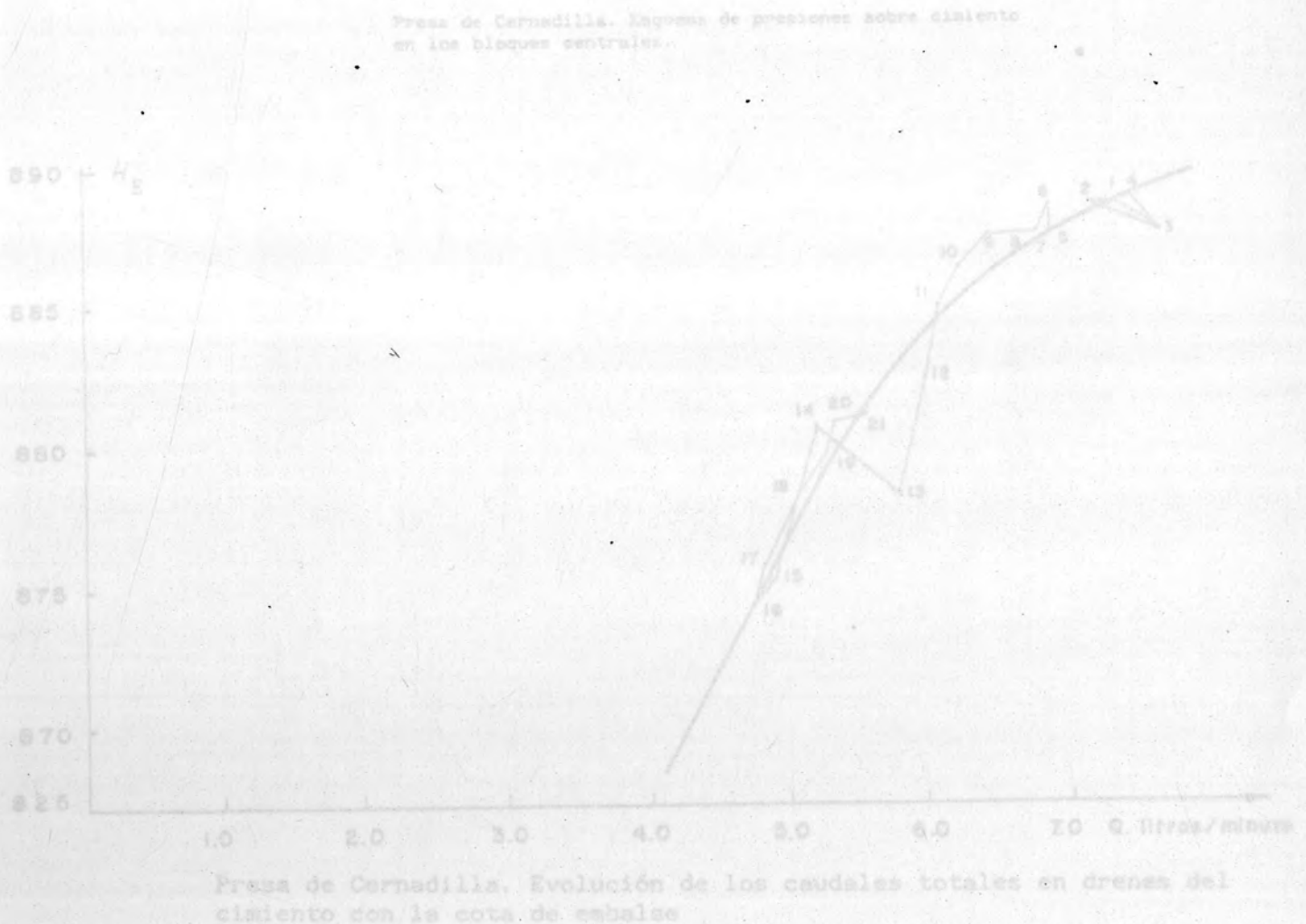
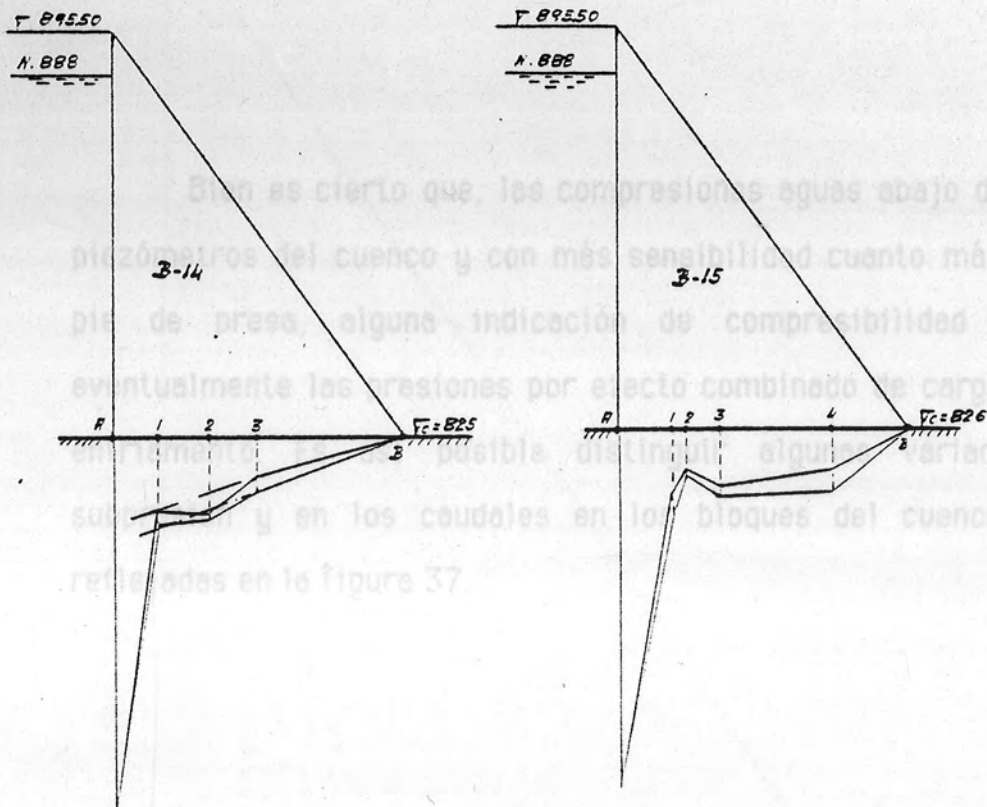
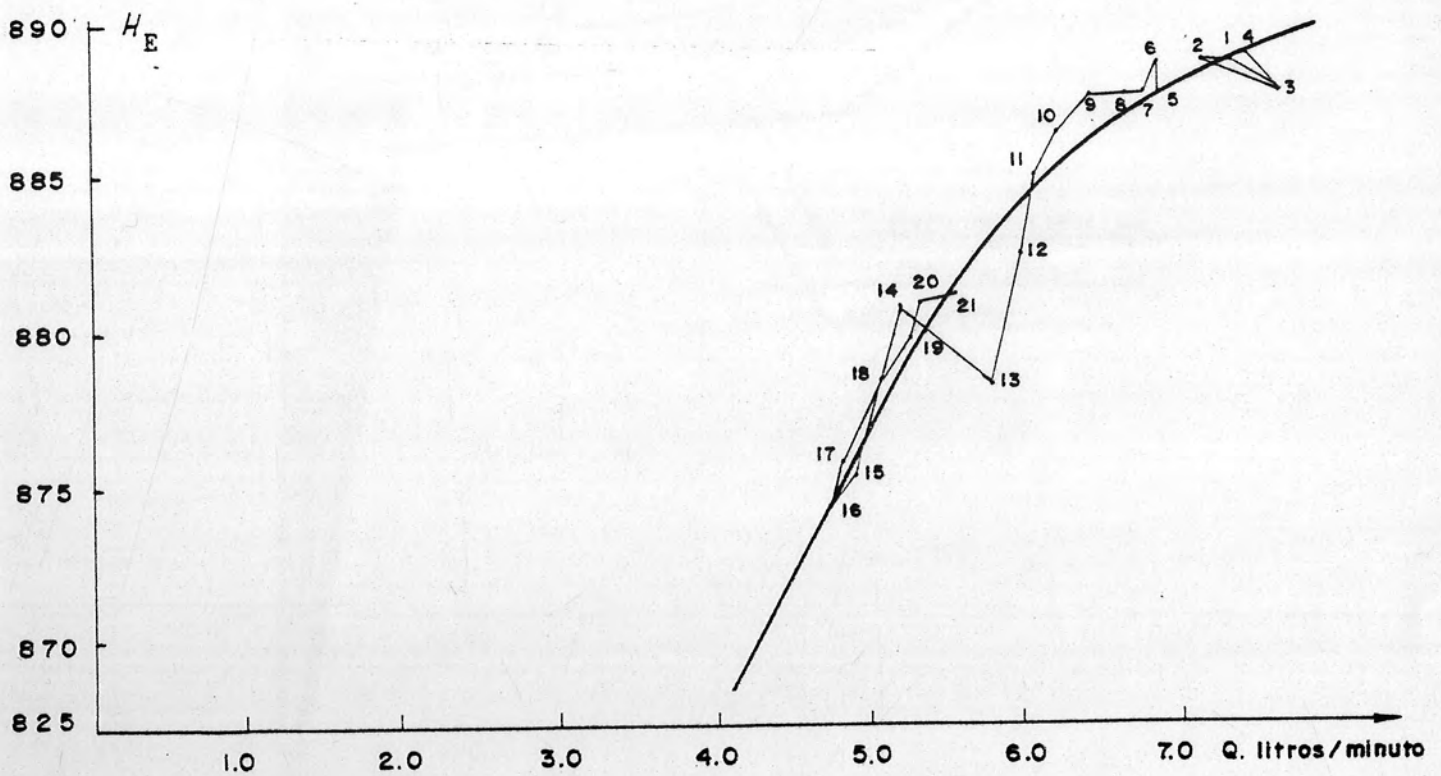


FIGURA 36



Presa de Cernadilla. Esquema de presiones sobre cimiento en los bloques centrales.



Presa de Cernadilla. Evolución de los caudales totales en drenes del cimiento con la cota de embalse

Bien es cierto que, las compresiones aguas abajo dan en algunos piezómetros del cuenco y con más sensibilidad cuanto más proximos al pie de presa, alguna indicación de compresibilidad al aumentar eventualmente las presiones por efecto combinado de carga hidráulica y enfriamiento. Es así posible distinguir algunas variaciones en la subpresión y en los caudales en los bloques del cuenco que quedan reflejadas en la figura 37.

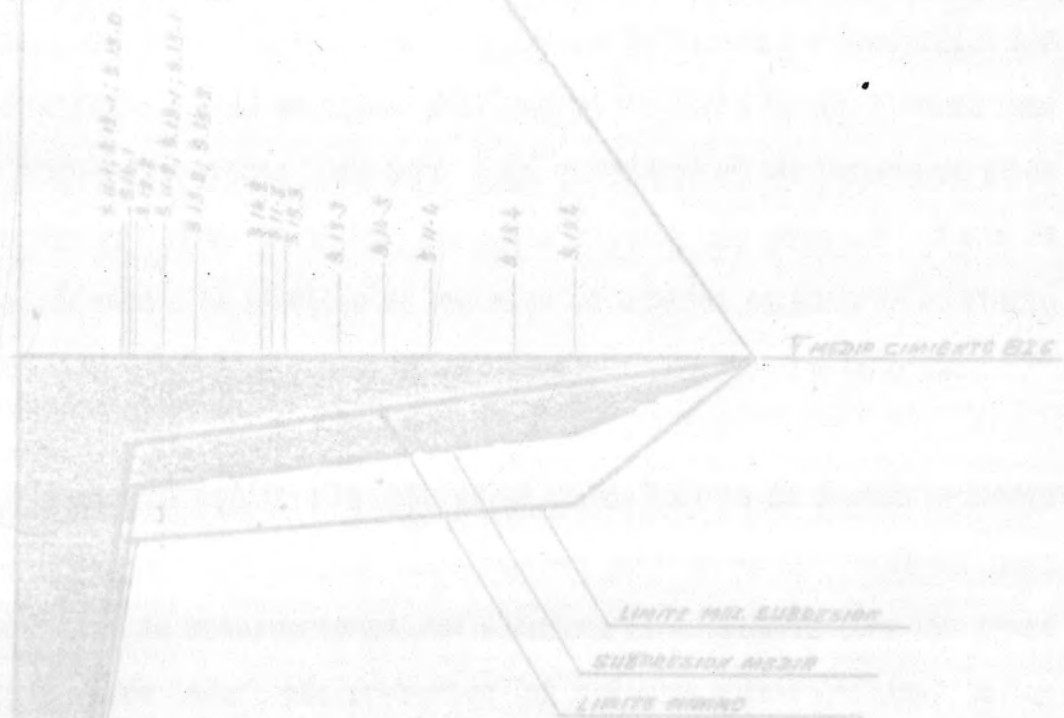


FIGURA 37 Presa de Cerradilla. Esquema resumen de las presiones en el cuenco en los bloques con trazo.

NIVEL 888

$$V_{map} - V_m \text{ CIMIENTO} = 5.7 \text{ m/s.}$$

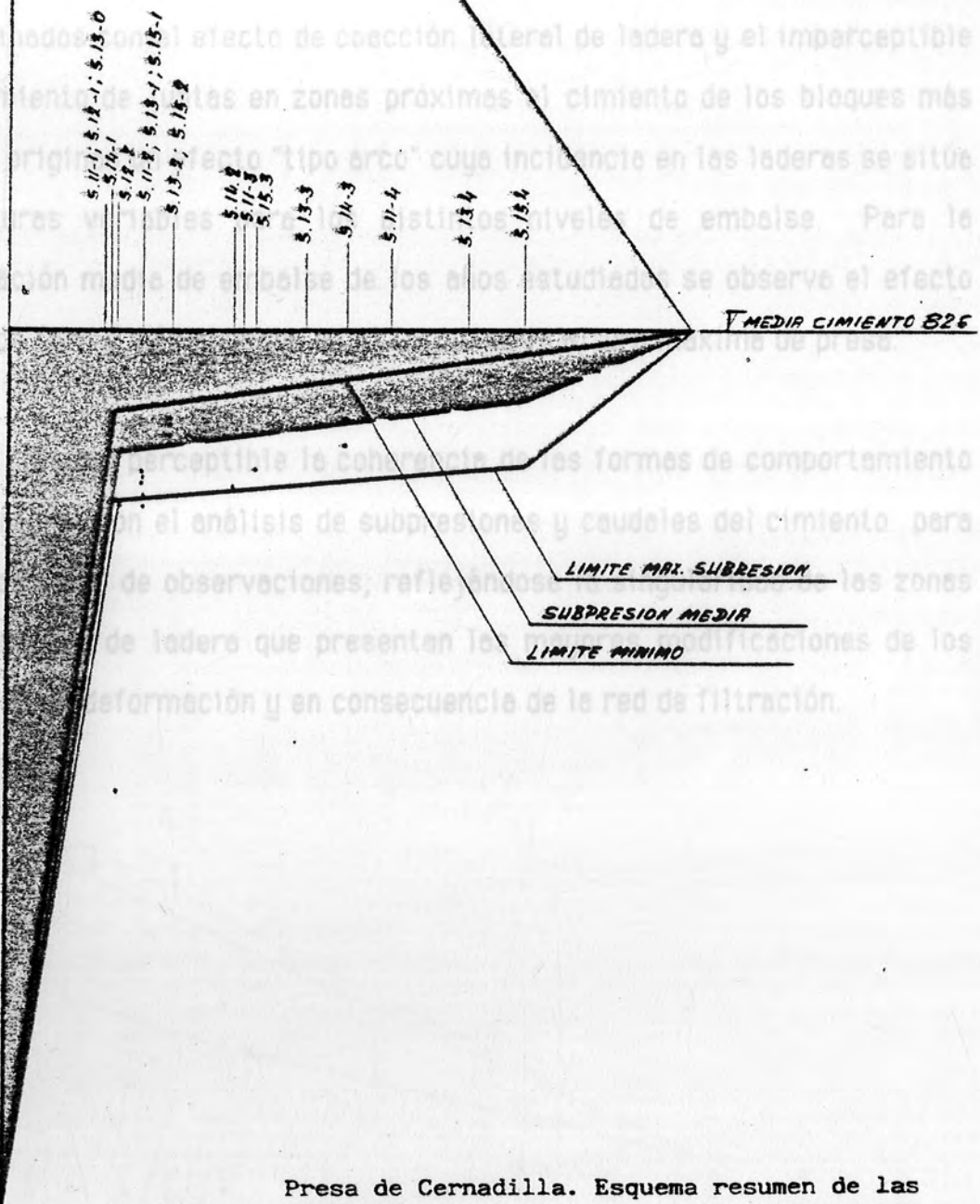


FIGURA 37

Presa de Cernadilla. Esquema resumen de las presiones en el cimientado en los bloques centrales.

En el análisis deformacional del conjunto estructura-roca (Anejo A.8, página 56-78) los aspectos más destacables apuntan hacia una deformación no exclusivamente isostática. Las deformaciones de origen térmico combinadas, con las propias de la carga hidráulica no son independientes por la propia influencia que el nivel de embalse introduce en las condiciones de contorno del paramento mojado; se dan de esta manera desfases temporales de las deformaciones a distintos niveles que combinados con el efecto de coacción lateral de ladera y el imperceptible movimiento de juntas en zonas próximas al cimientto de los bloques más altos originan un efecto "tipo arco" cuya incidencia en las laderas se sitúa a alturas variables para los distintos niveles de embalse. Para la oscilación media de embalse de los años estudiados se observa el efecto arco de forma más acusada en el tercio de la altura máxima de presa.

Es así perceptible la coherencia de las formas de comportamiento estructural con el análisis de subpresiones y caudales del cimientto para los dos tipos de observaciones; reflejándose la singularidad de las zonas de arranque de ladera que presentan las mayores modificaciones de los estados de deformación y en consecuencia de la red de filtración.

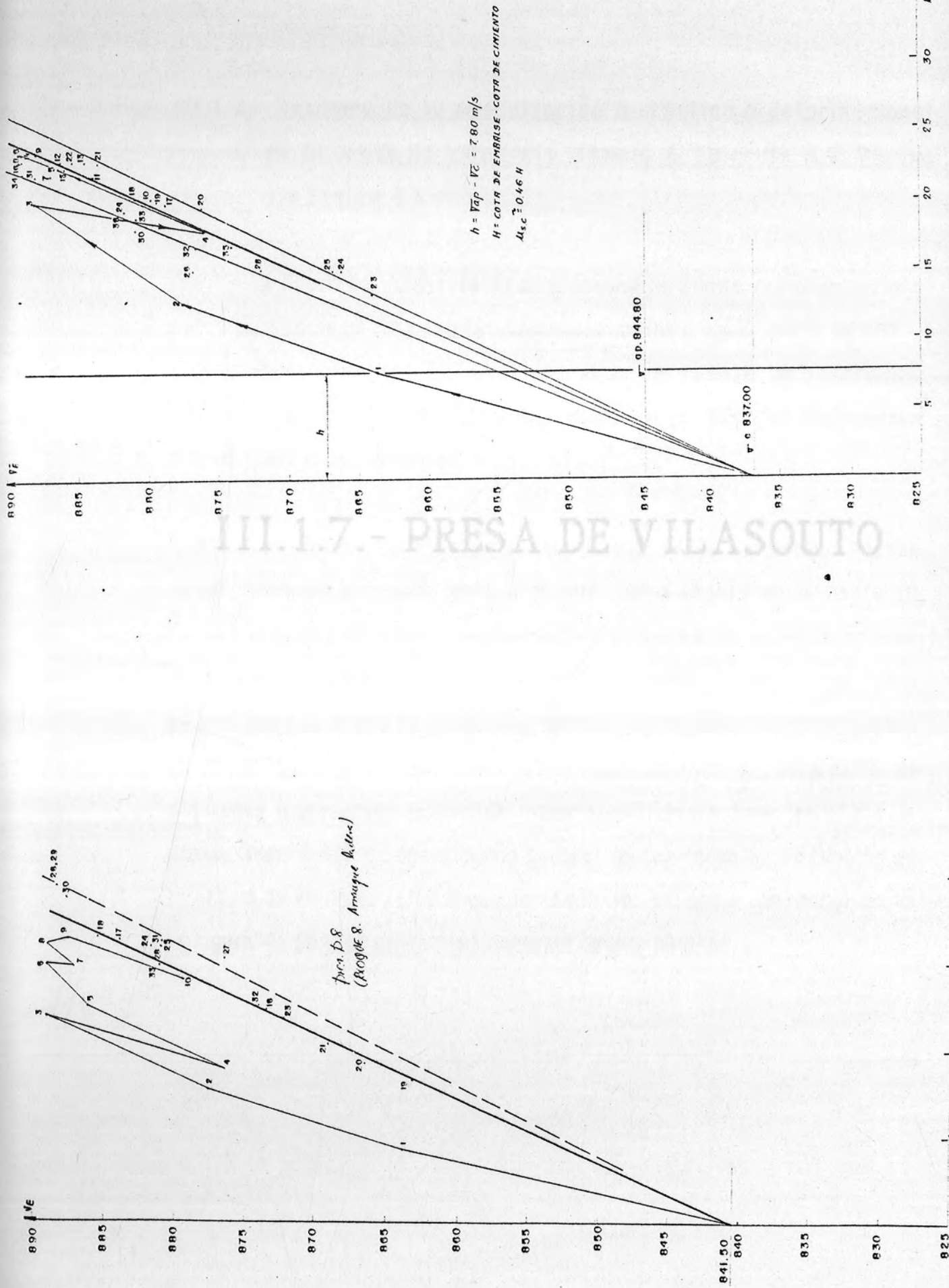


FIGURA 38 y 39.- Presa de Cernadilla. "Evolución de los caudales de filtración y de las presiones manométricas, en los bloques de ladera media baja con mayores solicitaciones tensionales en sus cimentaciones."

III.1.7.- Resumen de la auscultación hidráulica y deformacional
de la presa de Vilasouto. (Anexo A. Epígrafe A.9. Página
1 a Figura 1.)

La Presa de Vilasouto es de gravedad de planta recta con altura sobre cimientos de 58 ms y taludes aguas arriba y aguas abajo de 10% y 65% respectivamente. Su emplazamiento se realiza en terrenos primarios en los que se alternan cuarcitas y pizarras fácilmente meteorizables en superficie.

III.1.7.- PRESA DE VILASOUTO

están formados por vetas de cuarzo que tienen espesores de hasta 20 cms en la ladera derecha. El esquema de eliminación de las subpresiones se basa en una doble cortina de drenaje con taladros interiores de 15 ms de profundidad, desde la galería perimetral y otros exteriores inclinados desde el paramento de aguas abajo, que impiden el desarrollo de presiones y preservan la posible impermeabilización zonal en el pie de presa, (figura 40). La observación general de los caudales en función de la altura de embalse refiere comportamientos tal como los recogidos en la figura 41 con los siguientes características básicas.

III.1.7.- Resumen de la auscultación hidráulica y deformacional de la presa de Vilasouto. (Anejo A. Epígrafe A.9. Página 1 a Figura 1.)

La Presa de Vilasouto es de gravedad de planta recta con altura sobre cimientos de 58 ms y taludes aguas arriba y aguas abajo de 10% y 65% respectivamente. Su emplazamiento se realiza en terrenos primarios en los que se alternan cuarcitas y pizarras fácilmente meteorizables en superficie.

Las discontinuidades más explícitas en la formación rocosa están formados por vetas de cuarzo que tienen espesores de hasta 20 cms en la ladera derecha. El esquema de eliminación de las subpresiones se basa en una doble cortina de drenaje con taladros interiores de 15 ms de profundidad, desde la galería perimetral y otros exteriores inclinados desde el paramento de aguas abajo, que impiden el desarrollo de presiones y preservan la posible impermeabilización zonal en el pie de presa, (figura 40). La observación general de los caudales en función de la altura de embalse refiere comportamientos tal como los recogidos en la figura 41 con los siguientes características básicas.

FIGURA 40- Presa de Vilasouto. "El esquema de eliminación de subpresiones se basa en una doble cortina de drenaje con taladros interiores desde el pie de aguas abajo".

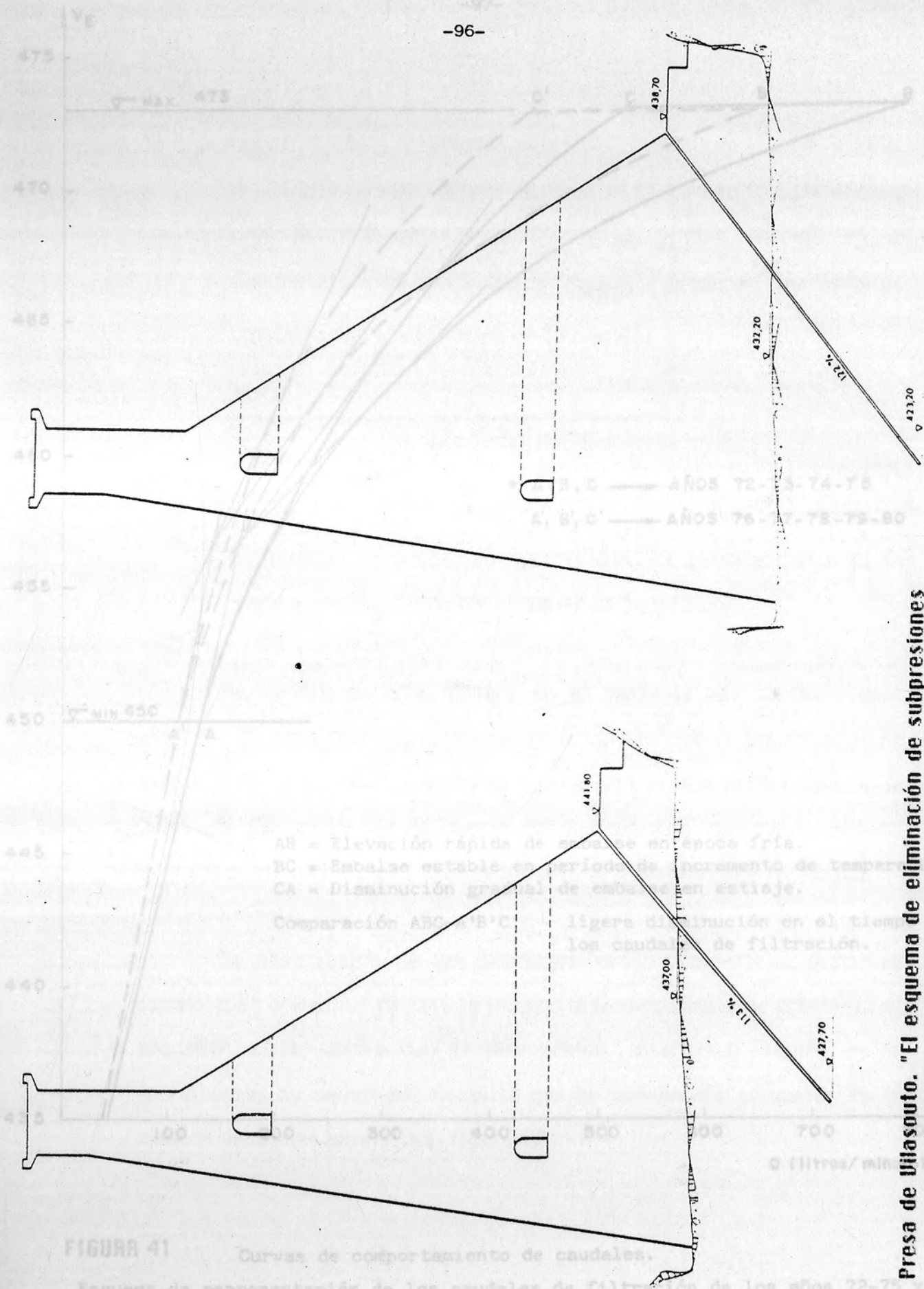


FIGURA 40- Presa de Vilasouto. "El esquema de eliminación de subpresiones se basa en una doble cortina de drenaje con taladros exteriores desde el pie de aguas abajo".

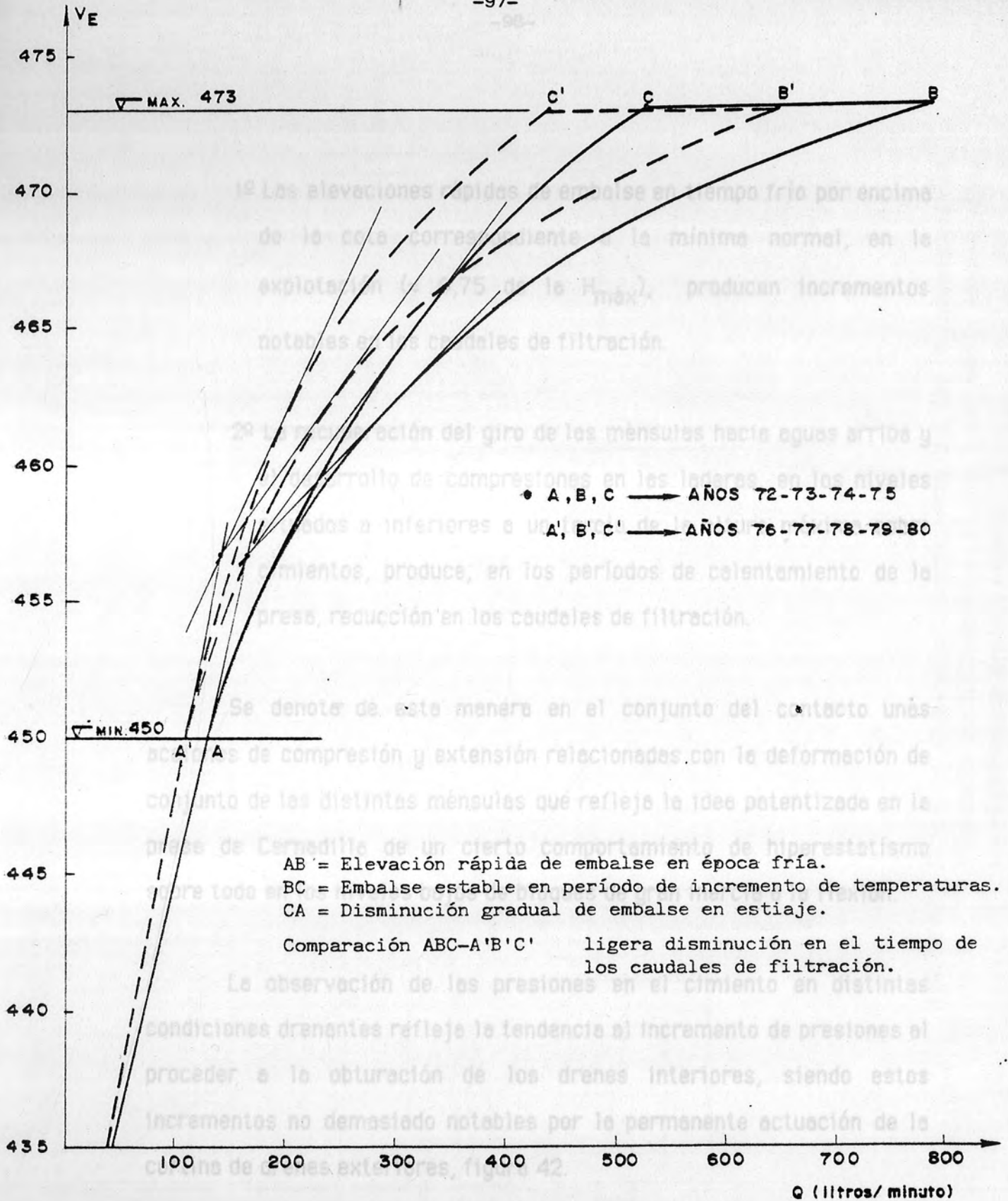


FIGURA 41 Curvas de comportamiento de caudales.

Esquema de representación de los caudales de filtración de los años 72-75 y 76-80.

1º Las elevaciones rápidas de embalse en tiempo frío por encima de la cota correspondiente a la mínima normal, en la explotación ($\approx 0,75$ de la $H_{m\acute{a}x}$), producen incrementos notables en los caudales de filtración.

2º La recuperación del giro de las ménsulas hacia aguas arriba y el desarrollo de compresiones en las laderas, en los niveles situados a inferiores a un tercio de la altura máxima sobre cimientos, produce, en los períodos de calentamiento de la presa, reducción en los caudales de filtración.

Se denota de esta manera en el conjunto del contacto unas acciones de compresión y extensión relacionadas con la deformación de conjunto de las distintas ménsulas que refleja la idea patentizada en la presa de Cernadilla de un cierto comportamiento de hiperestatísmo sobre todo en los niveles bajos de bloques de gran inercia a la flexión.

La observación de las presiones en el cimiento en distintas condiciones drenantes refleja la tendencia al incremento de presiones al proceder a la obturación de los drenes interiores, siendo estos incrementos no demasiado notables por la permanente actuación de la cortina de drenes exteriores, figura 42.

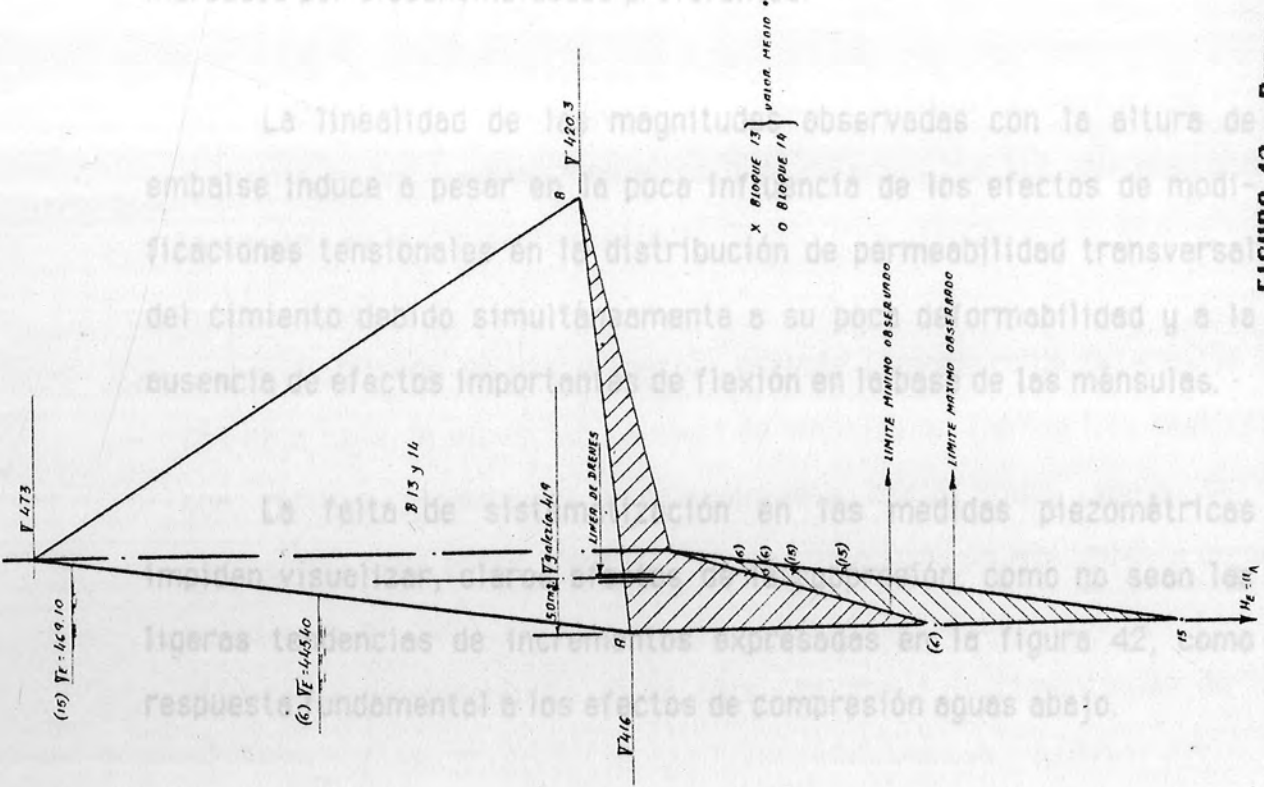
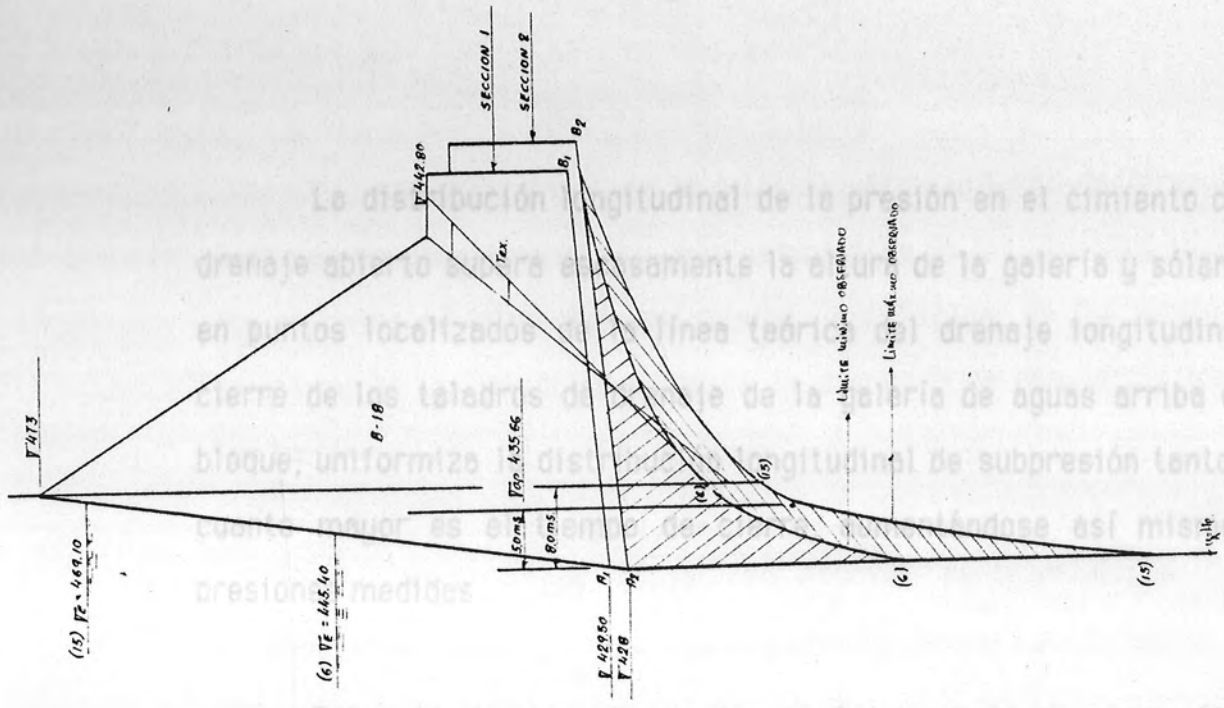


FIGURA 42.- Presa de Vilasouto. "Incrementos en las distribuciones de subpresión en los bloques centrales fuertemente amortiguados por el sistema de drenaje exterior."

La distribución longitudinal de la presión en el cimientó con el drenaje abierto supera escasamente la altura de la galería y sólomente en puntos localizados de la línea teórica del drenaje longitudinal. El cierre de los taladros de drenaje de la galería de aguas arriba de un bloque, uniformiza la distribución longitudinal de subpresión tanto más cuanto mayor es el tiempo de cierre, aumentándose así mismo las presiones medidas.

Estas tendencias observadas en las mediciones piezométricas encajan en un modelo de interpretación cuyas líneas generales responderían a una red de filtración inicial no homogénea, en la que los pequeños caudales de filtración captados por el drenaje se obtienen sólomente en algunos drenes del cimientó y proceden de caminos marcados por discontinuidades preferentes.

La linealidad de las magnitudes observadas con la altura de embalse induce a pesar en la poca influencia de los efectos de modificaciones tensionales en la distribución de permeabilidad transversal del cimientó debido simultáneamente a su poca deformabilidad y a la ausencia de efectos importantes de flexión en la base de las ménsulas.

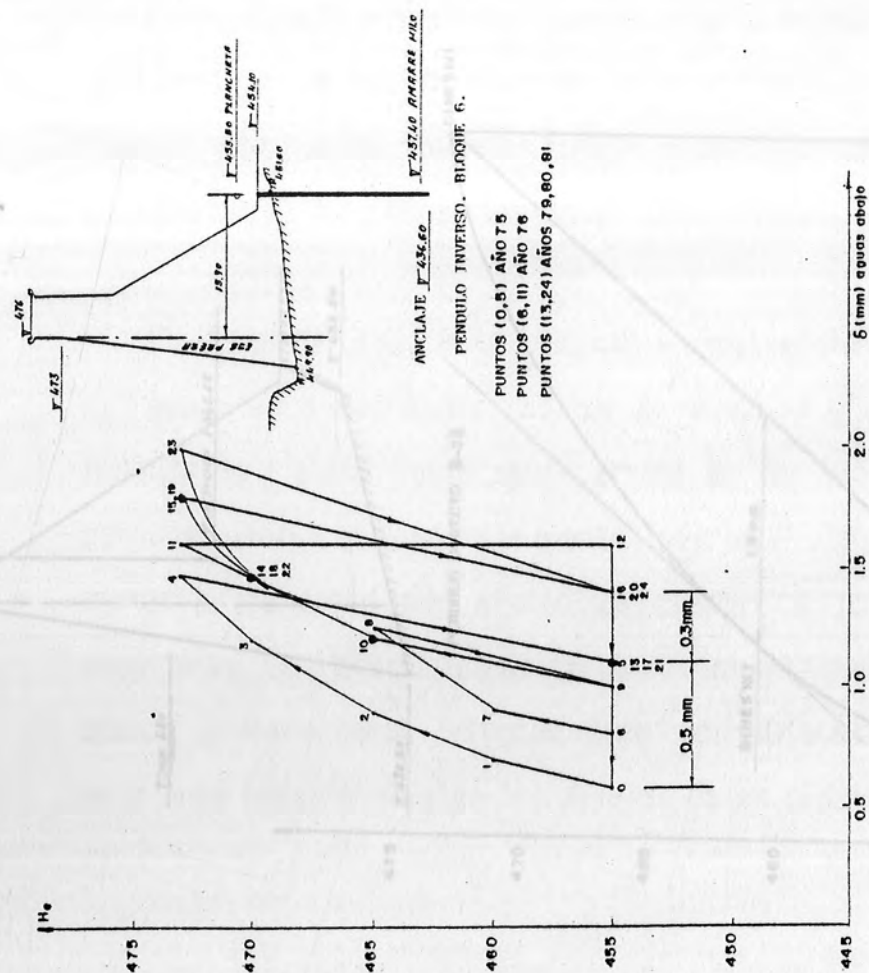
La falta de sistematización en las medidas piezométricas impiden visualizar, claros efectos de la subpresión, como no sean las ligeras tendencias de incrementos expresadas en la figura 42, como respuesta fundamental a los efectos de compresión aguas abajo.

Si son indicativas de la relación permeabilidad-deformación las expresiones paralelas en los desplazamientos de los péndulos inversos y los caudales de filtración; así mismo, la ciclicidad de los movimientos relativos en los péndulos directos se corresponde con la ciclicidad en los caudales.

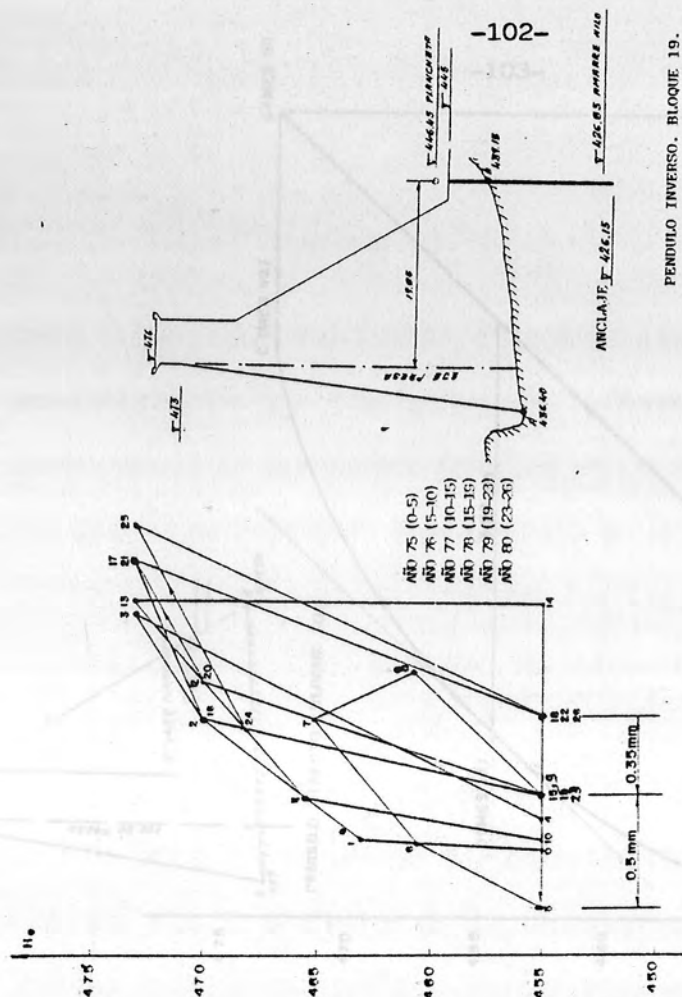
Se apuntan por tanto dos efectos característicos: uno, la correspondencia de los giros remanentes hacia aguas abajo en los bloques, con la disminución general de caudales, que se interpreta por la consolidación general del cimiento durante los primeros años de observación; otro, la sistemática influencia de la ciclicidad de los efectos tensionales por modificación de las situaciones de embalse alto calentamiento a las de embalse bajo enfriamiento, con periodicidad muy repetida a lo largo de los años, (figuras 43 y 44).

De forma esquemática el comportamiento deformacional del cimiento en los bloques más altos y su relación con los caudales podía resumirse de la forma siguiente:

Partiendo de una situación estable tomada como referencia en una cota baja, la elevación de nivel de embalse en tiempo frío realizada con rapidez produce el desplazamiento hacia aguas abajo de la coronación de la presa siguiendo todos sus puntos un movimiento común asimilable al giro conjunto de los bloques según un plano horizontal, situado aproximadamente en la cota próxima a la cimentación de los

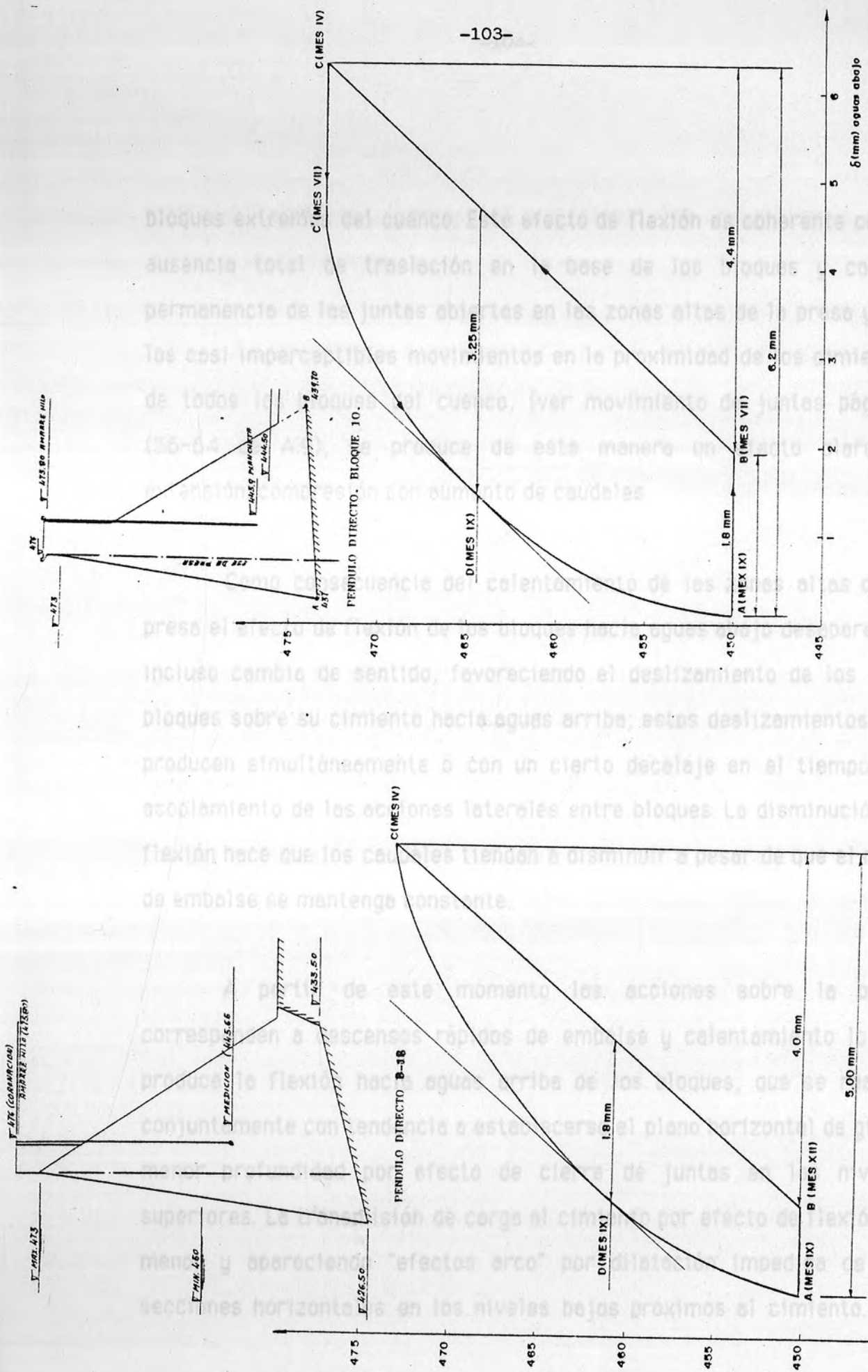


Esquema simplificado de los desplazamientos del péndulo inverso P-6. Años 75-80.



Esquema simplificado de los desplazamientos del péndulo inverso P-19. Años 75-80.

FIGURA 43.- Presa de Vilasouto. "Tendencia a la remanencia de la deformación por giro hacia aguas abajo".



Presa de Vilasouto. Esquema simplificado del comportamiento del péndulo P-10.

FIGURA 44.- Presa de Vilasouto. "Ciclicidad en los desplazamientos relativos, medidos por péndulos directos que se corresponde con la ciclicidad manifestada por las curvas Q-H".

Presa de Vilasouto. Esquema simplificado del péndulo P-18.

bloques extremos del cuenco. Este efecto de flexión es coherente con la ausencia total de traslación en la base de los bloques y con la permanencia de las juntas abiertas en las zonas altas de la presa y con los casi imperceptibles movimientos en la proximidad de los cimientos de todos los bloques del cuenco, (ver movimiento de juntas páginas (56-64 de A.9), se produce de esta manera un efecto claro de extensión/compresión con aumento de caudales.

Como consecuencia del calentamiento de las zonas altas de la presa el efecto de flexión de los bloques hacia aguas abajo desaparece e incluso cambia de sentido, favoreciendo el deslizamiento de los base bloques sobre su cimiento hacia aguas arriba; estos deslizamientos, se producen simultáneamente ó con un cierto decalaje en el tiempo por acoplamiento de las acciones laterales entre bloques. La disminución de flexión hace que los caudales tiendan a disminuir a pesar de que el nivel de embalse se mantenga constante.

A partir de este momento las acciones sobre la presa corresponden a descensos rápidos de embalse y calentamiento lo que produce la flexión hacia aguas arriba de los bloques, que se realiza conjuntamente con tendencia a establecerse el plano horizontal de giro a menor profundidad por efecto de cierre de juntas en los niveles superiores. La transmisión de carga al cimiento por efecto de flexión es menor y apareciendo "efectos arco" por dilatación impedida de las secciones horizontales en los niveles bajos próximos al cimiento. Los

caudales tienden a disminuir al aumentarse las compresiones aguas arriba y en las laderas.

Sucesivamente y coincidiendo con el cambio de acciones de flexión que supone el enfriamiento de los bloques el desplazamiento hacia aguas abajo de la ménsula central produce el arrastre de los bloques laterales eliminado ó reduciéndose el efecto de flexión hacia aguas arriba.

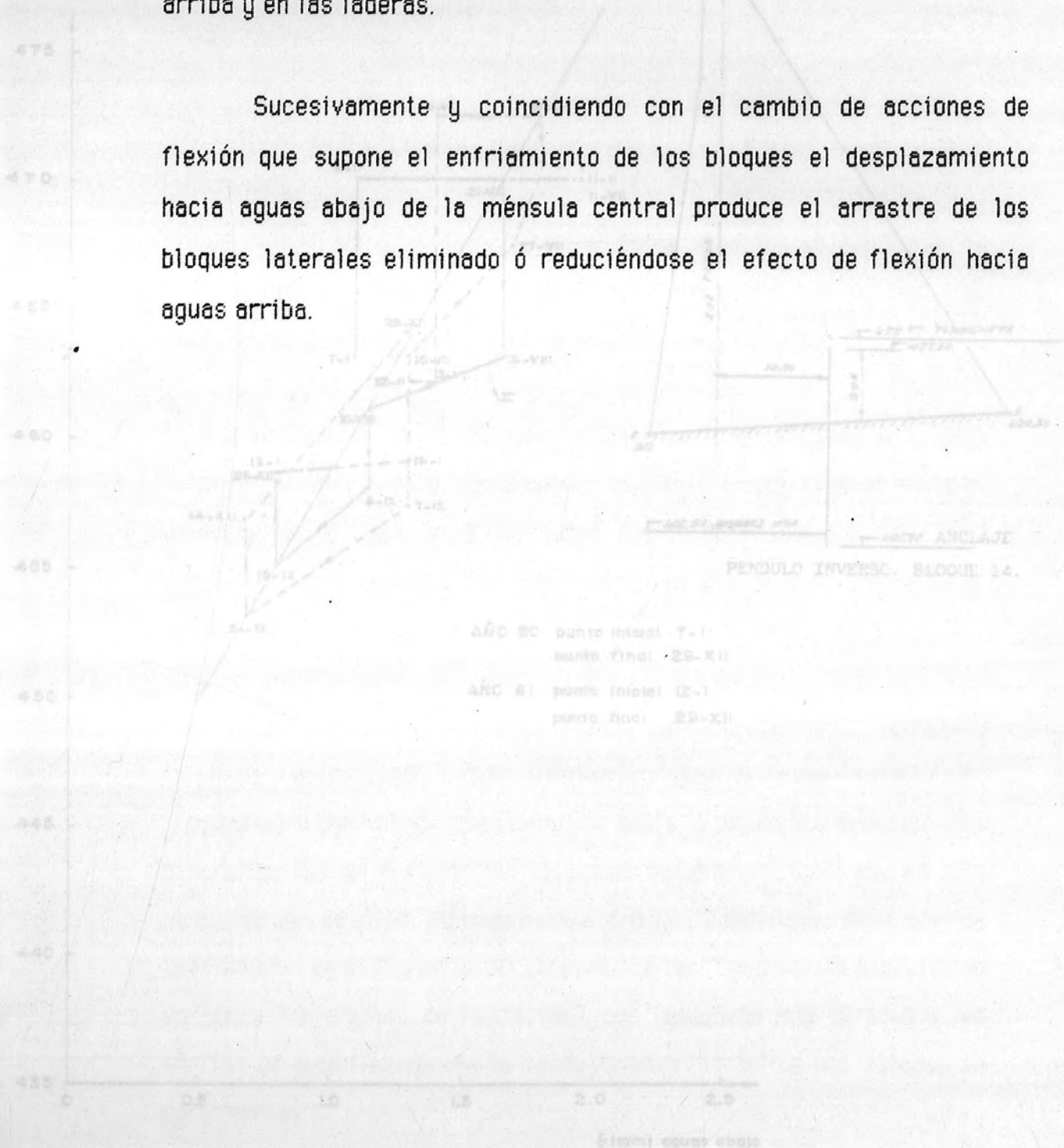
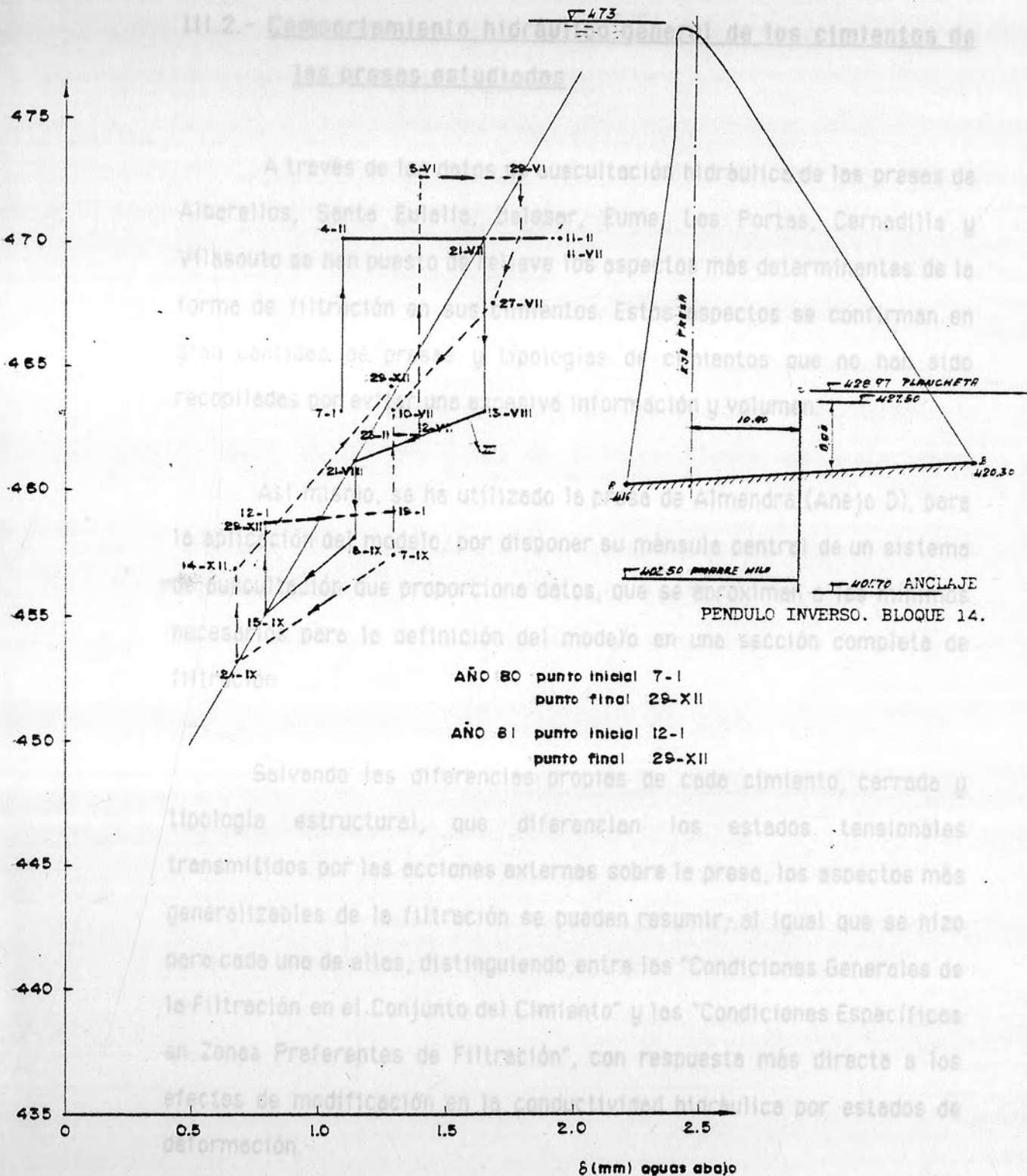


FIGURA 45.- Presa de Villarouto. "Discontinuidad en los desplazamientos medidos por péndulos inversos debidos a los movimientos relativos entre bloques y entre estos y su cimiento por apertura y cierres de juntas".



Esquema simplificado de los desplazamientos del péndulo P-14. Años 80-81.

FIGURA 45.- Presa de Vilasouto. "Discontinuidad en los desplazamientos medidos por péndulos inversos debidos a los movimientos relativos entre bloques y entre estos y su cimiento por apertura y cierres de juntas".

III.2.- Comportamiento hidráulico general de los cimientos de las presas estudiadas

A través de los datos de auscultación hidráulica de las presas de Albarellos, Santa Eulalia, Belesar, Eume, Las Portas, Cernadilla y Vilasouto se han puesto de relieve los aspectos más determinantes de la forma de filtración en sus cimientos. Estos aspectos se confirman en gran cantidad de presas y tipologías de cimientos que no han sido recopiladas por evitar una excesiva información y volumen.

Así mismo, se ha utilizado la presa de Almendra (Anejo D), para la aplicación del modelo, por disponer su ménsula central de un sistema de auscultación que proporciona datos, que se aproximan a los mínimos necesarios para la definición del modelo en una sección completa de filtración.

LA APORTACION MAXIMA DE CAUDALES TIENE SU PROCEDENCIA EN

Salvando las diferencias propias de cada cimiento, cerrada y tipología estructural, que diferencian los estados tensionales transmitidos por las acciones externas sobre la presa, los aspectos más generalizables de la filtración se pueden resumir, al igual que se hizo para cada una de ellas, distinguiendo entre las "Condiciones Generales de la Filtración en el Conjunto del Cimiento" y las "Condiciones Específicas en Zonas Preferentes de Filtración", con respuesta más directa a los efectos de modificación en la conductividad hidráulica por estados de deformación.

III.2.1.- Condiciones generales de la filtración en el cimientó
de las presas estudiadas

1º) LA ESTRUCTURA ROCOSA DE LOS CIMIENTOS DE LAS PRESAS
ESTUDIADAS, CONSTITUYE UN MEDIO DE FILTRACION DE PEQUEÑA
PERMEABILIDAD DE CONJUNTO

Los cimientos de las presas estudiadas, responden con generalidad a las condiciones básicas exigibles para el emplazamiento en ellos de grandes obras de hormigón. Tanto los tratamientos específicos en zonas de discontinuidades francas, como los tratamientos generales de consolidación en zonas alteradas, producen una impermeabilidad general a la filtración que queda patentizada en los bajos caudales y aforados en sus sistemas de drenaje.

2º) LA APORTACION MAXIMA DE CAUDALES TIENE SU PROCEDENCIA EN
ZONAS SINGULARES DEL CIMIENTO NO RELACIONADAS DIRECTAMENTE
CON LA ESTRUCTURA ROCOSA GENERAL DEL MEDIO

La mayor parte de los caudales de filtración se producen en zonas singulares del cimientó y no provienen de la conexión directa del embalse con el drenaje a través de discontinuidades propias de la estructura rocosa.

3.9) LOS FACTORES EXTERNOS DE MAYOR INFLUENCIA EN LA FILTRACION EN

En las presas estudiadas, la permeabilidad equivalente de las zonas en las que los caudales son identificables con el flujo radial que procede del embalse y se recoge en los taladros de drenaje es de un orden de magnitud comprendido entre 10^{-4} y 10^{-6} cm/seg. La obtención de esta permeabilidad global se basa en las siguientes hipótesis:

a) Permeabilidad del cimientto constante.

b) efecto pantalla constante $u_A = B(H_e - H_c) + H_0$; $B = 1,00$, siendo:

$H_e - H_c$ el nivel de embalse sobre la cota de boca de los drenes

y H_0 , la altura de la boca de drenes sobre el contacto

c) Filtración radial en la cimentación con taladros de drenaje

situados a distancia constante C del paramento aguas arriba.

d) Profundidad de la filtración $d = 1,00$ m.l.

e) Altura máxima de embalse (H_T) y Q_{drenes} de la zona para

alturas máximas.

La permeabilidad global obtenida para una longitud de contacto acotada por una cota de cimientto igual en ambas laderas será:

$$K_G = Q_{m\acute{a}x} \cdot C / H_T (L_0 - a + ((L_D + L_I) a^2 / 2))$$

siendo $a = (H_e - H_0) / H_T$ y $(L_0 + L_D + L_I)$ la longitud de contacto en el cuenco y en ambas laderas de la zona total acotada.

3º) LOS FACTORES EXTERNOS DE MAYOR INFLUENCIA EN LA FILTRACION EN EL CONJUNTO DEL CONTACTO PRESA-CIMIENTO, SON: LAS PRECIPITACIONES DE LLUVIA, EL NIVEL DEL EMBALSE Y LA TEMPERATURA AMBIENTE

Las precipitaciones de lluvia afectan casi exclusivamente a los drenes más altos situados en los estribos de gravedad ó muros de acompañamiento que suelen completar el cierre del vaso en las presas estudiadas. Existen algunos ejemplos singulares, como la Presa de las Portas, en la que se observa una conexión clara entre la pluviometría y los caudales en los manantiales de ambas laderas influidos claramente por las precipitaciones de lluvia.

El flujo originado por los niveles freáticos remanentes en las laderas altas, tiende por "gravedad" hacia las zonas bajas del contacto y suele ser interceptado por el intenso drenaje de ladera del que disponen todas las presas estudiadas. En el caso específico de la Presa del Eume, que no tiene un intenso drenaje de ladera, se nota la influencia del flujo longitudinal hacia el cuenco en las zonas bajas por la impermeabilización que supone en esta zona la concentración de esfuerzos arco de compresión; se producen así distribuciones longitudinales de subpresión con incrementos notables en la zona media-baja de la ladera. (A.6.3.2, Página 30-36).

La auscultación general de caudales indica la procedencia y localización de zonas singulares del contacto; el estudio de los drenes en las laderas bajas ó el cuenco, con suficiente profundidad en el cimientó, demuestra la influencia en la filtración de dos factores predominantes: el nivel de embalse y el estado térmico estructural de la presa.

Ambos factores actúan simultáneamente, transmitiendo al cimientó tensiones variables, que en las zonas bajas de ladera y cuenco, se traducen con preferencia en giros relativos hacia aguas arriba, y hacia aguas abajo. El máximo giro relativo aguas abajo se produce para niveles altos de embalse y estados térmicos de enfriamiento que actúan superponiendo sus efectos; el máximo giro relativo aguas arriba se produce en los mayores desembalses del estiaje.

En la explotación de las presas estudiadas, es normal que se den estas dos situaciones extremas, ya que los periodos de llenado del embalse coinciden con épocas de invierno alcanzándose los máximos en los meses de Enero, Febrero y Marzo en coincidencia con los mínimos térmicos ambientales; los desembalses mayores suelen culminar en la cota más baja anual hacia los meses de Agosto, Setiembre coincidiendo con los máximos térmicos en el hormigón de la presa.

La coincidencia de las observaciones con los límites máximos y mínimos citados produce diferencias apreciables en los caudales de filtración, que se pueden sintetizar con algunos ejemplos tipo:

48 EN El nivel de embalse influye como acción exterior, y como acción interna en la ley de subpresiones en el cimientó, introduciendo modificaciones en el contorno de la zona de filtración; el estado térmico en el cimientó podría incluso influir directamente sobre las discontinuidades por cambios de temperatura ó por cambio en la viscosidad del agua; en el caso de las presas estudiadas esta forma de influencia no se ha podido estimar por la gran inercia térmica demostrada en sus cimientos. Salvo innumerables ejemplos que se detectan por pequeñas singularidades (contacto de juntas entre bloques con el cimientó, taladros de inyección no sellados...) es sistemático encontrar estas zonas preferentes de filtración en las zonas bajas de ladera y cuenco en los que los efectos tensionales se modifican con mayor intensidad. Normalmente la ciclicidad en las elevaciones-descensos y los recorridos de embalse no superior al tercio de la oscilación máxima posible (N.M. Normal - N. Medio desagües de fondo y resguardo) hacen que las zonas referidas sean las que más aprecien hidráulicamente las modificaciones de la red de filtración.

Los índices de comportamiento hidráulico-deformacional se obtienen sobre todo en estas zonas, en las que las presiones del agua y los caudales de filtración responden, en general, a modelos no lineales con la altura de embalse y variables en el tiempo. En estas zonas se dan también las mejores indicaciones de deformabilidad de la roca pudiendo observarse como tendencias generales más comunes: remanencia de giros hacia aguas abajo, tiempos de recuperación de deformación, existencia de fisuración....

4º EN EL CONJUNTO DEL CONTACTO PRESA-CIMIENTO, EXISTEN ZONAS PREFERENTES DE FILTRACION EN LAS QUE SE PRODUCEN LOS MAYORES CAUDALES CONTINUOS Y LAS MAXIMAS SUBPRESIONES

Al hablar de "zonas preferentes de filtración" se hace referencia explícita a las zonas del contacto que sin conexión aparente con los flujos laterales de ladera, dan los índices de mayores caudales continuos y máximas subpresiones. Salvando innumerables ejemplos que se detectan por pequeñas singularidades (contacto de juntas entre bloques con el cimiento; taladros de inyección no sellados....) es sistemático encontrar estas zonas preferentes de filtración en las zonas bajas de ladera y cuenco en los que los efectos tensionales se modifican con mayor intensidad. Normalmente la ciclicidad en las elevaciones-descensos y los recorridos de embalse no superior al tercio de la oscilación máxima posible (N.M. Normal - N. Medio desagües de fondo y resguardo) hacen que las zonas referidas sean las que más aprecien hidráulicamente las modificaciones de la red de filtración.

Los índices de comportamiento hidráulico-deformacional se obtienen sobre todo en estas zonas, en las que las presiones del agua y los caudales de filtración responden, en general, a modelos no lineales con la altura de embalse y variables en el tiempo. En estas zonas se dan también las mejores indicaciones de deformabilidad de la roca pudiendo observarse como tendencias generales más comunes: remanencia de giros hacia aguas abajo, tiempos de recuperación de deformación, existencia de fisuración.....

59) EN LAS ZONAS PREFERENTES DE FILTRACION, DE APARENTE
HOMOGENEIDAD, EL FLUJO PRINCIPAL DEL AGUA QUE PROCEDE DEL
EMBALSE SE CANALIZA DE FORMA DISCONTINUA, A TRAVES DE VIAS
DE FILTRACION MARCADAS POR PEQUEÑAS DISCONTINUIDADES EN LA
ROCA TRATADA

La permeabilidad decreciente con la profundidad como respuesta a una fisuración influenciada por la decompresión, la fase de obra y la metodología en general, concentra la filtración en la zona alta del cimiento.

La profusión de ejemplos presentados en el Anejo A permite a través de las presas estudiadas, una generalización del carácter discontinuo de la filtración en zonas en las que, aparentemente, no existen más discontinuidades que las que pueda tener la roca del cimiento con sus tratamientos específicos.

Los matices diferenciables en el conjunto de los cimientos de las presas recogidas en el Anejo A, se refieren al tipo de discontinuidades más generalizado en el contacto, aún cuando, en un mismo cimiento se pueden establecer tipologías ó modelos básicos diferentes por su comportamiento hidráulico-deformacional.

62) EN Son así notables ó más evidentes, los efectos de discontinuidad de la filtración en las presas de las Portas ó Santa Eulalia, en las que existen discontinuidades fácilmente diferenciables por el predominio de litoclasas orientadas en dirección vertical, concordantes con sus estratificaciones en pizarras cuarcitas (Las Portas) ó pizarras-esquistos (Santa Eulalia). comportamiento hidráulico de los cimientos de las presas estudiadas en aquellas zonas que se consideran "preferentes de filtración" se puede sintetizar en dos tipos de "modelos" de acuerdo con sus respuestas instantáneas y diferidas a las acciones externas:

Un modelo tipo sería el presentado en las presas de:

ALBARELLOS. Secciones del cuenco y margen izquierda A.3. Págs. 79-104

BELESAR. Sección tipo margen izquierda A.5. Págs. 18-32

LAS PORTAS. Sección tipo del cuenco A.7. Págs. 48-70

VILASOUTO. Sección tipo del cuenco A.9. Págs. 17-34

En este modelo tipo las características dominantes en el flujo hidráulico se identifican con "zonas de comportamiento homogéneo a la filtración con influencia de los estados tensionales aguas arriba y aguas abajo en el equilibrio hidráulico por el doble efecto de extensión/compresión de discontinuidades que se presuponen pequeñas y muy distribuidas

62) EN UN MACIZO ROCOSO, LA DIFERENCIA DE COMPORTAMIENTO
HIDRAULICO, EN DISTINTAS SECCIONES EXENTAS DE SINGULARI-
DADES FRANCAS, DEPENDE DE EL TIPO, LA INTENSIDAD Y LA FORMA
DE DISTRIBUCION DE LAS DISCONTINUIDADES

El comportamiento hidráulico de los cimientos de las presas estudiadas en aquéllas zonas que se consideran "preferentes de filtración", se puede sintetizar en dos tipos de "modelos" de acuerdo con sus respuestas instantáneas y diferidas a las acciones externas:

Un modelo tipo sería el presentado en las presas de:

ALBARELLOS. Secciones del cuenco y margen izquierda A.3. Págs. 79-104.

BELESAR. Sección tipo margen izquierda A.5. Págs. 18-32.

LAS PORTAS. Sección tipo del cuenco. A.7. Págs. 48-70.

VILASOUTO. Sección tipo del cuenco A.9. Págs. 17-34.

En este modelo tipo las características dominantes en el flujo hidráulico se identifican con: "zonas de comportamiento homogéneo a la filtración con influencia de los estados tensionales aguas arriba y aguas abajo en el equilibrio hidráulico por el doble efecto de extensión/compresión de discontinuidades que se presuponen pequeñas y muy distribuidas.

70) El segundo modelo tipo, es el que se ha presentado en algunas secciones de las presas:

SANTA EULALIA. Secciones correspondientes a los bloques colaterales y al cuenco. A.4. Págs. 37-57.

80) LAS PORTAS. Secciones correspondientes a los bloques colaterales al cuenco. A.7. Págs. 48-70.

90) CERNADILLA. Secciones correspondientes a los bloques colaterales al cuenco A.8. Págs. 46-53.

En este segundo modelo tipo "las características básicas deducidas por la auscultación hidráulica se identifican con "zonas de comportamiento discontinuo a partir de un nivel de embalse "umbral" con influencia predominante de extensiones aguas arriba". Ambos modelos se estudian en III.2.2. al considerar las condiciones de filtración en zonas preferentes. Los modelos están saneados y consolidados en todas las zonas superficiales que presentan alguna "duda razonable, de excesiva capacidad filtrante"; los caudales de filtración, que provienen del flujo radial directo, son escasos y se corresponden con, la gran homogeneidad y pequeña permeabilidad en el conjunto del contacto hormigón-roca.

Centrándose en este tipo de cimiento, se observa, que la estanqueidad de la pantalla se interrumpe cuando las tensiones a las que esta sometida superan la capacidad de resistencia a tracción del

- 7º) LAS INYECCIONES DESTINADAS A FORMAR UNA PANTALLA IMPERMEABLE EN EL PIE DE AGUAS ARRIBA DEL CONTACTO, NO SUPONEN EN GENERAL UNA CONDICION DE CONTORNO CONTINUA, DE ESTANQUEIDAD
- 8º) LA LINEA TEORICA DE DRENAJE FORMADA POR TALADROS DISTRIBUIDOS LONGITUDINALMENTE EN EL CONTACTO, NO SUPONE NECESARIAMENTE UNA DISCONTINUIDAD TOTAL EN LA FILTRACION
- 9º) LOS EFECTOS TENSIONALES DE EXTENSION/COMPRESION EN LADERAS Y/O LOS DE FLEXION EN LA BASE DE LAS MENSULAS Y ARCOS, PRODUCEN MODIFICACIONES INMEDIATAS EN LA RED DE FILTRACION COMO RESPUESTA A LA DEFORMACION NO DIFERIDA

En todas las presas estudiadas, la eliminación de subpresiones y caudales de filtración en el cimientó se confía a las soluciones convencionales de "pantalla de impermeabilización y drenaje". Los cimientos están saneados y consolidados en todas las zonas superficiales que presentan alguna "duda razonable, de excesiva capacidad filtrante"; los caudales de filtración, que provienen del flujo radial directo, son escasos y se corresponden con, la gran homogeneidad y pequeña permeabilidad en el conjunto del contacto hormigón-roca.

Centrándose en este tipo de cimientó, se observa, que la estanqueidad de la pantalla se interrumpe cuando las tensiones a las que esta sometida superan la capacidad de resistencia a tracción del

conjunto roca-inyección; este efecto que es general, en todos los cimientos de las presas estudiadas, no supone la ineficacia de la pantalla, más que en las zonas específicamente solicitadas ó con una configuración en sus discontinuidades que ha imposibilitado la penetración de la inyección.

Aún siendo este efecto, localizado discretamente en el contacto, con preferencia a manifestarse en zonas bajas de arranque de ladera ó cuenco, sus consecuencias son siempre la penetración del agua hacia el interior de la zona de filtración y/ó la tendencia en las presiones manométricas aguas arriba de la presa, a tomar valores próximos a la altura de embalse.

Tanto las conclusiones octava como novena y décima, han sido suficientemente explicitadas en el Anejo A; a modo de síntesis se presentan las referencias de algunas de las observaciones mas claras contenidas en él.

El comportamiento de la roca, se corresponde con un efecto de mayor lentitud en la recuperación de deformaciones y una menor oscilación en ellas, dando respuestas a las acciones exteriores condicionadas por la menor capacidad drenante para eliminar el agua de infiltración ó presión retenida en las discontinuidades de la roca.

102) LOS CAUDALES DE FILTRACION Y LAS PRESIONES EN EL CIMIENTO
EVOLUCIONAN EN EL TIEMPO DE LA MISMA MANERA QUE LO HACE LA
DEFORMABILIDAD DE LA ROCA

La tendencia general observada en algunas secciones de las presas estudiadas, hacia la disminución de caudales de filtración y aumento de las subpresiones en una sección transversal se corresponde, en ellas, con la existencia de giros remanentes hacia aguas abajo ó consolidación general del cimiento, siendo el peso específico de los efectos de compresión aguas abajo determinantes de la evolución de la red de filtración con el tiempo.

Las consecuencias a medio plazo son: mayores presiones medias en la línea teórica de drenaje longitudinal, más uniformidad en la distribución del agua filtrante y un menor gradiente embalse-drenaje si la expansión de discontinuidades no es acompañada de fisuración neta en el pie de aguas arriba; el cimiento, tenderá a acumular presiones, al tiempo que la extensión de discontinuidades aguas arriba aumenta su capacidad de retención de agua y la compresión aguas abajo impide el drenaje por el pie de presa.

Tal comportamiento de la roca, se corresponde con un efecto de mayor lentitud en la recuperación de deformaciones y una menor oscilación en ellas, dando respuestas a las acciones exteriores condicionadas por la menor capacidad drenante para eliminar el agua de infiltración a presión retenida en las discontinuidades de la roca.

III.2.2 La colmatación física del drenaje o de las discontinuidades próximas a él tienen un efecto similar al descrito al disminuir la permeabilidad equivalente global de la sección transversal de filtración. Este proceso de evolución de la red de filtración en el tiempo se produce principalmente en los primeros años de puesta en carga dando en años sucesivos tendencias estables que permiten un análisis, con situaciones "virtualmente instantáneas en los procesos de subida y bajada de embalse, no exentos de manifestar la lógica histéresis producida por los tiempos de ajuste de la red de filtración a los estados de equilibrio hidráulico. En filtración (III-2 punto 4º) en las que se producen los mayores caudales continuos y las máximas subpresiones con origen en el flujo radial embalse-drenaje.

La homogeneidad aparente de estas zonas queda matizada por la susculación hidráulica, que demuestra como "la filtración se canaliza de forma discontinua a través de pequeñas discontinuidades". (III.2 punto 5º); el tipo de discontinuidades, su intensidad y su forma de distribución tiene origen en la propia estructura rocosa tratada; los efectos tensionales transmitidos al cimentado por las acciones externas variables modifican instantáneamente o de forma diferida en el tiempo, la red de filtración; (III.2, Puntos 6º, 9º y 10º).

Centrando el problema en los efectos instantáneos de las subidas y bajadas de embalse sobre los caudales de filtración y las distribuciones de subpresiones, se encuentran en los cimientos de los

III.2.2.- Condiciones específicas en zonas preferentes de filtración en los cimientos de las presas estudiadas

En todas las presas estudiadas se cumplen las "condiciones generales de filtración" expresadas en el epígrafe III.2 puntos 1º, 2º y 3º. Para centrar el análisis en aquellas zonas del cimiento en las que se dan modificaciones de la red de filtración identificables con los cambios de conductividad hidráulica por variación de estados tensionales, el presente epígrafe se refiere al comportamiento hidráulico en las zonas preferentes en filtración (III-2 punto 4º) en las que se producen los mayores caudales continuos y las máximas subpresiones con origen en el flujo radial: embalse-drenaje.

La homogeneidad aparente de estas zonas queda matizada por la auscultación hidráulica, que demuestra como: "la filtración se canaliza de forma discontinua a través de pequeñas discontinuidades". (III.2. punto 5º); el tipo de discontinuidades, su intensidad y su forma de distribución tiene origen en la propia estructura rocosa tratada; los efectos tensionales transmitidos al cimiento por las acciones externas variables modifican instantáneamente ó de forma diferida en el tiempo, la red de filtración; (III.2, Puntos 6º, 9º y 10º).

Centrando el problema en los efectos instantáneos de las subidas y bajadas de embalse sobre los caudales de filtración y las distribuciones de subpresiones, se encuentran en los cimientos de las

presas estudiadas "modelos tipificables de comportamiento hidráulico en zonas específicas" que responden en todos los casos a las condiciones generales de falta de estanqueidad puntual en la pantalla de impermeabilización y efectividad limitada en el drenaje para interrumpir la filtración (III.2 Puntos, 7º y 8º); las respuesta instantáneas a las subidas y bajadas de embalse dan comportamientos "tipo", relacionables por la auscultación hidráulica a medio y largo plazo, con las deformaciones inmediatas y diferidas en el cimientto.

a) Modelo de sección transversal Tipo I.- Se considera como "modelo de sección transversal tipo I, aquella sección que representa zonas con discontinuidades independientes que dan lugar a vías preferentes de filtración del agua, sin conexión aparente entre ellas, los cierres y aperturas de discontinuidades "preestablecidas", se producen de forma instantánea como respuesta a las presiones del agua, al llegarase a un nivel de embalse "umbral". En las zonas del cimientto que responden hidráulicamente a esta modelización, se dan comportamientos de las siguientes características generales:

1º) En los piezómetros situados en la proximidad del "pie de aguas arriba", la presión del agua coincide con el nivel de embalse sobre cimientto, para niveles altos, cercanos al máximo; existen piezómetros interiores a la zona de filtración "pantalla-drenaje", en los que los incrementos de presión respecto a la modificación de nivel de embalse son aproximadamente igual a 1,00 a partir de una cota de embalse "umbral", los valores absolutos de la presión del

III.2.2.1.- Modelos de comportamiento hidráulico en zonas preferentes de filtración de los cimientos de las presas estudiadas en el Anejo A (Toma I)

A modo de resumen, se presenta la síntesis de las observaciones más generales deducidas de la auscultación hidráulica en las presas estudiadas como modelos "tipo" de comportamiento hidráulico de sus cimientos.

a) Modelo de sección transversal Tipo I. - Se considera como "modelo de sección transversal tipo I, aquella sección que representa zonas con discontinuidades independientes que dan lugar a vías preferentes de filtración del agua, sin conexión aparente entre ellas; los cierres y aperturas de discontinuidades "preestablecidas", se producen de forma instantánea como respuesta a las presiones del agua, al llegarse a un nivel de embalse "umbral". En las zonas del cimiento que responden hidráulicamente a ésta modelización, se dan comportamientos de las siguientes características generales:

- 12) En los piezómetros situados en la proximidad del "pie de aguas arriba", la presión del agua coincide con el nivel de embalse sobre cimiento, para niveles altos, cercanos al máximo; existen piezómetros, interiores a la zona de filtración "pantalla-drenaje", en los que los incrementos de presión respecto a la modificación de nivel de embalse son aproximadamente igual a 1,00 a partir de una cota de embalse "umbral"; los valores absolutos de la presión del

agua en estos piezómetros tiende a reproducir la altura del embalse sobre cimientto a medida que la longitud transversal a la zona "abierta" aguas arriba, es mayor; las relaciones u/H son lineales, con gradientes ($\Delta u/\Delta H$) mayores para las cotas más altas de embalse, indicándose el cambio de linealidad en el gradiente, a partir del nivel de embalse "umbral"; la distribución de subpresiones en zonas poco profundas indica, para niveles de embalse superiores al umbral, ausencia de pérdida de carga en zonas próximas al pié de aguas arriba y penetración del agua paralelamente al contacto a través de la pantalla.

2º) Para embalses altos, los caudales de drenaje varían en el gradiente hidráulico con una relación -pérdida de carga-flujo, no lineal; su tendencia es representable por curvas del tipo $q^n \propto B.H(1 < n \leq 2)$, que indican un aumento de caudales en régimen turbulento con pérdidas de carga proporcionales a la velocidad real de filtración por las discontinuidades.

3º) En general, en las zonas en las que se presentan este tipo de secciones, se da una filtración muy discontinua para embalses bajos; los caudales se aforan en drenes específicos del cimientto que recogen el agua de las distintas vías de filtración ya preestablecidas. El efecto generalizado de aperturas aguas arriba, para embalses altos, concentra la penetración del agua a través de las zonas más claramente fisuradas y favorece su drenaje en los

drenes específicos conectados a las vías principales de filtración. El incremento en las presiones medias de la línea teórica de drenaje longitudinal, depende de la capacidad de captación por los taladros del agua infiltrada; en general, en los cimientos de las presas estudiadas que responden al modelo presentado, el drenaje supone una interrupción muy grande de la filtración hacia el pie de aguas abajo, impidiendo que se desarrollen en él presiones de agua mantenidas.

4º) Los efectos de fisuración neta aguas arriba que se manifiestan a partir del nivel de embalse "umbral" suponen una disminución de la sección real de apoyo de las ménsulas en el cimiento; los incrementos de giro hacia aguas abajo en las subidas de embalse se recuperan con facilidad en las bajadas indicando así la capacidad drenante de la zona de filtración y la escasa retención de agua en las discontinuidades; los efectos secundarios debidos a los desfases temporales son muy atenuados y la disipación de presiones casi inmediata.

5º) El comportamiento de estas secciones en el tiempo es, en general estable y demuestra que la fisuración aguas arriba, se ha producido en ciclos de embalse anteriores, correspondiéndose con los primeros años de explotación ó más probablemente con la puesta en carga inicial de la presa. La localización general de estas zonas en los arranques de ladera presupone en ellas efectos tensionales más acusados, que producen fisuración en puntos de mayor fragilidad de la roca.

- b) Modelo de sección transversal tipo II.- Se considera como "modelo de sección transversal tipo II, aquella que representa a zonas en las que se dan discontinuidades pequeñas distribuidas con uniformidad en la roca matriz; su comportamiento es asimilable al de un medio homogéneo con variación en su conductividad hidráulica bajo tensión por la extensión/compresión de sus discontinuidades.

En las zonas del cimientto que responden a este tipo de sección transversal los efectos de las subidas y las bajadas de embalse dan variaciones en la red de filtración, diferidas en el tiempo a corto y largo plazo. Las características principales de su comportamiento hidráulico son:

- 1º) En los piezómetros situados en el pié de aguas arriba, la presión del agua coincide con el nivel de embalse sobre cimientto; para los niveles altos; en los piezómetros interiores a la zona de filtración "pantalla drenaje" y a partir de cotas superiores a una "umbral" los valores absolutos de la presión del agua tienden a aumentar/disminuir de forma progresiva y continua, distinta de la lineal, con las elevaciones/descensos del embalse. La recuperación del equilibrio hidráulico, se produce aproximadamente para un nivel de embalse "umbral".
- La forma de producirse el crecimiento de las presiones aguas arriba cuando aumenta la altura de embalse, depende de la proporción entre el agua que penetra en la sección de filtración y la que sale por el

2º) drenaje; si la sección filtra con muchas dificultades los caudales en los drenes aumentarán poco y las presiones se acumularán aguas arriba, quedando el agua retenida en las pequeñas discontinuidades que tienden a aumentar sus dimensiones; en las bajadas de embalse las presiones tienden a mantenerse en la zona de filtración por la dificultad de evacuación del agua retenida en las discontinuidades.

2º) Los caudales de drenaje varían con la expansión ó compresión de discontinuidades de forma continua y progresiva y en general se producen con un desfase en el tiempo debido a la pequeña velocidad de filtración del agua en el medio; tanto la expansión aguas arriba como la compresión aguas abajo, cuando se producen simultáneamente, tienden a aumentar las presiones medias en la línea teórica de drenaje longitudinal.

3º) En general en las zonas en los que se presentan este tipo de secciones, la red de filtración penetra, con el tiempo, hacia al pie de aguas abajo de la presa, debido a la dificultad que tiene el drenaje para cortar totalmente la filtración.

El drenaje real representa, por tanto, un punto singular de presión manométrica cero en una línea teórica de drenaje longitudinal que mantiene una presión manométrica media distinta de cero, no impidiendo que se desarrollen presiones en la zona del pie de aguas abajo por efecto de compresión.

42) El efecto de expansión/compresión aguas arriba/aguas abajo produce una evolución histórica de las presiones y de los caudales que al repetirse en el tiempo dan comportamientos estables diferenciados a partir de una altura de embalse "umbral" que sintetiza un equilibriohidráulico en la red de filtración a partir del que se manifiestan claros los efectos tensionales aguas arriba y aguas abajo de la línea tenía de drenaje longitudinal; en general, los efectos de compresión aguas abajo tienden a uniformar la filtración se distribuye mejor en los drenes, el agua que penetra aguas arriba del contacto.

52) Es sistemático, en las presas estudiadas, que la recuperación de deformaciones se haga lentamente, acusando las ménsulas apoyadas en estas zonas del contacto deformaciones estructurales con cambio de curvatura; su localización al igual que las de mayor fisuración, es en los arranques de ladera y suelen ser zonas del contacto donde se han producido deformaciones irreversibles de giro hacia aguas abajo.

El comportamiento hidráulico en estas secciones, con el tiempo, adquiere una estabilidad cuando en los sucesivos ciclos de carga y descarga combinados con distintos estados térmicos no se han producido fisuras claras aguas arriba de la sección de filtración y las deformaciones irreversibles aguas abajo se han estabilizado.

III En este proceso de "estabilización" es normal en las secciones del cimientto de las presas estudiadas la tendencia hacia un incremento general de las subpresiones aguas arriba, al tiempo que se produce una disminución de los caudales drenados; ambos efectos son coherentes con la progresiva penetración de la red de drenaje, el incremento medio de las presiones en la línea teórica de drenaje longitudinal y el aumento de la sensibilidad manométrica en las presiones aguas abajo del drenaje.

Conclusiones generales se extraen ideas básicas que, tenidas en cuenta, pueden centrar y ayudar a la separación de aquellos efectos que son debidos a heterogeneidades naturales o inducidas, de otros relacionados con la roca de cimentación y sus tratamientos específicos.

En la mayoría de los cimientos de presas de fábrica, existen caudales de filtración y efectos de subpresión con procedencia en singularidades que se detectan con facilidad, tales pueden ser: zonas claramente discontinuas con fallas o grandes diaclasas, manantiales de ladera, galerías de penetración en roca, túneles de desvío. En ocasiones, estas discontinuidades se detectan más difícilmente al reproducir efectos hidráulicos de menor intensidad, así por ejemplo: taladros de inyección no obturados, drenes colmatados, juntas del contacto presa-cimiento que comunican directamente el embalse en algún punto. La separación de estos diferentes tipos de efectos, es un paso inicial imprescindible para estudiar zonas representables por secciones transversales en las que exista una clara relación entre la deformación de la roca y su conductividad hidráulica.

III.3.- RESUMEN DE LOS MODELOS TEORICOS DE INTERPRETACION DE LAS REDES DE FILTRACION Y DE LA INFLUENCIA DE LAS HETEROGENEIDADES INDUCIDAS EN EL MEDIO

A partir del estudio de la auscultación hidráulica deformacional de los cimientos de las presas estudiadas, se han deducido unas CONDICIONES GENERALES PARA LA FILTRACION que abarcan el contexto general del cimiento. De estas condiciones generales se extraen ideas básicas que, tenidas en cuenta, pueden centrar y ayudar a la separación de aquellos efectos que son debidos a heterogeneidades naturales ó inducidas, de otros relacionados con la roca de cimentación y sus tratamientos específicos.

En la mayoría de los cimientos de presas de fábrica, existen caudales de filtración y efectos de subpresión con procedencia en singularidades que se detectan con facilidad; tales pueden ser: zonas claramente discontinuas con fallas ó grandes diaclasas; manantiales de ladera; galerías de penetración en roca, túneles de desvío. En ocasiones, estas discontinuidades se detectan más difícilmente al reproducir efectos hidráulicos de menor intensidad, así por ejemplo: taladros de inyección no obturados, drenes colmatados, juntas del contacto presa-cimiento que comunican directamente el embalse en algún punto. La separación de estos diferentes tipos de efectos, es un paso inicial imprescindible para estudiar zonas representables por secciones transversales en las que exista una clara relación entre la deformación de la roca y su conductividad hidráulica.

Las secciones transversales que representan a zonas acotables del cimiento incluyen heterogeneidades añadidas para reducir excesivas filtraciones ó empujes de subpresión; tales son, los taladros destinados a la inyección en las zonas de penetración del agua y los de drenaje para la evacuación del agua infiltrada.

En cualquier modelo teórico de filtración, estas heterogeneidades, habrán de ser tenidas en cuenta puesto que constituyen condiciones de contorno a la filtración, en la práctica totalidad de los cimientos de las presas de fábrica.

El conocimiento ó estado de la cuestión sobre la representación de redes de filtración y la influencia de las heterogeneidades inducidas en el medio se recoge, en parte, en los modelos simples contenidos en el Anejo B que tratan de representar de una forma simple aspectos teóricos de modelización continua que son objeto de artículos, cuestiones de simposios y todo tipo de publicaciones relacionadas con los cimientos de presa en particular ó con la mecánica de rocas en general.

Se presentan en primer término, los modelos del flujo en el cimiento de una presa de fábrica basados en considerar un régimen permanente con filtración Darcy, para un fluido incompresible que se mueve a través de un medio filtrante cumpliéndose las condiciones de continuidad del caudal. (B.2.1.).

Estos modelos se resuelven a partir de la Ecuación de Laplace por diversas metodologías (análisis matemáticos, análisis numéricos y gráficos de analogía eléctrica, hidráulica...) y tienen como dificultad principal la representación de las condiciones de contorno de la filtración que se establece por medio de superficies impermeables o superficies filtrantes; se basan siempre en considerar permeabilidades homogéneas en medios isótropos o de anisotropía conocida y condiciones de contorno fijas, no incluyendo modificaciones en el medio por efecto tensional; presentan esquemas, en los que la pantalla de impermeabilización supone una discontinuidad puntual basada en el recorrido que tiene que hacer el agua para evitarla y consideran el drenaje como un punto ó línea de eliminación de la filtración tomando en él una presión constante de referencia.

Se confluye así, en modelos cuyos resultados pueden quedar reflejados por esquemas del tipo al representado en las figuras 46 y 47.

FIGURA 46.- Líneas equipotenciales. Modelos clásicos para régimen permanente y filtración Darcy con y sin drenaje (Stagg-Zienkiewicz).

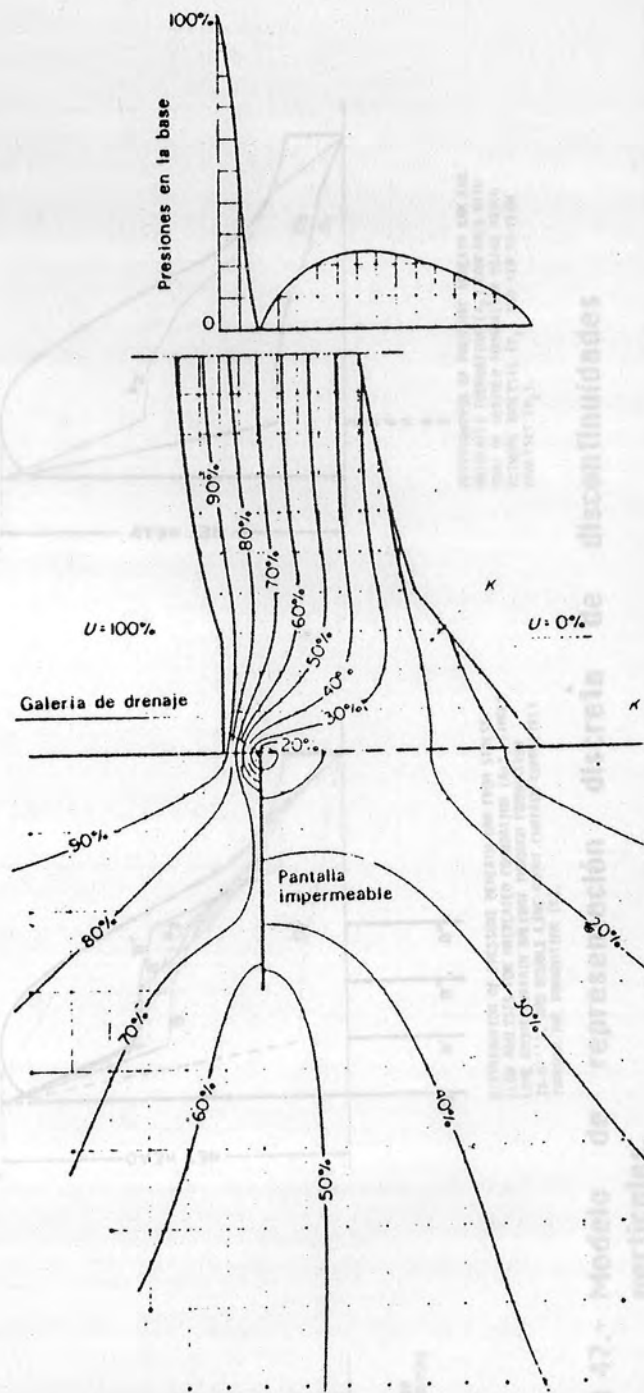
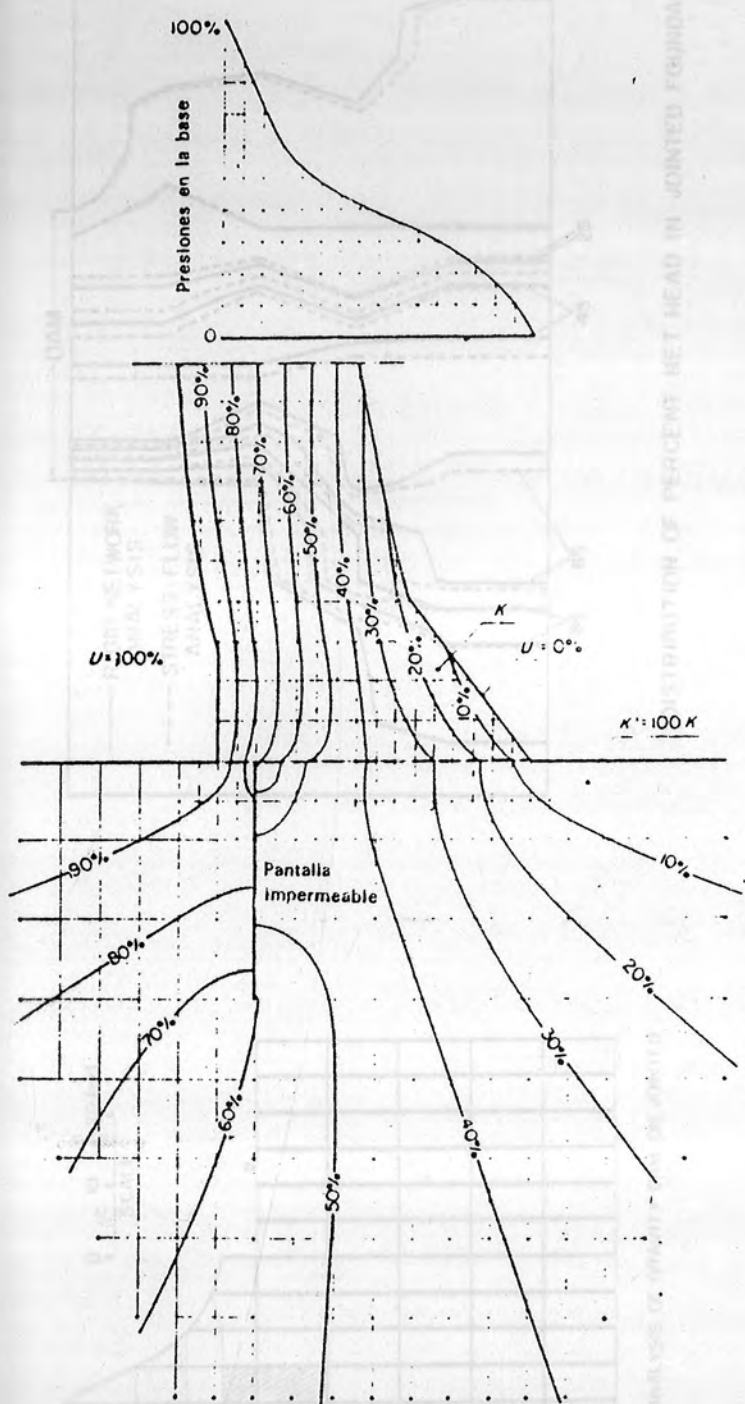
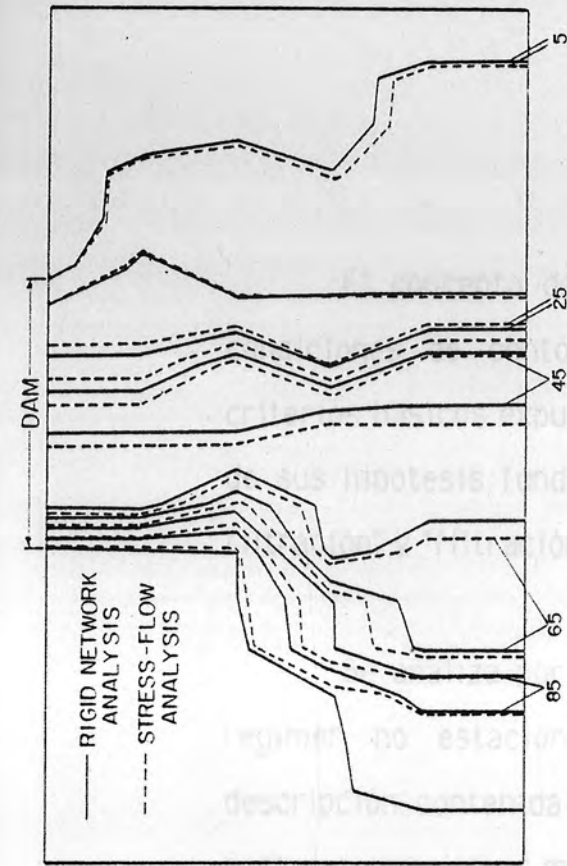
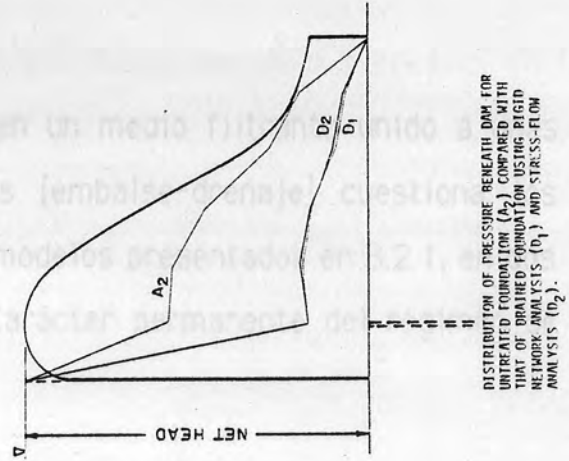


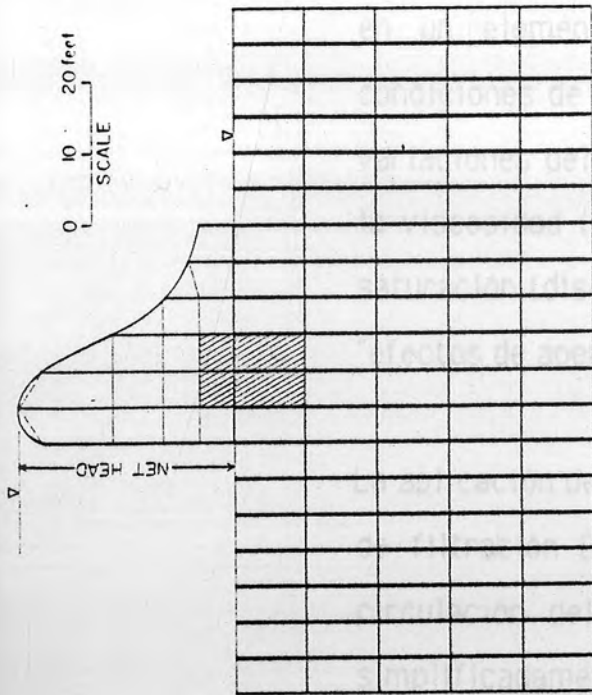
FIGURA 46.- Líneas equipotenciales. Modelos clásicos para régimen permanente y filtración Darcy con y sin drenaje (Stagg-Zienkiewicz).



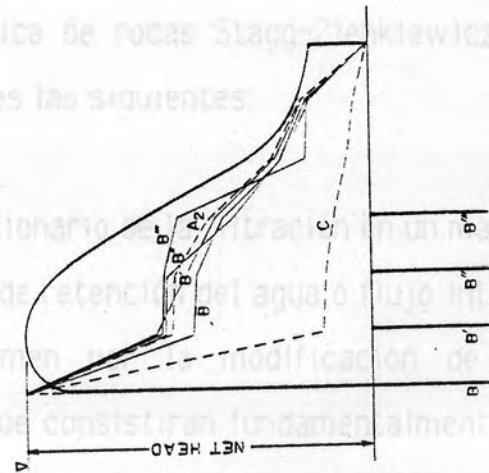
DISTRIBUTION OF PERCENT NET HEAD IN JOINTED FOUNDATION



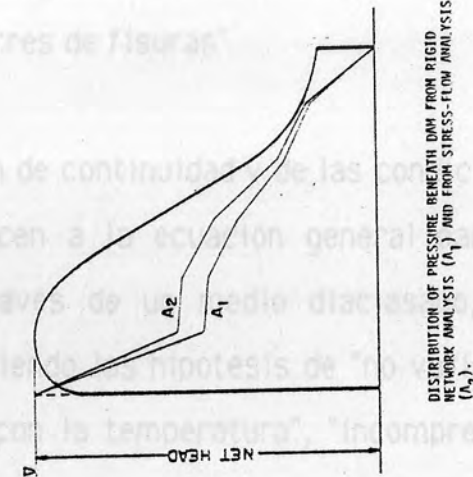
DISTRIBUTION OF PRESSURE BENEATH DAM FOR UNTREATED FOUNDATION (A_2) COMPARED WITH THAT OF DRAINED FOUNDATION USING RIGID NETWORK ANALYSIS (D_1) AND STRESS-FLOW ANALYSIS (D_2).



NETWORK MODEL USED IN ANALYSIS OF GRAVITY DAM ON JOINTED FOUNDATION



DISTRIBUTION OF PRESSURE BENEATH DAM FROM STRESS-FLOW ANALYSIS FOR UNTREATED FOUNDATION (A_2), SINGLE LINE GROUT CURTAIN (B), AND DOUBLE LINE GROUT CURTAIN COMPLETELY THROUGH THE FOUNDATION (C).



DISTRIBUTION OF PRESSURE BENEATH DAM FROM RIGID NETWORK ANALYSIS (A_1) AND FROM STRESS-FLOW ANALYSIS (A_2).

FIGURA 47.- Modelo de representación discreta de discontinuidades verticales.

El concepto de fisuración en un medio filtrante unido a unas condiciones de contorno obligadas [embalse-drenaje] cuestiona los criterios básicos expuestos en los modelos presentados en B.2.1, en dos de sus hipótesis fundamentales: "Carácter permanente del régimen de filtración" y "filtración tipo Darcy".

Se analiza por este motivo en B.2.2. El modelo de filtración de régimen no estacionario para un medio diaclasado; siguiendo la descripción contenida en la mecánica de rocas Stagg-Zienkiewicz, se sustraen como ideas más importantes las siguientes:

- El origen del carácter estacionario de la filtración en un macizo rocoso esta en los efectos de retención del agua ó flujo interno en un elemento de volumen por la modificación de las condiciones de filtración que consistiran fundamentalmente en variaciones del peso específico del agua (compresibilidad) ó de la viscosidad (efecto térmico) ó de la variación del grado de saturación (disolución en el agua del aire ocluido) y sobre todo "efectos de aperturas ó cierres de fisuras".

- La aplicación de la ecuación de continuidad y de las condiciones de filtración Darcy conducen a la ecuación general para la circulación del agua a través de un medio diaclasado, que simplifícadamente y admitiendo las hipótesis de "no variación de la viscosidad del agua con la temperatura", "incompresibi-

lidad" y saturación total del medio, quedaria expresada en la forma:

$$[2] = \partial/\partial t [\gamma_w(1-a).n] = [(1-a).n . \partial\gamma_w/\partial t + \gamma_w.n . \partial(1-a)/\partial t + \gamma_w(1-a)\partial n/\partial t]$$

$$1/dV . \partial m/\partial t = \partial/\partial x (K_x . \partial p/\partial x) + \partial/\partial y (K_y . \partial p/\partial y) + \partial/\partial z (K_z . \partial p/\partial z) + \gamma_w . \partial K_z/\partial z = [2]$$

Interviene en esta ecuación el término $\partial n/\partial t$ que corresponde a la disminución/aumento del volumen de discontinuidades por cierre y apertura de diaclasas, dependiente del estado tensional del elemento dV.

na), como representación de la relación que existe entre el caudal constante que pasa por dos secciones unitarias próximas, perpendiculares a la dirección del flujo, y el gradiente hidráulico en la dirección del flujo. Estas ideas están contenidas en artículos que se han considerado básicos para orientación del presente anejo, de los que sustraen algunas ideas clarificadoras.

-Noveno Congreso de Grandes Presas Estambul-67

Comment Protéger les barrages-voutes contre la pression de l'eau dans les appuis (W. Ter Minassian, F. Sabariv, Londe)

"En un macizo fisurado heterogéneo caracterizado por diferentes valores de permeabilidad equivalente, la presión en cada punto depende de los valores relativos de estas permeabilidades mientras que el caudal y las velocidades de filtración dependen de sus valores absolutos.

La existencia de zonas fisuradas, en un medio filtrante, cambia la concepción del análisis de la filtración al introducir, zonalmente una modificación de "escala" en la conductividad hidráulica. El estudio de una sección completa de filtración tendrá que remitirse a modelos discretizados que caractericen las discontinuidades por medio de permeabilidades equivalentes zonales y se estudia la filtración por asimilación del medio filtrante, a un medio continuo homogéneo e isótropo con anisotropía conocida.

Se introduce, de esta manera, el concepto de permeabilidad zonal, como representación de la relación que existe entre el caudal constante que pasa por dos secciones unitarias próximas, perpendiculares a la dirección del flujo, y el gradiente hidráulico en la dirección del flujo. Estas ideas están contenidas en artículos que se han considerado básicos para orientación del presente anejo, de los que sustraen algunas ideas clarificadoras:

-Noveno Congreso de Grandes Presas. Estambul-67

Comment Protéger les barrages-voutes contre la pression de l'eau dans les appuis. (W. Ter. Minassian; F. Sabarly; Londe)

"En un macizo fisurado heterogéneo caracterizado por diferentes valores de permeabilidad equivalente, la presión en cada punto depende de los valores relativos de estas permeabilidades mientras que el caudal y las velocidades de filtración dependen de sus valores absolutos.

-Congreso de Mecánica de Rocas de Stuttgart-72

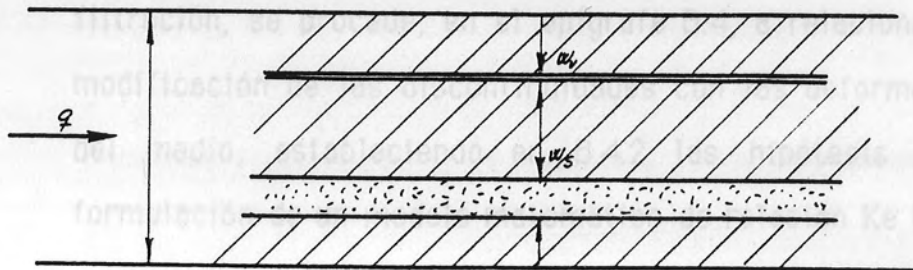
(E. Castillo, año 1972)

"Si existe, una gran densidad de fisuración y las fisuras son pequeñas y multidireccionales, el macizo puede asimilarse a un medio continuo homogéneo e isotrópico caracterizado por una permeabilidad equivalente direccional".

La forma de modelizar zonalmente la permeabilidad suele basarse en esquemas simples de flujo unidimensional en discontinuidades, para filtraciones Darcy en un dominio plano; de estos modelos existen toda una serie de publicaciones que conjugan aspectos experimentales y teóricos orientados a distinguir las diversas formas de circulación del agua, a través de discontinuidades rellenas o no de material permeable y a través de la propia roca matriz. Son básicos, los artículos contenidos en las publicaciones del Congreso de mecánicas de rocas de Stuttgart del año 72).

En el Anejo B epígrafe B.3, se describen algunos de estos modelos sencillos, que confluyen en definir el caudal de filtración, constante entre dos secciones A y B para un gradiente estable ($\Delta\phi/\Delta x = \text{cte}$), mediante tres términos de permeabilidad sumables que permiten separar las distintas formas de filtración del agua entre las secciones comparando los valores relativos de los caudales para cada una de ellas y mostrando la gran incidencia de la fisuración vacía en la conductividad hidráulica zonal.

Medio permeable con fisuras planas y paralelas



$$q = -(k_m(1-n_v w_v - n_s w_s) + k_s n_s w_s + g/12\nu n_v w_v^3) \cdot \partial\phi/\partial L \rightarrow$$

$$k_e = k_m(1-n_v w_v - n_s w_s) + k_s n_s w_s + g/12\nu n_v w_v^3$$

En las expresiones anteriores:

q: caudal por unidad de superficie perpendicular al flujo.

k_s : permeabilidad del material de relleno.

k_m : permeabilidad de la roca matriz.

k_e : permeabilidad equivalente, por unidad de superficie.

w_v y w_s : apertura de las fisuras vacías y rellenas.

n_v y n_s : número de fisuras paralelas al flujo, por unidad de anchura perpendicular, (n_v : vacías); (n_s : rellenas).

g: aceleración de la gravedad.

ν : viscosidad cinemática del agua.

Establecidas las formas generales de representación de la filtración, a través de una sección ó un conjunto de ellas, en un medio heterogéneo y fijados los factores de influencia en el régimen de filtración, se procede, en el epígrafe B.4, a relacionar las formas de modificación de las discontinuidades con las deformaciones relativas del medio, estableciendo en B.4.2 las hipótesis básicas para la formulación de un modelo matemático de relación $K_e(\text{zonal}) \rightarrow \xi$ en la que ξ englobe las deformaciones relativas del conjunto de discontinuidades de una forma continua. Esta aproximación conduce a relaciones expresadas gráficamente en la figura 48.

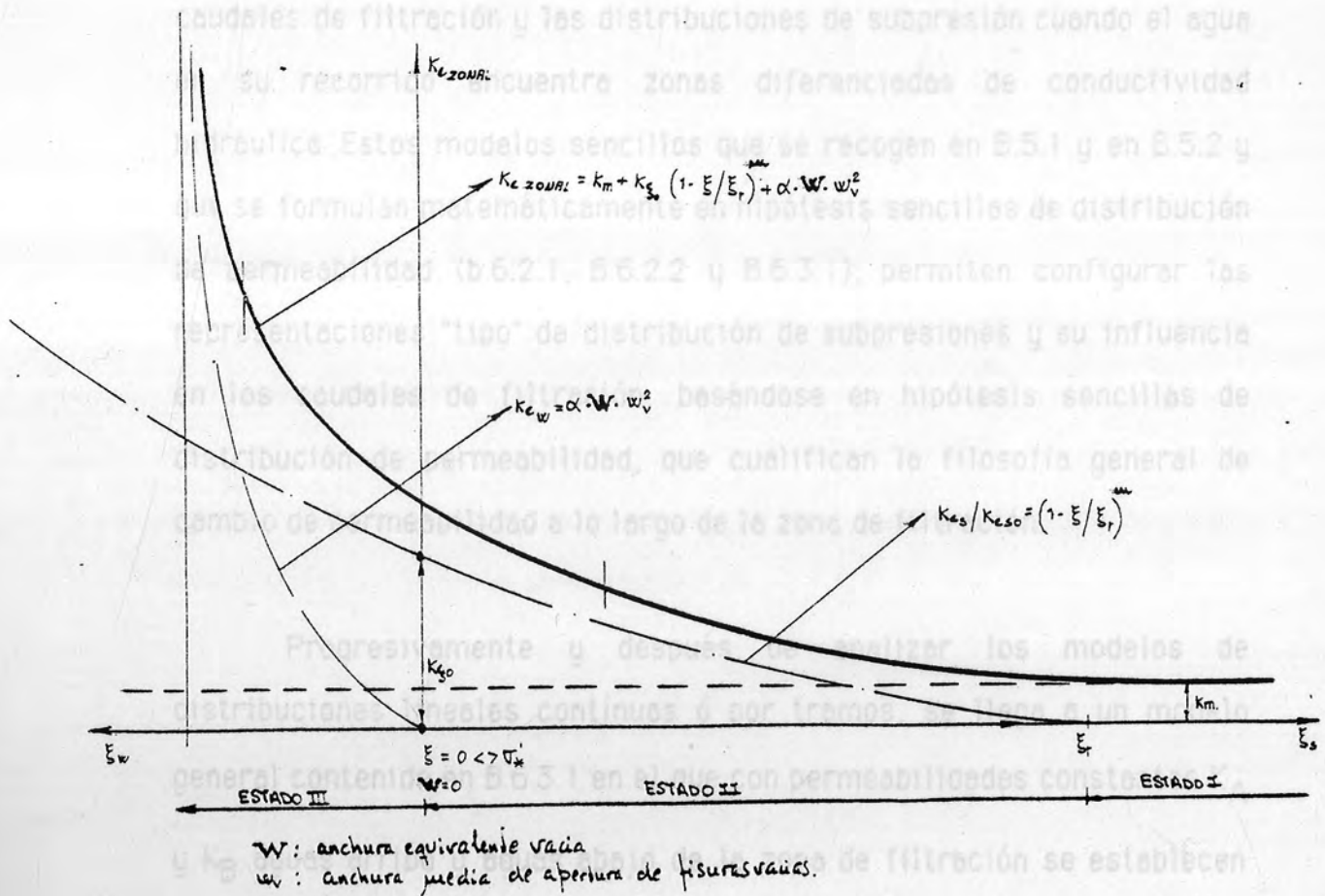


FIGURA 48

En el epígrafe B.5, para representar de manera continua la filtración en su recorrido total en una sección transversal del cimiento de una presa de fábrica, supuesta la filtración bidimensional y con preferencia a establecerse paralelamente al contacto presa-cimiento en pequeñas profundidades, se recurre a la exposición de modelos basados en la asimilación del régimen de filtración al flujo en un permeámetro plano con permeabilidades Darcy variables en la sección del flujo.

La presentación de estos modelos tiene por objeto aproximar una formulación continua que exprese la forma en la que se modifican los caudales de filtración y las distribuciones de subpresión cuando el agua en su recorrido encuentra zonas diferenciadas de conductividad hidráulica. Estos modelos sencillos que se recogen en B.5.1 y en B.5.2 y que se formulan matemáticamente en hipótesis sencillas de distribución de permeabilidad (B.6.2.1, B.6.2.2 y B.6.3.1); permiten configurar las representaciones "tipo" de distribución de subpresiones y su influencia en los caudales de filtración, basándose en hipótesis sencillas de distribución de permeabilidad, que cualifican la filosofía general de cambio de permeabilidad a lo largo de la zona de filtración.

Progresivamente y después de analizar los modelos de distribuciones lineales continuas ó por tramos, se llega a un modelo general contenido en B.6.3.1 en el que con permeabilidades constantes K_A y K_B aguas arriba y aguas abajo de la zona de filtración se establecen las condiciones básicas que han de cumplir las distribuciones de

permeabilidad en la zona de filtración para la continuidad de la ley de distribución de subpresiones.

La gran dificultad de representación del régimen de filtración por medio de estos modelos consiste en la influencia excesiva de las condiciones establecidas en los límites, que condicionan en sí mismo las formas de distribución, presentando el problema básico de definición de un modelo continuo en sus valores de contorno y centrando así la necesidad de plantear siempre modelos zonales con observaciones conocidas en sus límites, de tal forma, que con un número de datos intermedios suficientes, se puede aproximar el análisis discretizado a un comportamiento continuo.

Para cumplir y cerrar el objetivo final de este anejo, que consiste en visualizar toda la problemática relativa a las formas de expresión de la relación entre deformación y conductividad hidráulica, se plantean una serie de modelos matemáticos que de alguna manera formulan experiencias prácticas y tendencias observadas con profusión, en publicaciones y congresos; se sintetizan de esta manera en el epígrafe B.7 las formulaciones que serviran de base a la configuración de un modelo determinista de auscultación.

En el presente estudio, la auscultación hidráulica-deformacional que sirve de base para la aplicación del modelo, se refiere a macizos rocosos del tipo de las pizarras, esquistos, granitos y gneis con deformabilidad y permeabilidad de conjunto muy pequeña, para los estados tensionales a los que se van sometidos, y con algunas zonas de

III.4.- FORMULACION DE UN MODELO DETERMINISTA PARA INTERPRETACION DE LA AUSCULTACION HIDRAULICA-DE- FORMACIONAL

III.4.1.- Consideraciones generales

El cambio de conductividad hidráulica por efecto tensional, en una zona de filtración, se modeliza partiendo de una relación deformabilidad-permeabilidad puntual que se hace extensiva a lo largo de las líneas de filtración, supuesto conocida en ellas la ley de distribución de deformaciones.

La sensibilidad del modelo, para la apreciación de cambios en la conductividad hidráulica dependerá en primer término de la deformabilidad del medio para el rango de tensiones al que está sometido. En medios de filtración deformables, como pueden ser cimentaciones ó núcleos de materiales sueltos, es previsible que las relaciones deformabilidad-conductividad hidráulica refieran comportamientos continuos como respuesta a un rango de deformaciones amplio.

En el presente estudio, la auscultación hidráulica-deformacional que sirve de base para la aplicación del modelo, se refiere a macizos rocosos del tipo de las pizarras, esquistos, granitos y gneis con deformabilidad y permeabilidad de conjunto muy pequeña, para los estados tensionales a los que se ven sometidos, y con algunas zonas de

mayor fisuración, bien por la forma y distribución de sus discontinuidades de origen y/o por las mayores solicitaciones tensionales que actúan sobre ellas.

La auscultación hidráulica se analiza vinculando la modificación de las magnitudes hidráulicas q y u con la deformación. Deformación que se debe al nivel del embalse y al estado térmico sobre la estructura de hormigón, ambos efectos inseparables, y recogidos en el modelo únicamente por el parámetro (H) mediante las curvas características medias definidas en el Anejo D. (Epígrafe D.2.1).

III.4.2.- Zonas de aplicación del modelo

En todo el proceso de definición del modelo, se considera que la presa de fábrica cimentada en este tipo de rocas tiene una mayor rigidez que sus cimientos, sin entrar en el análisis de su posible fisuración a tracción, tema por demás importante en la auscultación hidráulica y motivo singular de su drenaje, pero no incorporado en el presente estudio.

La interpretación que procede será por tanto de: $u(x,H)/H$ y $q(H)/H$, dando por supuesto general, que en cimientos rígidos del tipo: cuarcitas, granitos sanos..... ó para estructuras de fábrica de pequeña altura, apenas será apreciable el cambio de conductividad hidráulica y las magnitudes medidas darán relaciones constantes con la altura de embalse.

En Presas esbeltas, fundamentalmente "arco", y para alturas de embalse próximas a las máximas, existe contrastado un efecto de umbral que se manifiesta por una pérdida de linealidad en ocasiones difícilmente distinguible de un cambio discontinuo en las relaciones $u(x,H)/H$ y $q(H)/H$ hacia unos valores mayores también en correspondencia lineal. Esta forma de comportamiento se interpreta como cambio de la conductividad hidráulica a lo largo de las líneas de filtración al producirse simultáneamente la modificación de las relaciones $u(x,H)/H$; $q(H)/H$ y $\epsilon(x,H)/H$.

III.4.2.- Zonas de aplicación del modelo

La aplicación del modelo al contacto presa-cimiento, a cimientos rocosos, constituye un análisis de singularidad que señala la excepción a un comportamiento general estable, con linealidad en las magnitudes hidráulicas para las distintas alturas de embalse y deformaciones pequeñas, sin apenas influencia en la conductividad hidráulica. Responde así, la modelización del medio de filtración rocoso, a un comportamiento homogeneizado con permeabilidad matricial muy pequeña en la roca y sin apreciable modificación de sus discontinuidades por los efectos tensionales salvo en zonas locales de fisuración susceptibles al efecto tensional.

En estas zonas singulares y para alturas de embalse elevadas combinadas con efectos térmicos superpuestos que transmiten al cimiento estados notables de flexión, el régimen de filtración se ve alterado por la modificación de las acciones exteriores. Se pasa así, de un régimen cuasi-estático, para embalses bajos ó medios, con velocidad de filtración muy pequeña y distribución de subpresiones que tienden a esquemas lineales entre los límites de filtración, a un régimen en el que las magnitudes hidráulicas tiende a crecer más que linealmente con la altura de embalse. Así la cuestión, el modelo debe de representar efectos de flexotracción con extensión y compresión simultáneas aguas arriba y aguas abajo. El equilibrio hidráulico se modifica, por la extensión y compresión simultánea de las discontinuidades de la roca estando influido fundamentalmente por la capacidad drenante de la zona de filtración y sometido en su evolución temporal a la histeresis del proceso de eliminación del agua de infiltración que penetra por el pie de aguas arriba de la presa. A continuación se describe la aplicación del modelo.

La sistemática repetición de efectos hidráulicos en el tiempo, una vez estabilizada la red de filtración, indica su reversibilidad y define un comportamiento modelizable para embalses altos por estados de neta decompresión aguas arriba y/o fuerte compresión aguas abajo del contacto.

Los indicadores intensivos que aprecian estas modificaciones son fundamentalmente los piezómetros. Las indicaciones de incremento progresivo en la relación u/H de los piezómetros se sitúan cerca del pie de aguas arriba se identifica con la extensión de discontinuidades en la zona, mientras que, cuando están situados aguas abajo del drenaje, reflejan el efecto de compresión en el pie de presa, donde se supone el agua sin apenas movimiento.

Planteada así la cuestión, el modelo debe de representar efectos de flexotracción con extensión y compresión simultáneas aguas arriba y aguas abajo, en procesos de subida de embalse y efectos contrarios en las bajadas siendo el drenaje un punto de discontinuidad inevitable en el análisis, por cuanto supone un límite parcial ó total a la filtración con influencia decisiva en el equilibrio hidráulico a corto plazo.

supone la necesidad de recurrir, en la aplicación del modelo, a una

III.4.3.- Hipótesis básicas para aplicación del modelo

El análisis completo de la zona de filtración ha de adaptarse a los datos de auscultación disponibles en la mayoría de las presas estudiadas, en las que es habitual disponer de un sistema de taladros de inyección y de drenaje en vertical ó en abanico desde la galería perimetral.

La primera simplificación, impuesta por los datos disponibles, es la de limitar el análisis al flujo en la zona superficial del contacto donde por supuesto que el efecto de disminución de permeabilidad y de la

La situación general del drenaje muy aguas arriba dificulta la apreciación de la distribución real de subpresiones y en muchos casos las indicaciones piezométricas reproducen la presión media en la línea teórica de drenaje longitudinal mientras que los piezómetros situados aguas abajo no dan sensibilidad a la apreciación de modificaciones en las presiones manométricas.

Los mejores indicadores de la evolución de la subpresión se encuentran situados aguas arriba del drenaje, en posiciones muy próximos al pié de presa, y reproducen en gran número de casos la altura de embalse cuando se trata de analizar zonas singulares para embalses próximos al máximo.

Esta situación de datos disponibles y efectos observables, supone la necesidad de refirse, en la aplicación del modelo, a unas hipótesis básicas que eliminen casos y efectos de imposible modelización con la auscultación hidráulica-deformacional que se viene realizando convencionalmente en cimientos de presa, en base a indicadores tendentes a establecer magnitudes que confirmen un grado de seguridad general en la explotación, prácticamente supuesto como dato de partida.

La primera simplificación, impuesta por los datos disponibles, es la de limitar el análisis al flujo en la zona superficial del contacto dando por supuesto que el efecto de disminución de permeabilidad y de la

influencia tensional con la profundidad, favorece la concentración de las líneas de corriente en las proximidades del contacto, al tiempo que en las zonas estudiadas y para niveles elevados de embalse la pantalla de impermeabilización no supone una línea de estanqueidad total, sino un efecto de homogeneización general extensivo a toda la zona de filtración, por la situación del drenaje muy aguas arriba de la sección. Referida la aplicación del modelo a la zona superficial más próxima al contacto, se considera que los efectos de modificación en la conductividad hidráulica se deben fundamentalmente a la deformación vertical normal a la dirección principal de las líneas de corriente, ya supuestas paralelas al contacto.

La definición de un flujo radial: embalse-drenaje, sin influencia de los flujos laterales tendentes por gravedad hacia las zonas más bajas del cimiento cuando no es interceptado por el drenaje transversal de ladera, hace necesaria la aplicación del modelo a las ménsula centrales o colaterales al cuenco en ausencia de galerías profundas o sistemas de drenajes específicos. En estas zonas del cimiento las condiciones generales de simetría y la mayor oscilación en los estados tensionales permiten apreciar los efectos de modificación en las magnitudes hidráulicas con mayor precisión.

La zona completa de filtración a la que se aplica el modelo se interpreta así: "como un medio homogéneo e isotrópico susceptible de modificación en su conductividad hidráulica por el estado de

deformación vertical y en el que la filtración se produce en forma unidimensional paralelamente al contacto con una sección de filtración constante en la que se modifican sus espacios vacíos por extensión, compresión, apertura ó cierre de pequeñas discontinuidades".

El hecho de no utilizar directamente para la aplicación del modelo los estados de deformación vertical, se debe a que los datos disponibles por auscultación de deformacional informan sobre comportamientos de difícil cuantificación; bien porque las magnitudes más intensamente medidas son movimientos radiales en la estructura de la presa que hay que transformar en giros en el cimientó, ó bien porque los movimientos en puntos próximos al contacto, con relación a anclajes más ó menos profundos, dan una clara incertidumbre en los valores medidos, al ser de un valor absoluto muy pequeño. Existe además una indefinición clara de la profundidad a la que se produce el giro del cimientó, por la ausencia de su componente vertical y de alguna medición complementaria entre el anclaje y la galería inferior en la que se suele efectuar la lectura.

La forma de expresar los efectos de apertura y cierre de discontinuidades se hará considerando estados tensionales linealmente distribuidos en toda la sección del contacto, de tal forma que las modificaciones principales que se producen en la zona de aguas arriba por decompresión y en la zona de aguas abajo por compresión quedan asimiladas de forma continua mediante esta hipótesis y seguido. Esta

forma de modelización globaliza implícitamente efectos de clara discontinuidad, tales como apertura neta de fisuras aguas arriba ó cierres de fisuras aguas abajo.

Por este motivo, en la aplicación del modelo se entiende por "tensiones efectivas a efectos de permeabilidad": las tensiones ficticias resultantes de un reparto a toda la sección de filtración de las acciones exteriores y de la subpresión, representado su resultante en intensidad y situación mediante una distribución lineal equivalente.

Las hipótesis de continuidad del caudal y cumplimiento en toda la zona de filtración de las condiciones de un flujo Darcy se consideran adecuadas, al referir el análisis a una zona completa de filtración limitada por el pie de aguas arriba y el drenaje, en la que el movimiento del agua dá lugar a caudales de filtración muy pequeños y los efectos temporales se eliminan representando las tendencias medias de variación de $u(x,H)$ y de $q(H)$ que simbolizan de esta forma, modificaciones debidas a subidas y bajadas de embalse instantaneas.

III.4.4.- Curvas características utilizadas para la representación de las magnitudes hidráulica, deformacionales

El hecho de utilizar como indicador de las modificaciones tensionales o deformacionales la altura de embalse no supone que las deformaciones en el cimiento se deban exclusivamente a la variación del

nivel del agua retenida. La superposición inseparable de los efectos térmicos origina una dispersión en los valores de las magnitudes hidráulicas, observada en gran cantidad de ejemplos y representadas mediante "husos tipo", apreciándose una fluctuación de valores mucho más acusada para niveles altos, cuando los efectos térmicos actúan sobre un estado de mayor decompresión general en el cimiento; para embalses bajos la influencia acusada del peso propio de la estructura, hace menos apreciable la oscilación de las magnitudes hidráulicas ante estados de mayor compresión general.

Expresión general

Tanto por los efectos temporales en la disipación de presiones y en la salida del agua por el drenaje, como por la influencia de los estados de deformación térmico-estructural en las magnitudes hidráulicas, las "curvas características de representación de las magnitudes hidráulicas-deformacionales" (Anejo D, D.2.1) en función exclusivamente de la altura de embalse suponen una relación media que define una tendencia en su evolución, válida para el análisis de sus valores en espacios de tiempo relativamente cortos del período de explotación y con estados térmicos medios. No se incluyen por tanto en el modelo las indudables efectos de modificación diferida de la conductividad hidráulica a largo plazo que serían observables fundamentalmente por comparación con los períodos iniciales de puesta en carga y que sin duda, son el origen de las discontinuidades preestablecidas constatables en el cimiento.

decompresión/compresión por subida/bajada de embalse sin la

condici La forma de evolución de $u(x,H)$, $q(H)$ y $\xi(x,H)$, está limitada para su observación a los recorridos normales de oscilación de embalse que, en las presas estudiadas, suelen ser no mayores de un 50% del máximo posible, por sus límites de explotación normal.

Siendo m la magnitud física cuyos valores reales se ajustan, las curvas características genéricas que representan las tendencias observadas, serán del tipo:

Expresión general

$$m = (dm/dH)_{H=0}H + (m_{crit} - (dm/dH)_{H=0}H_{crit})(H/H_{crit})^r$$

y su forma de representación con la altura de embalse sobre cimiento, la expresada en la figura. La definición de los parámetros $(dm/dH)_{H=0}$, m_{crit} y r necesitará el conocimiento de los valores de la magnitud, utilizada por el modelo, para alturas de embalse suficientemente representativas de su forma de evolución.

Se considera necesario, aún cuando en la mayor parte de los casos no se dispone de los datos adecuados, el conocimiento de la evolución de las magnitudes hidráulico-deformacionales para embalses bajos, que definirán la tendencia general del proceso de decompresión/compresión por subida/bajada de embalse sin la

condicionante fundamental que supone analizar únicamente situaciones de embalses altos en los que la extensión ó apertura franca de fisuras aguas arriba (ó su cierre), engloba efectos discontinuos sólo salvables mediante la aplicación del modelo, discretizando la zona de filtración.

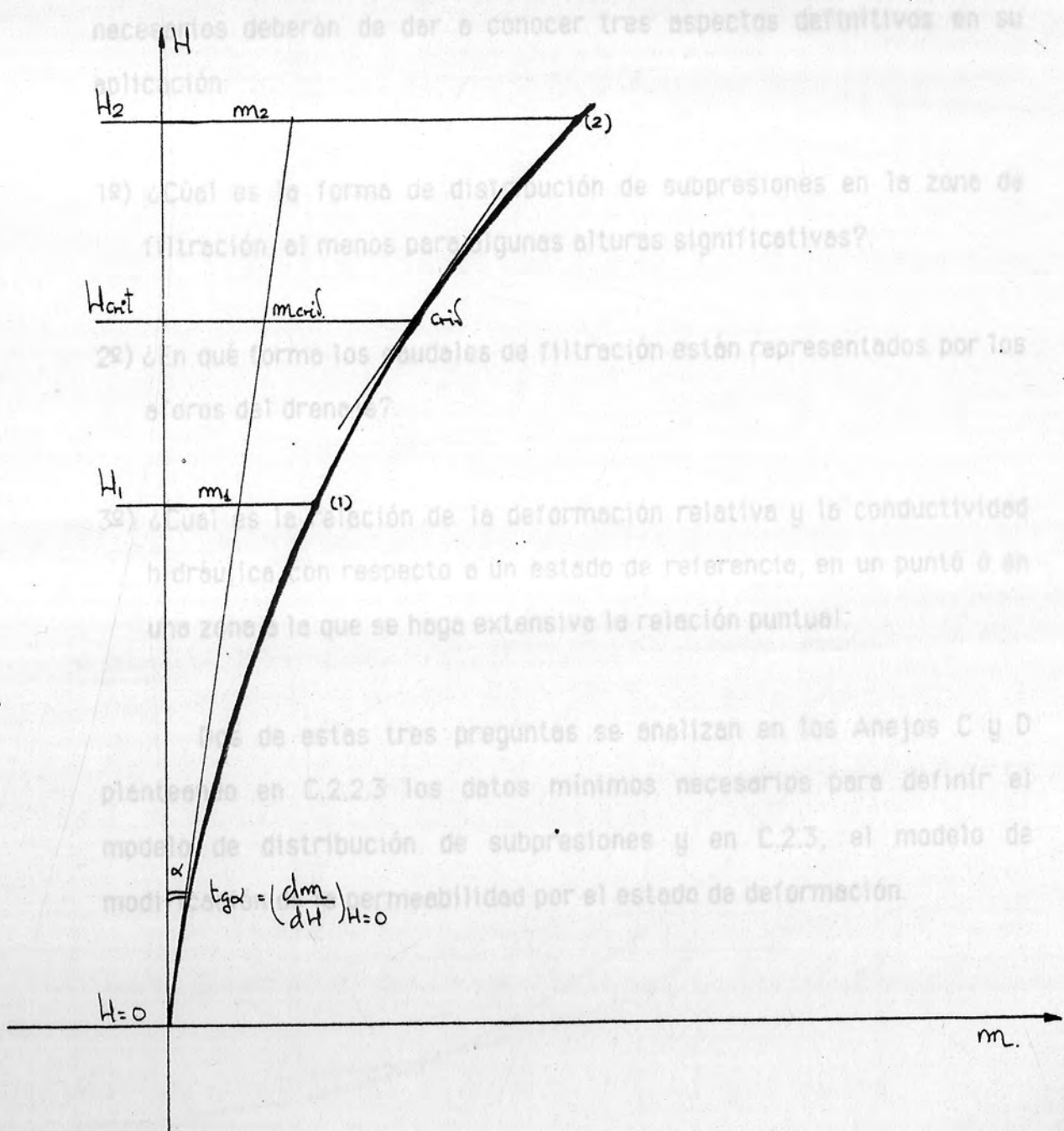


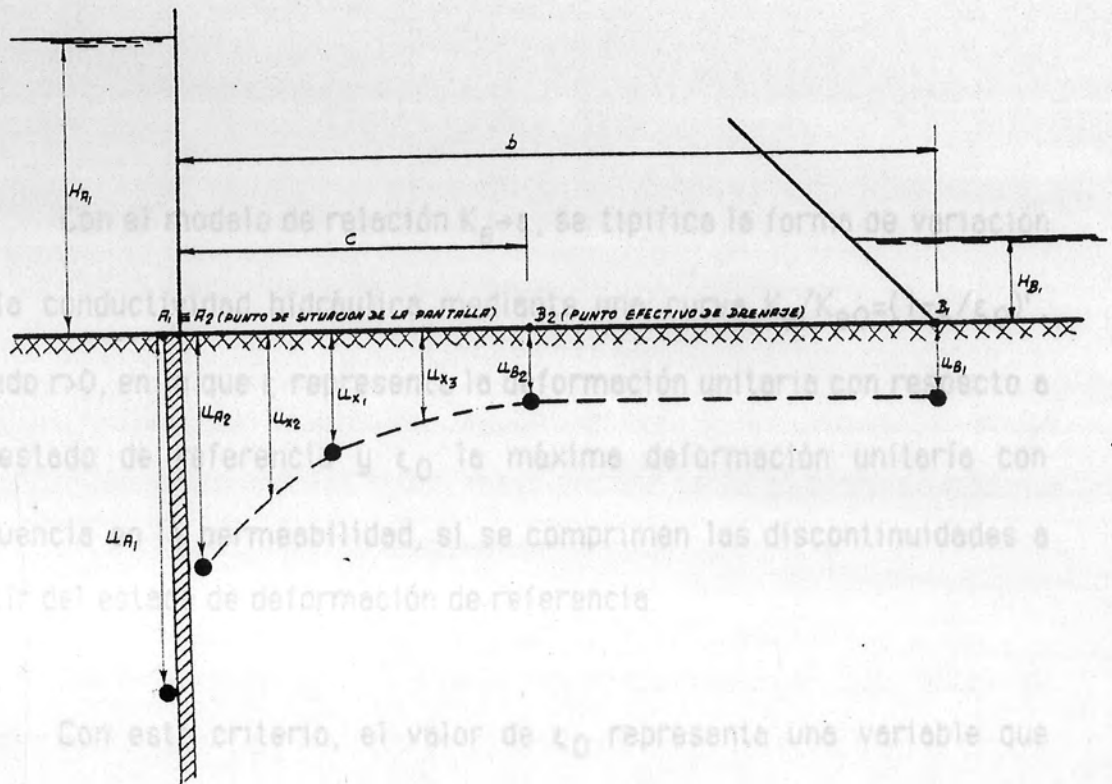
FIGURA 49 Esquema de las curvas características ($u(x,H)$; $q(H)$; $\epsilon(x,H)$) tomadas para el ajuste de las magnitudes hidráulico-deformacionales medidas por auscultación.

III.4.5.- Datos mínimos necesarios para la definición del modelo

Los datos mínimos necesarios para la definición del modelo, necesarios deberán de dar a conocer tres aspectos definitivos en su aplicación:

- 1º) ¿Cuál es la forma de distribución de subpresiones en la zona de filtración, al menos para algunas alturas significativas?
- 2º) ¿En qué forma los caudales de filtración están representados por los aforos del drenaje?
- 3º) ¿Cuál es la relación de la deformación relativa y la conductividad hidráulica con respecto a un estado de referencia, en un punto ó en una zona a la que se haga extensiva la relación puntual.

Dos de estas tres preguntas se analizan en los Anejos C y D planteando en C.2.2.3 los datos mínimos necesarios para definir el modelo de distribución de subpresiones y en C.2.3, el modelo de modificación de la permeabilidad por el estado de deformación.



Con este criterio, el valor de ϵ_0 representa una variable que depende del estado que se tome como origen de la medición de deformaciones, mientras que el valor en extensión máxima, para el que $K_e \rightarrow \infty$, no está acotado.

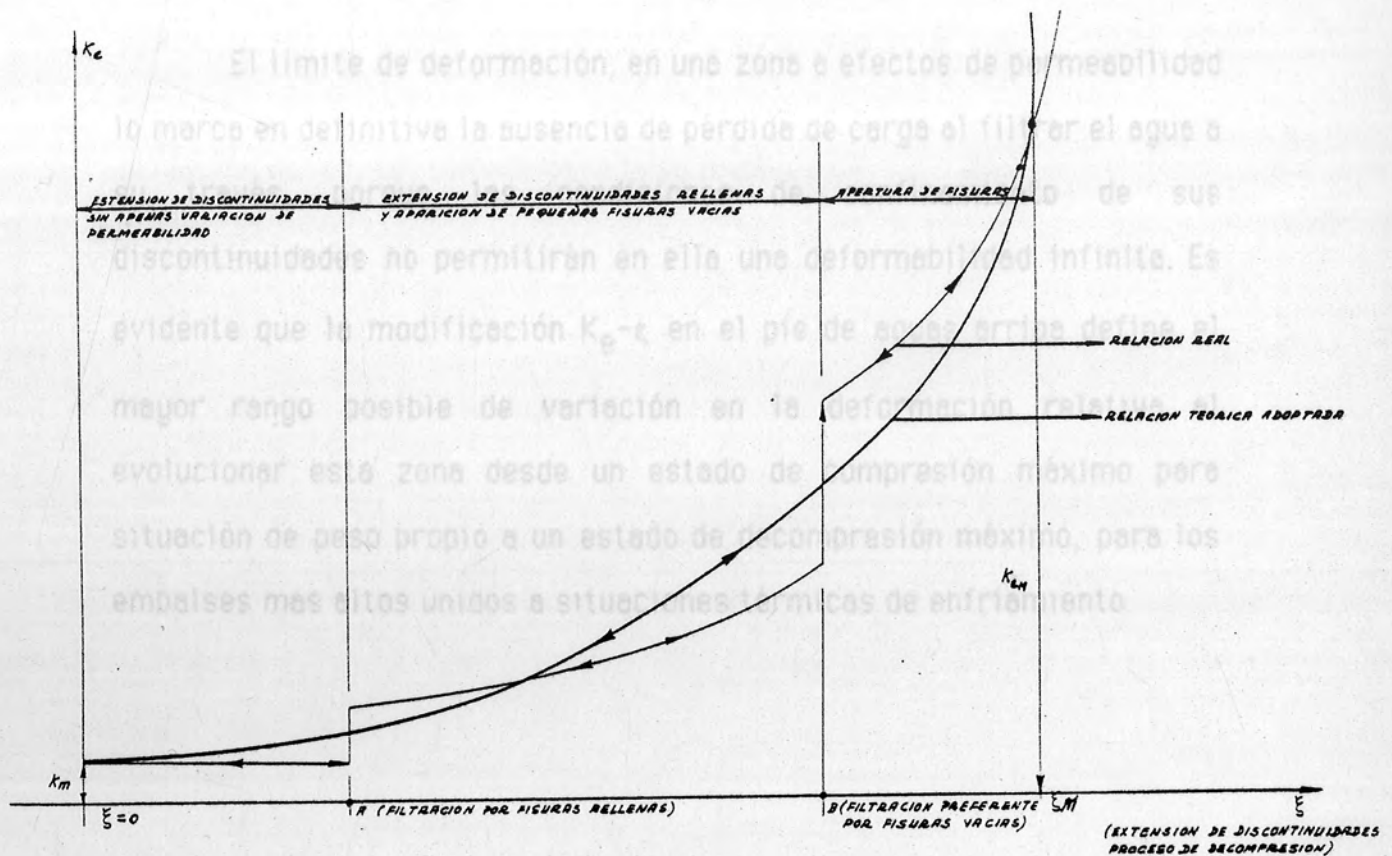


FIGURA 50

Con el modelo de relación $K_e \rightarrow \xi$, se tipifica la forma de variación en la conductividad hidráulica mediante una curva $K_e/K_{e0} = (1 - \xi/\xi_0)^r$, siendo $r > 0$, en la que ξ representa la deformación unitaria con respecto a un estado de referencia y ξ_0 la máxima deformación unitaria con influencia en la permeabilidad, si se comprimen las discontinuidades a partir del estado de deformación de referencia.

Con este criterio, el valor de ξ_0 representa una variable que depende del estado que se tome como origen de la medición de deformaciones, mientras que el valor en extensión máximo, para el que $K_e \rightarrow \infty$, no está acotado.

El límite de deformación, en una zona a efectos de permeabilidad lo marca en definitiva la ausencia de pérdida de carga al filtrar el agua a su través, porque las condiciones de confinamiento de sus discontinuidades no permitirán en ella una deformabilidad infinita. Es evidente que la modificación $K_e - \xi$ en el pie de aguas arriba define el mayor rango posible de variación en la deformación relativa al evolucionar esta zona desde un estado de compresión máximo para situación de peso propio a un estado de decompresión máximo, para los embalses mas altos unidos a situaciones térmicas de enfriamiento.

III.4.6 La observación de deformaciones en el pie de aguas abajo pudiera dar un rango importante de la compresibilidad de la roca, si la presa tiende a apoyarse hacia aguas abajo en las mentales altas cuando se dan efectos netos de fisuración aguas arriba y el cimiento acusa deformaciones remanentes aguas abajo por una carga de embalse máxima ó próxima a ella, mantenida largamente.

Será necesario, por tanto, para sistematizar los datos de deformación hacer la medición de desplazamientos relativos en el propio cimiento, en base a un origen que debería tomarse para la situación inicial de peso propio, y de tal forma, que se disponga de la medición en varios niveles de profundidad, mediante extensómetros de varilla ó incrementales que puedan detectar los efectos de apertura y cierre aguas arriba y aguas abajo, donde previsiblemente van a darse las máximas decompresiones y compresiones relativas respecto a la situación de origen tomada para peso propio.

III.4.6.- Formulación básica del modelo

La ausencia general de datos de deformación aguas arriba y aguas abajo del contacto y la poca precisión que se puede tener con los desplazamientos medidos por péndulos inversos en las bases de los cimientos, hacen que el modelo se formule en función de las tensiones efectivas a través de un paso intermedio de relación $\epsilon' - \xi$ siendo necesario fijar una tensión efectiva de referencia a partir de la cual se consideren los incrementos positivos como compresiones y los incrementos negativos como extensiones.

Es así, el valor ϵ'_0 una referencia arbitraria en el estado tensional, al igual que lo era ξ_0 , en un punto a partir del cual y mediante un valor absoluto de tensión ϵ'_1 se define la máxima compresibilidad de la roca en el punto a efectos de modificación de sus discontinuidades y por ende de su conductividad hidráulica. De igual forma a partir de ϵ'_0 se define la máxima extensión de las discontinuidades en la roca por medio de un valor absoluto de tensión ϵ'_{11} que se supone en tracción. Tanto ϵ'_1 como ϵ'_{11} tienen un valor único, que el modelo interpreta, como característica del tipo de roca modelizada.

Con estas condiciones básicas conocidas, o deducidas por aplicación del modelo, su formulación responde a las siguientes supuestas:

Es así necesario conocer directamente, ó por la aplicación del modelo en un punto ó zona acotada asimilable a él, los siguientes valores:

- 1º) Estado tensional de referencia tomado en la zona modelizada, a partir del cual se miden extensiones y compresiones.
- 2º) Máxima extensión de discontinuidades con respecto al estado de referencia, que se produciría al alcanzar la tensión efectiva un valor absoluto ϵ'_{11} , de tal manera que la máxima decompresión admisible por la roca en esta zona a efectos de permeabilidad será $(\epsilon'_0 + \epsilon'_{11})$; (ϵ'_0 supuesto en valor absoluto >0 y ϵ'_{11} supuesto <0).
- 3º) Máxima compresión de discontinuidades con respecto al estado de referencia, que se produciría al llegarse en compresión a un valor absoluto de tensión efectiva ϵ'_1 , de tal manera que la máxima compresión admisible para la roca en la zona analizada a efectos de permeabilidad, será $(\epsilon'_1 - \epsilon'_0)$; (ϵ'_0 supuesto en valor absoluto >0 y ϵ'_1 supuesto <0).

Con estas condiciones básicas conocidas, ó deducidas por aplicación del modelo, su formulación responde a los siguientes supuestos:

- a) El estado de referencia en cada punto ó zona acotada, se toma para una altura de embalse que se supone de débil compresión en valor absoluto para todos los puntos de la zona de filtración y muy alejado del valor ϵ'_1 tomado como límite absoluto de compresión. Se modeliza así la tendencia en niveles altos hacia la decompresión general en la zona de filtración, de acuerdo con los datos de auscultación hidráulica disponibles que se refieren a oscilaciones de embalse limitadas en los niveles mínimos por cotas relativamente altas en la explotación normal del embalse. Este estado tensional crítico se tomará como referencia en la aplicación del modelo.
- b) El régimen de filtración se supone unidimensional y paralelo al contacto con una sección de filtración constante; se admite la continuidad del caudal y la permeabilidad se considera variable en la dirección paralela al contacto por extensión ó compresión, que se imputa debida a la modificación de las tensiones efectivas verticales a partir de un estado de referencia.
- c) En un punto cualquiera de la zona de filtración, la relación de la permeabilidad puntual con respecto aun estado de referencia se admite, representada por la expresión $K_{ex}/K_{eo} = [(\epsilon'_{0x} - \epsilon'_{11})/(\epsilon'_x + \epsilon'_{11})]^n$ interpretando n como un valor característico de la roca modelizada que define la evolución de la relación permeabilidad equivalente-tensión efectiva en todos los puntos de la zona de filtración.

d) Para todas las alturas de embalse la tensión efectiva a efectos de permeabilidad se considera distribuida linealmente en la zona de filtración.

e) Existe un estado tensional que se denomina crítico y que se corresponde con una altura de embalse elevada (H_{crit}) en el que la distribución de tensiones a efectos de permeabilidad es constante, en correspondencia con una distribución de subpresiones lineal a lo largo de la zona de filtración. Este estado tensional crítico se tomará como referencia en la aplicación del modelo.

Establecidas estas condiciones, la formulación del modelo (Anejo C.4.2.1), será:

Distribución de presiones en la zona de filtración

$$(u_x - u_B) / (u_A - u_B) = [(X/B)^{n+1} - 1] / [(A/B)^{n+1} - 1] \quad (1)$$

Permeabilidad equivalente zonal entre dos secciones

$$K_{eAB} / K_{crit} = (n+1) \cdot (A/B - 1) / [(A/B)^{n+1} - 1] \cdot (C/B)^n \quad (2)$$

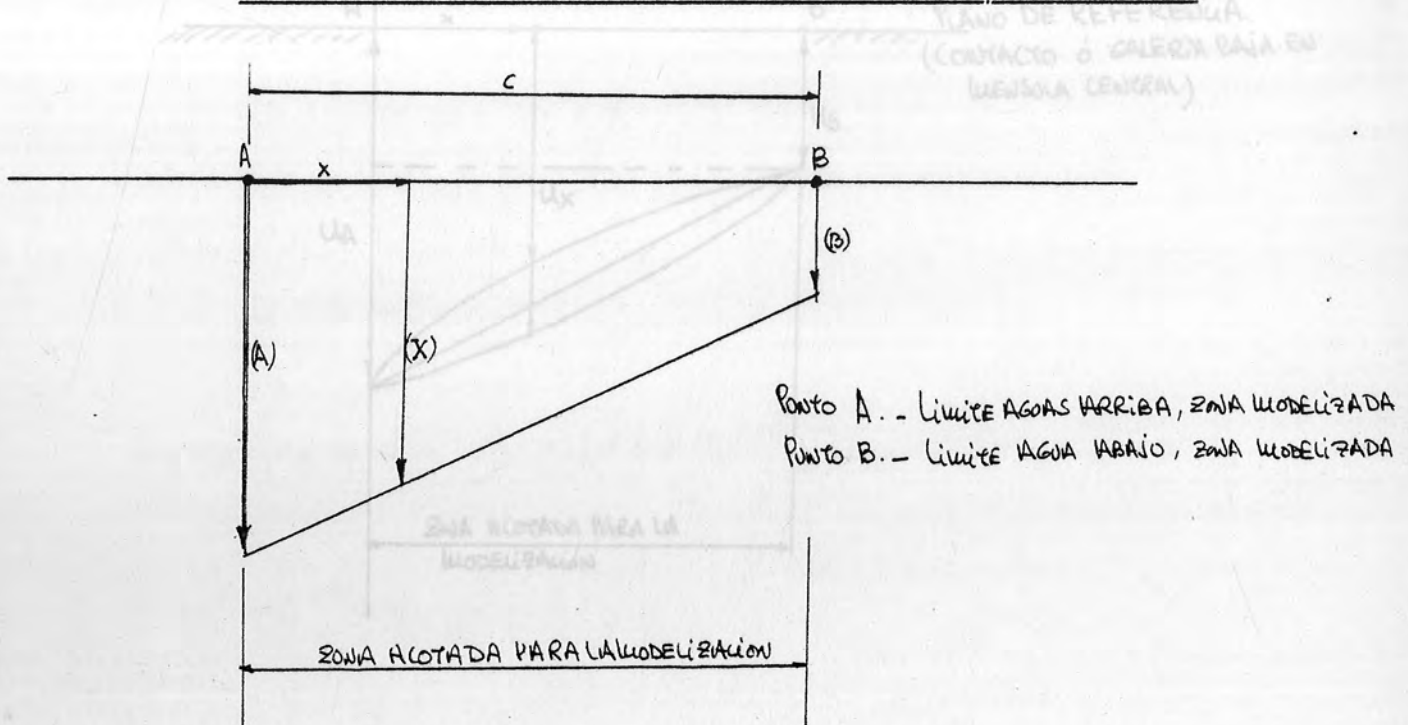
de acuerdo con la siguiente nomenclatura y definición.

Tensión efectiva en un punto a efectos de permeabilidad ($X = \epsilon_x - u_x + \epsilon'_{II}$)

Se considera como tensión efectiva en un punto de la sección de filtración a efectos de permeabilidad, a la diferencia entre la tensión total transmitida por las acciones exteriores y la presión del agua, incrementado este valor en una tensión efectiva ϵ'_{II} que, en valor absoluto, representa el límite de tracción de la roca a efectos de permeabilidad.

En la sección de filtración la nomenclatura que se utilizará para la expresión de esta tensión efectiva, y las presiones del agua, será de acuerdo con los esquemas dibujados las siguientes:

Distribución de tensiones efectivas a efectos de permeabilidad:



Permeabilidad $x = \epsilon_x - u_x + \epsilon'_{||} = \epsilon'_x + \epsilon'_{||}$ en el punto x.

$K_e(AB)$

$A = \epsilon_A - u_A + \epsilon'_{||} = \epsilon'_A + \epsilon'_{||}$ en el punto A.

Se define como "Permeabilidad equivalente zonal" entre dos secciones de filtración a un valor de permeabilidad constante entre las

$B = \epsilon_B - u_B + \epsilon'_{||} = \epsilon'_B + \epsilon'_{||}$ en el punto B.

dos secciones, tal que, para una distribución no uniforme de pérdida de

carga en la zona, de el mismo caudal de filtración sea igual que el el

$C = \epsilon_C - u_C + \epsilon'_{||} = \epsilon'_C + \epsilon'_{||}$ en el punto C.

gradiente hidráulico constante entre ambas secciones.

Distribución de presiones en la zona de filtración:

Permeabilidad crítica K_{crit}

Se define como permeabilidad crítica entre dos secciones de

filtración a un valor de la permeabilidad constante en correspondencia

con un estado tensional uniforme.

En la formulación expresada mediante $q = k/c$ a la posición

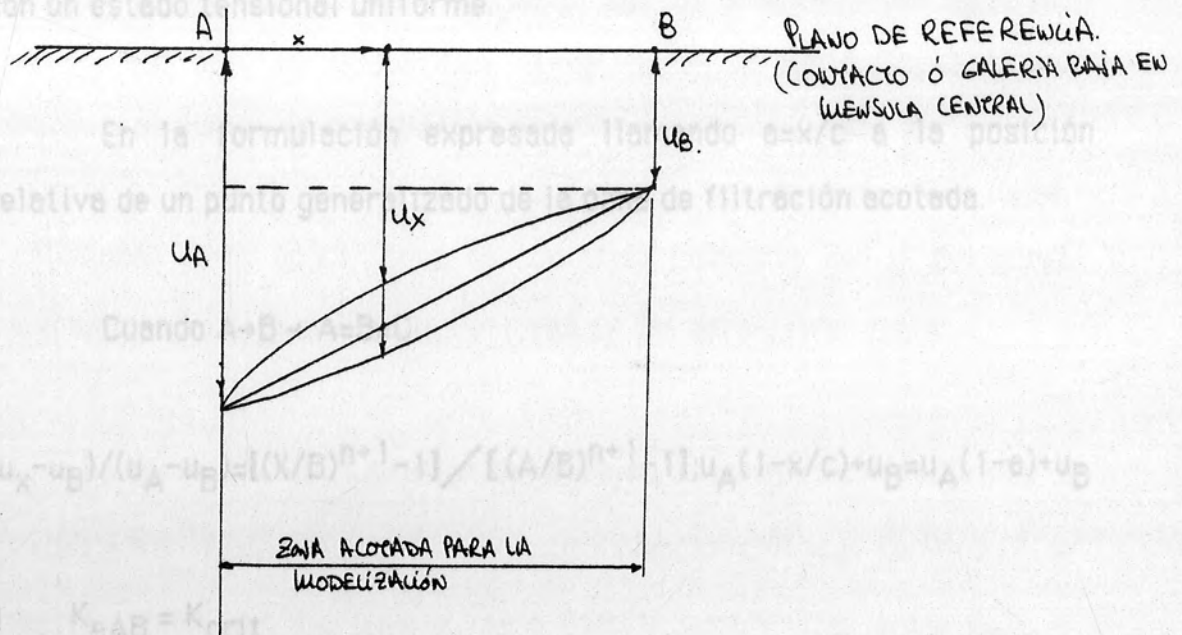
relativa de un punto general z de la zona de filtración escotada.

Cuando $A \rightarrow B$ $u_A \rightarrow u_B$ $\epsilon'_A \rightarrow \epsilon'_B$ $\epsilon'_{||} \rightarrow \epsilon'_{||}$

$$(u_x - u_B) / (u_A - u_B) = [(X/B)^{n+1} - 1] / [(A/B)^{n+1} - 1] \quad || \quad u_A(1 - x/c) + u_B = u_A(1 - a) + u_B$$

ZONA ACOTADA PARA LA MODELIZACIÓN

$$K_{eAB} = K_{crit}$$



Permeabilidad equivalente zonal entre dos secciones de filtración

$K_e(AB)$

A partir de la formulación expresada y con las condiciones expuestas. Se define como "Permeabilidad equivalente zonal entre dos secciones de filtración, a un valor de permeabilidad constante entre las dos secciones, tal que, para una distribución no uniforme de pérdida de carga en la zona, dé el mismo caudal de filtración sea igual que si el gradiente fuera constante entre ambas secciones.

Partiendo de un esquema tipo de distribución de subpresiones,

Permeabilidad crítica zonal entre dos secciones de filtración (K_{crit})

Se define como permeabilidad crítica entre dos secciones de filtración a un valor de la permeabilidad constante en correspondencia con un estado tensional uniforme.

En la formulación expresada llamando $a=x/c$ a la posición relativa de un punto generalizado de la zona de filtración acotada,

se utilizarán como condiciones de contorno, mientras que la del punto intermedio. Cuando $A \rightarrow B \rightarrow A=B=C$ los valores de los parámetros n y e son:

$$(u_x - u_B) / (u_A - u_B) = [(x/B)^{n+1} - 1] / [(A/B)^{n+1} - 1]; u_A(1-x/c) + u_B = u_A(1-a) + u_B$$

relación característica $u = (du/dH)_{H=0} H + [u_1 - (du/dH)_{H=0} H_1] (H/H_1)^n$ y

y $u_{AB} = K_{eAB} = K_{crit}$ u_A, u_B y u_x para todo H comprendido entre H_{min} y

III.4.7.- Forma de aplicación del modelo

A partir de la formulación expresada y con las condiciones expuestas en el epígrafe anterior, la forma de aplicación del modelo a una sección completa de filtración vendrá condicionada por los datos de auscultación hidráulica disponibles y los estados tensionales que se consideren datos básicos para contraste de resultados.

Partiendo de un esquema tipo de distribución de subpresiones, tal como el definido en la figura, los datos interpretables se refieren a las curvas características $u(x,H)$ y $q(H)$ que se conocen para una oscilación de embalse limitada entre las alturas H_1 y H_2 .

Se eligen las curvas características de presiones del agua por ser datos que aportan mediciones intensivas en un punto. Supuesto así conocidas, al menos en tres puntos de una zona limitada, las variaciones de la presión del agua con la altura de embalse, dos de estas relaciones, se utilizarán como condiciones de contorno, mientras que la del punto intermedio permitirá definir los valores de los parámetros n y ϵ'_{II} .

Es decir, siendo la presión del agua en un punto, tipificable por la relación característica: $u = (du/dH)_{H=0} H + [u_1 - (du/dH)_{H=0} H] (H/H_1)^r$ y supuestos conocidos u_A , u_B y u_x para todo H comprendido entre $H_{\min}$ y

$H_{\text{máx}}$, la definición de los parámetros de ajuste de la curva a la auscultación hidráulica, se hará tomando como datos fundamentales los siguientes:

$(du/dH)_{H=0}$; tangente en el origen de la curva para $H=0$.

u_1 ; valor de la presión para una altura H_1 .

$u_{\text{máx}}$; valor de la presión para la altura máxima conocida $H_{\text{máx}}$.

Tomando como valores iniciales $u=0$ para $H=0$ $\forall x$ y siendo el plano de referencia para las presiones, el contacto ó el plano que corresponde a la cota de la galería baja de la presa, si se refieren a ella las medidas manométricas.

Se podrá obtener la función $(u_x - u_B)/(u_A - u_B) = f(x, H)$ en todos los puntos en los que se conozca la función u_x y se tendrá sobreabundancia de datos para determinar los valores de n y ϵ'_{11} , que deberán de ser iguales cualquiera que sea la curva $u(x, H)$ utilizada.

Supuesto definidos los valores de n y ϵ'_{11} , la formulación del modelo permitirá establecer una comparación de los caudales obtenidos, con los datos de caudales aforados en el drenaje, utilizando para ello un valor de referencia q_1 y una altura H_1 . La relación de caudales teóricos

será:

$$K_{eAB} = \frac{u_A - u_B}{L_{AB}} = C, \quad \epsilon_A = \epsilon_B = 0$$

con

$$K_{eAB} = \frac{K_{crit}(n+1)(A/B-1)}{(A/B)^{n+1}-1} (C/B)^n$$

y

$$\frac{q}{q_1} = \frac{[(A/B-1)]}{[(A/B)^{n+1}]} \cdot \frac{[(A/B)^{n+1}-1]_1}{[(A/B-1)]_1} \cdot \left(\frac{B_1}{B}\right)^n \cdot \frac{(u_A-u_B)}{(u_A-u_B)_1}$$

Con los mismos supuestos expresados en III.4.6 y en base a la relación intermedia: deformación tensión efectiva, la expresión de la deformación relativa en un punto genérico de la zona de filtración podría expresarse por la relación:

$$(\epsilon'_0 + \epsilon'_{||}) / (\epsilon'_{||} + \epsilon') = (1 - \xi / \xi_0)^r \quad (\text{Anejo C})$$

Partiendo de un estado tensional-deformacional, identificado con la altura crítica, para el que se da una distribución de subpresiones lineal a lo largo de la zona de filtración, en correspondencia con una tensión efectiva a efectos de permeabilidad constante, se define el

origen de deformaciones de tal forma que:

$$K(x) = \text{cte}; \quad A = B = C; \quad \epsilon_A = \epsilon_B = 0$$

A partir de este origen, se consideran las deformaciones unitarias ϵ positivas en compresión y negativas en extensión, pudiendo definir la deformación relativa en la zona por sus valores externos ó por un giro equivalente medio

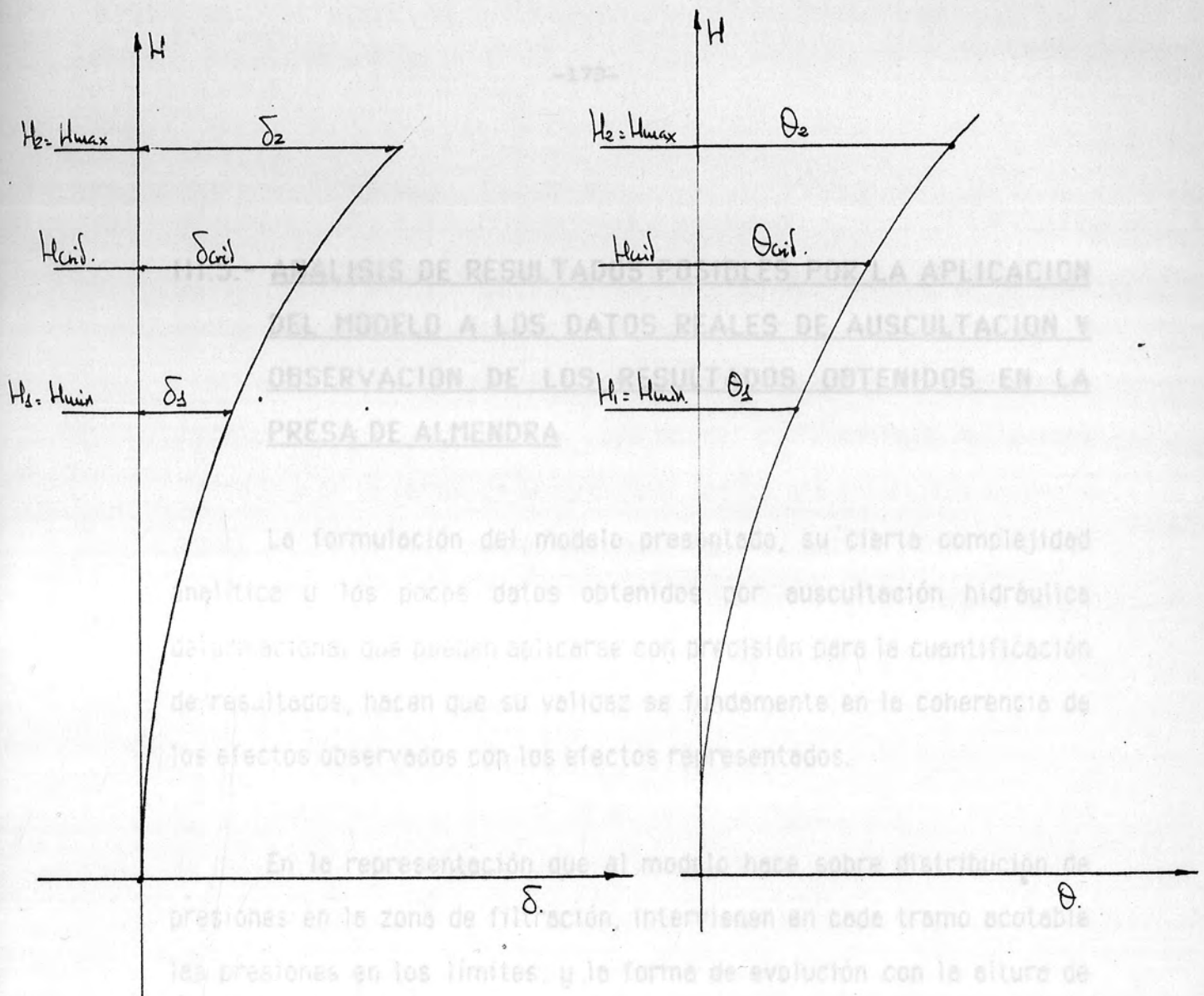
$$\epsilon_A = \epsilon_0(1-(C/A)^{1/r}) \quad \text{y} \quad \epsilon_B = \epsilon_0(1-(C/B)^{1/r})$$

$$\theta_{AB} = \text{cte} (\epsilon_A - \epsilon_B)$$

Si se supone el giro relativo medio entre los puntos A y B proporcional al desplazamiento radial absoluto en un punto intermedio, con respecto al estado de referencia inicial de peso propio, la curva característica de los desplazamientos medidos respecto a un anclaje profundo en la base de la ménsula, dará la forma de variación del giro.

por tanto

$$\frac{\theta}{\theta_{\text{crit}}} = \frac{\delta}{\delta_{\text{crit}}} = \frac{(\epsilon_{A1} - \epsilon_A) - (\epsilon_{B1} - \epsilon_B)}{(\epsilon_{A1} - \epsilon_{B1})} = 1 - \left(\frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{\epsilon_{A1} - \epsilon_{B1}} \right)$$



$$\delta = (d\delta/dH)_{H=0}H + (\delta_{crit} - (d\delta/dH)_{H=0}H_{crit})(H/H_{crit})^r$$

equivalente a:

$$\theta = (d\theta/dH)_{H=0}H + (\theta_{crit} - (d\theta/dH)_{H=0}H_{crit})(H/H_{crit})^r$$

por tanto

$$\frac{\theta}{\theta_{crit}} = \frac{\delta}{\delta_{crit}} = \frac{(\epsilon_{A1} - \epsilon_A) - (\epsilon_{B1} - \epsilon_B)}{(\epsilon_{A1} - \epsilon_{B1})} = 1 - \left(\frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{\epsilon_{A1} - \epsilon_{B1}} \right)$$

**III.5.- ANALISIS DE RESULTADOS POSIBLES POR LA APLICACION
DEL MODELO A LOS DATOS REALES DE AUSCULTACION Y
OBSERVACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA
PRESA DE ALMENDRA**

La formulación del modelo presentado, su cierta complejidad analítica y los pocos datos obtenidos por auscultación hidráulica deformacional que pueden aplicarse con precisión para la cuantificación de resultados, hacen que su validez se fundamente en la coherencia de los efectos observados con los efectos representados.

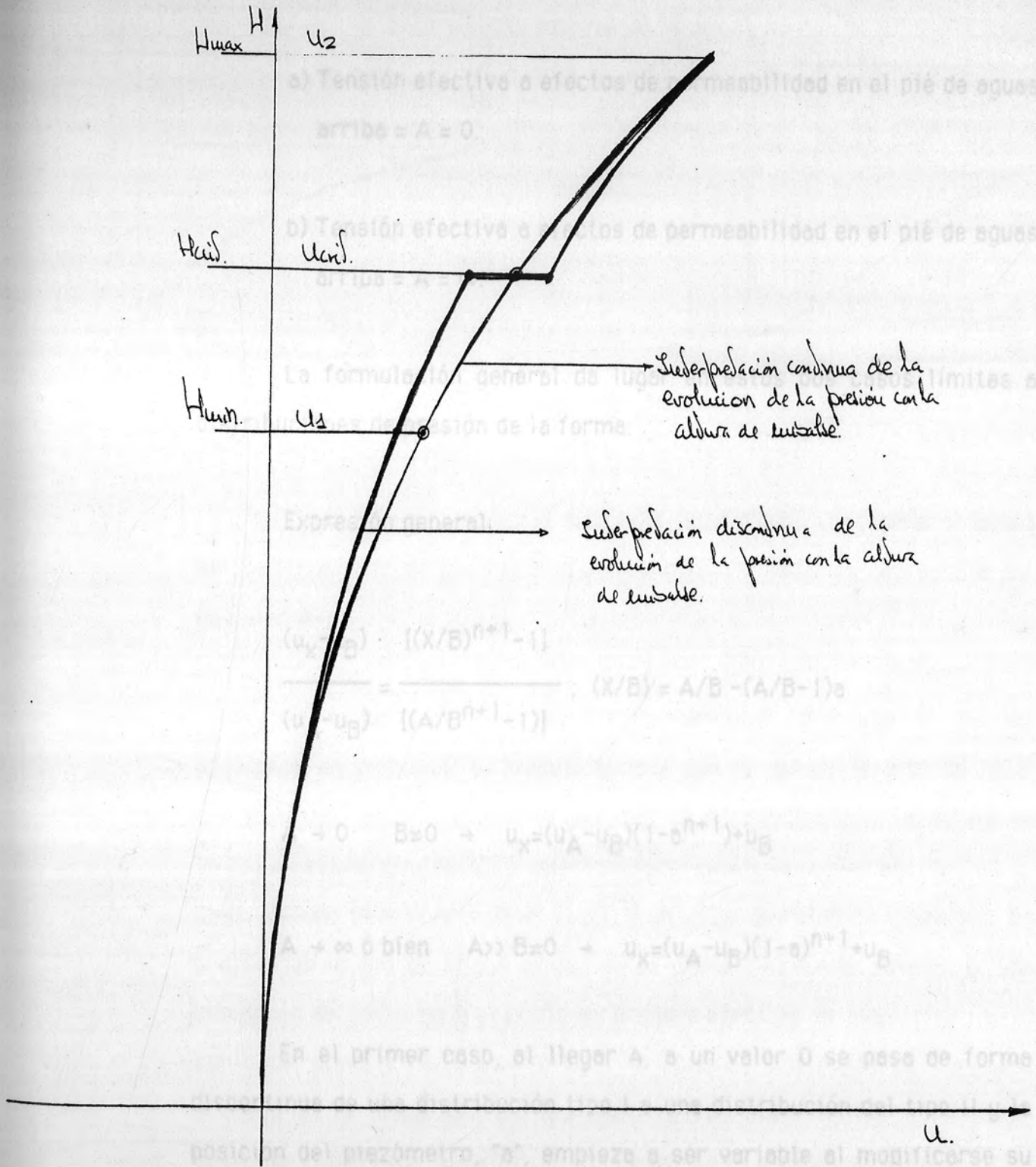
En la representación que el modelo hace sobre distribución de presiones en la zona de filtración, intervienen en cada tramo acotable las presiones en los límites, y la forma de evolución con la altura de embalse en algún punto intermedio.

La ausencia general de piezómetros entre el pie de aguas arriba y el drenaje y su imprecisa ubicación en la zona de filtración, cuando existen, hacen que la modelización haya que referirla a la zona completa de filtración pie de aguas arriba-drenaje. Los efectos observados se concretan, en la zona de aguas arriba, con una evolución en las presiones del agua que sistemáticamente presenta para embalses altos, tendencia al incremento en relación no lineal con la altura de embalse, dándose aguas abajo, esta misma tendencia al incremento de presiones pero fuertemente amortiguadas por la condición de drenaje.

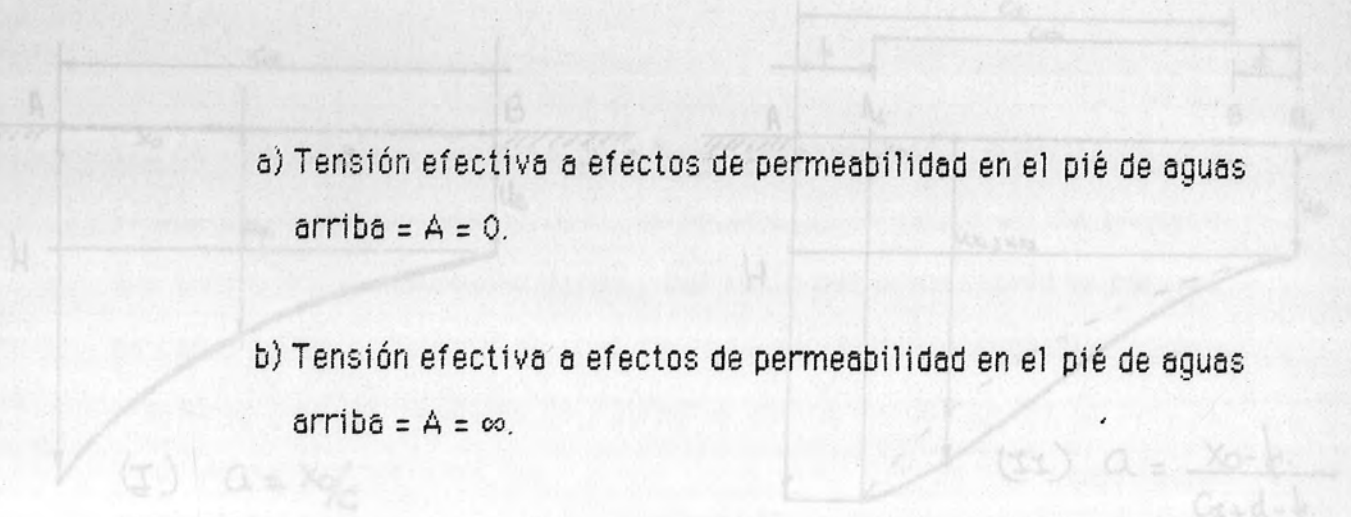
Al modelizar de una forma continua se pueden encubrir y de hecho se encubren fisuraciones aguas arriba, que permiten la penetración del agua con la presión correspondiente a la altura de embalse en una longitud, que depende del confinamiento de la zona fisurada y de la forma de transmitirse las cargas exteriores al pié de presa. En embalses mantenidos altos y más acusadamente con el transcurso del tiempo, la compresibilidad del cimientó aguas abajo produce en la línea teórica de drenaje longitudinal una situación de presión media que no es la puntual para el drenaje abierto.

Suponiendo, el caso de penetración del agua a presión en la zona de filtración, se produce una variación de la posición relativa del piezómetro ó piezómetros utilizados en el modelo, respecto a los límites tomados y por tanto una discontinuidad en la forma de evolución de las presiones que será asimilable por diagramas discontinuos de relación $u(x,H)/H$. Extendiendo este supuesto a toda la zona de filtración, el punto de drenaje efectivo ó punto de presión de referencia constante, podría situarse, nó en él de drenaje real, sinó más atrás de él, en su posición en planta.

La apreciación de esta posible discontinuidad es poco evidenciada por los datos de una auscultación hidráulica convencional que recoge fluctuaciones poco precisas y únicamente define las tendencias al crecimiento. La modelización de la distribución de subpresiones encaja con los siguientes valores límites:



ESQUEMA: POSIBLES INTERPRETACIONES DE LA EVOLUCIÓN DE LA PRESIÓN EN UN PUNTO CON LA ALTURA DE EMBALSE.



a) Tensión efectiva a efectos de permeabilidad en el pié de aguas arriba = $A = 0$.

b) Tensión efectiva a efectos de permeabilidad en el pié de aguas arriba = $A = \infty$.

La fórmula general da lugar en estos dos casos límites a distribuciones de presión de la forma:

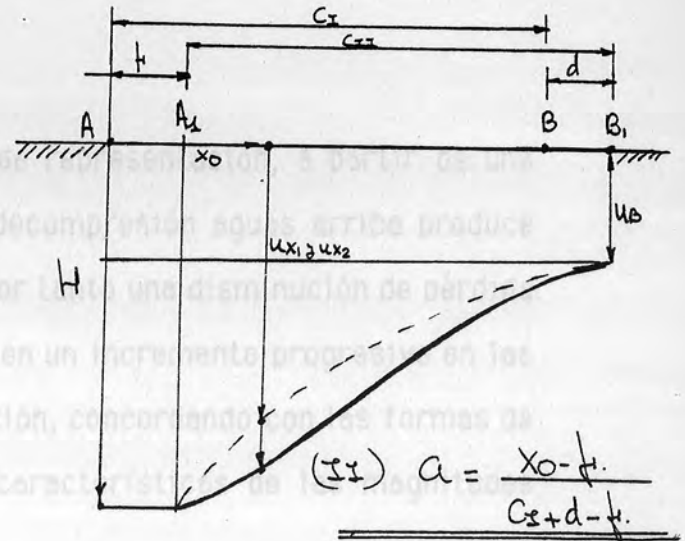
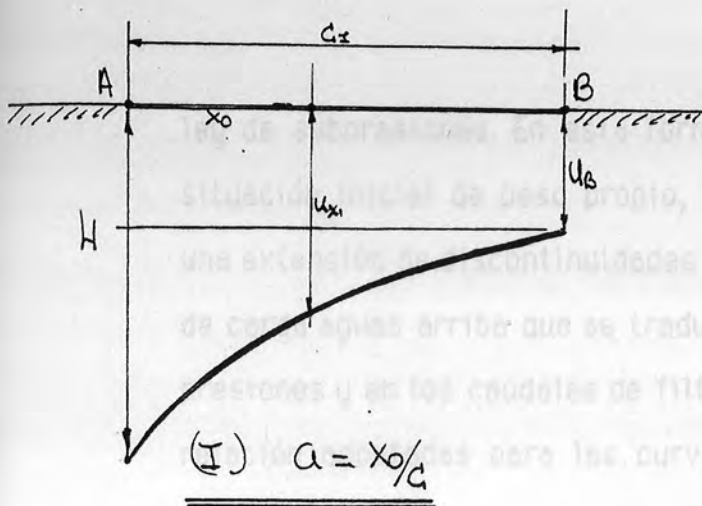
Expresión general, la supuesta impermeabilidad general aguas arriba por efecto de peso propio y fisuración cerrada, se representa por un valor $A \rightarrow \infty$

$$\frac{(u_x - u_B)}{(u_A - u_B)} = \frac{[(x/B)^{n+1} - 1]}{[(A/B)^{n+1} - 1]} ; (x/B) = A/B - (A/B - 1)a$$

$$A \rightarrow 0 \quad B \neq 0 \rightarrow u_x = (u_A - u_B)(1 - a^{n+1}) + u_B$$

$$A \rightarrow \infty \text{ ó bien } A \gg B \neq 0 \rightarrow u_x = (u_A - u_B)(1 - a)^{n+1} + u_B$$

En el primer caso, al llegar A , a un valor 0 se pasa de forma discontinua de una distribución tipo I a una distribución del tipo II y la posición del piezómetro, "a", empieza a ser variable al modificarse su posición relativa en la zona de filtración.



En el segundo caso, la supuesta impermeabilidad general aguas arriba por efecto de peso propio y fisuración cerrada, se representa por un valor $A \rightarrow \infty$.

Al modelizarse de una forma continua la evolución de las presiones en un punto, el modelo supone que no existe fisuración neta, con penetración del agua a la presión correspondiente a la altura de embalse sobre cimiento, y que tampoco existe una discontinuidad al pasar de una tensión efectiva, $A \gg B$, a un valor de relación moderado. La presión en el pie de aguas arriba de la presa representa, siempre, una condición de contorno y el punto de drenaje efectivo se identifica con el punto de drenaje real, con lo cual la zona de filtración se mantiene acotada y la situación de los piezómetros intermedios es fija en posición relativa a los límites tomados. Las condiciones de contorno, para todas las alturas de embalse, son $u_A = H + h_0$ y $u_B = h_0$, siendo h_0 la altura de referencia con respecto al cimiento, tomada como origen de la

ley de subpresiones. En esta forma de representación, a partir de una situación inicial de peso propio, la decompresión aguas arriba produce una extensión de discontinuidades y por tanto una disminución de pérdida de carga aguas arriba que se traduce en un incremento progresivo en las presiones y en los caudales de filtración, concordando con las formas de relación adoptadas para las curvas características de las magnitudes hidráulicas.

La influencia conjunta del estado de decompresión aguas arriba y de compresión aguas abajo, partiendo de la situación de peso propio, hace que el punto de drenaje establezca una condición de equilibrio hidráulico en la sección de filtración que habrá que estudiar aplicando el modelo aguas arriba y aguas abajo del drenaje y considerando el caudal que sale por el dren, como la diferencia entre el que penetra aguas arriba y el que sale por el pié de presa.

La ausencia de datos adecuados para este tipo de aplicación, hace que el modelo tenga que limitarse a la zona de filtración aguas arriba del drenaje, admitiéndose en los ajustes posibles toda una serie de resultados coherentes con los efectos de flexotracción, pero extraídos de un proceso más imaginativo que contrastable por datos reales.

Es así posible admitir variación de las condiciones de contorno u_A , u_B ó formas de distribución tensionales, pudiendo ejercitar con el modelo las siguientes formas de aplicación:

- a) Variación de las condiciones de contorno $u_A = f_A(H)$; $u_B = f_B(H)$.
- b) Distribución tensional lineal de las tensiones totales $\epsilon_x = \epsilon_A - (\epsilon_A - \epsilon_D)(x/d)$, y efecto del agua intersticial sin influencia en la deformación
- c) Distribución de las tensiones efectivas continua en toda la zona del contacto $\epsilon'_x = \epsilon'_A - (\epsilon'_A - \epsilon'_D)(x/d)$.
- d) Distribución tensional discontinua de las tensiones efectivas estableciendo como punto de discontinuidad el de drenaje $\epsilon'_x = \epsilon'_A - (\epsilon'_A - \epsilon'_B)(x/c)$.
- e) Aplicación del modelo aguas arriba y aguas abajo del drenaje, dando al drenaje real un sentido de equilibrio hidráulico a la filtración sin influencia en él de la tensión efectiva a efectos de permeabilidad.
- f) Situación variable del punto de drenaje efectivo.

Todos los resultados tanteados en las zonas de filtración de las presas estudiadas, aprecian que la mejor forma comparativa de representar los resultados es estimar como más importante, el efecto de extensión aguas arriba, al estar los piezómetros utilizados en zonas

próximas al pié de presa y detectarse en la zona de aguas abajo presiones de poca entidad. Se utiliza para ello una distribución de tensiones efectivas a efectos de permeabilidad que se supone equivalente, en toda la zona del contacto, a la repartición del efecto de las cargas exteriores y de la subpresión de forma lineal (Caso C), por entender así representado el modelo en toda la zona de filtración y poder asumir con él los efectos de flexotracción a ambos lados del drenaje. Así representados los valores tensionales, las referencias al estado tensional tendran su origen en el valor del momento resultante de todas las acciones consideradas.

Con estos criterios se presenta en el Anejo D la aplicación del modelo a los datos de auscultación de la ménsula central de Almendra para las situaciones límites de embalse que se expresan gráficamente en la figura.

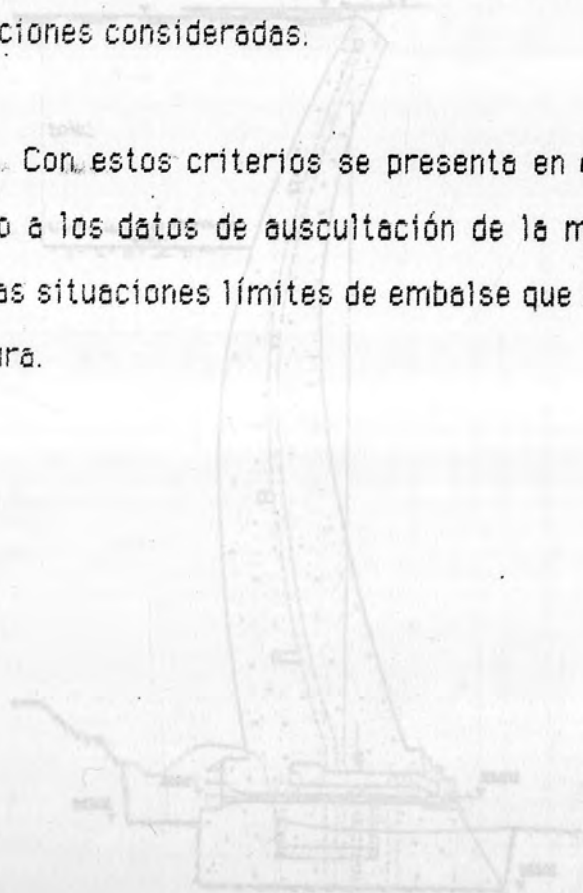


FIGURA 51

Presa de Almendra. Planta central y sección de la ménsula central, a la que se aplica el modelo.

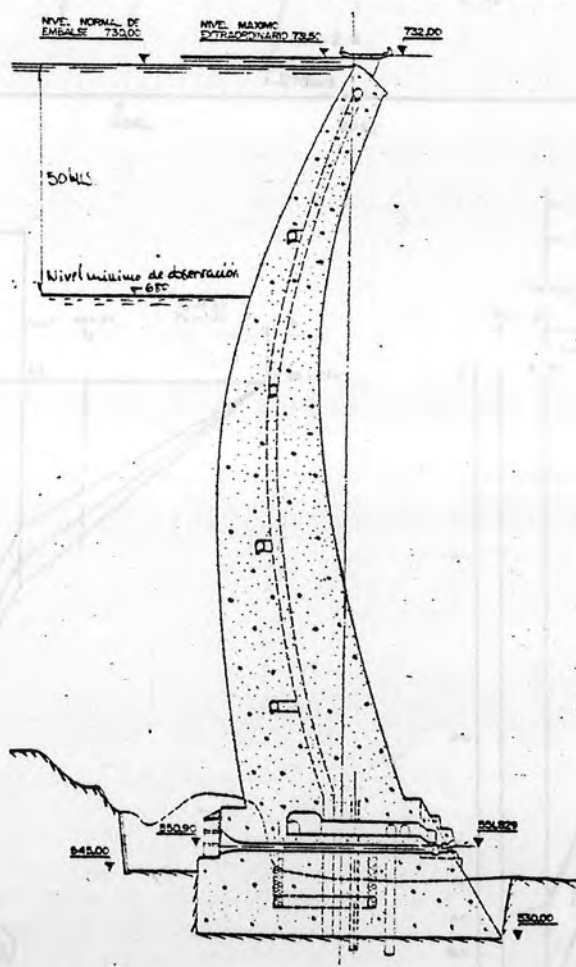
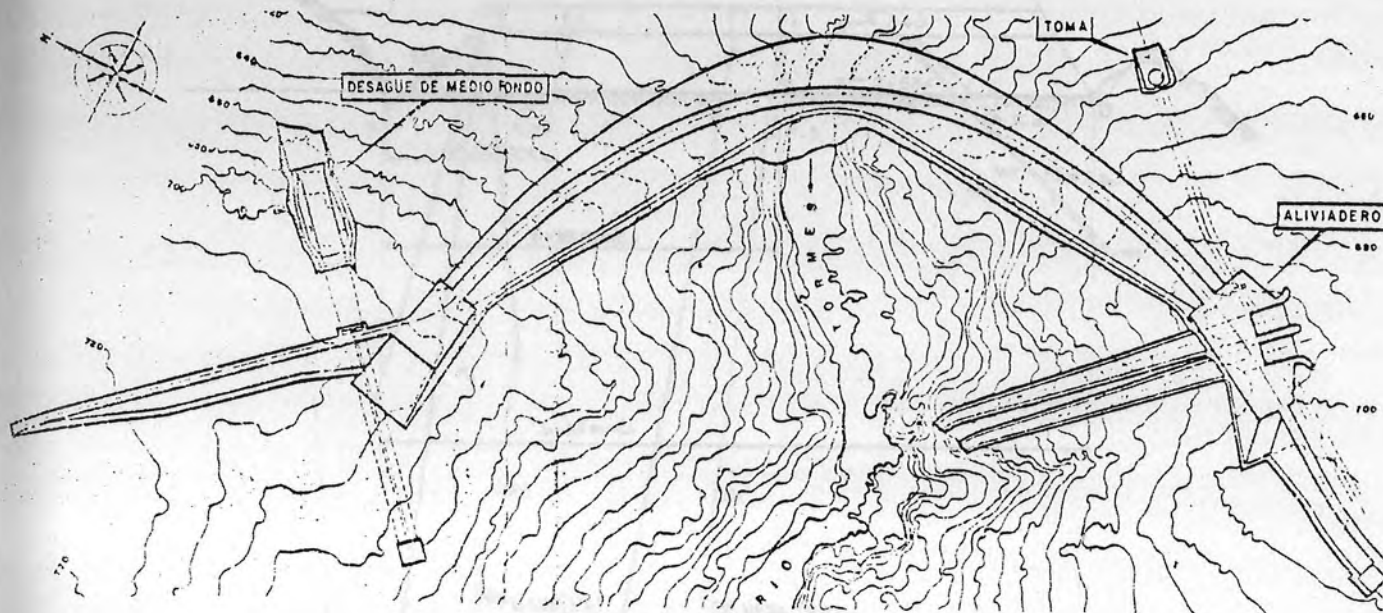
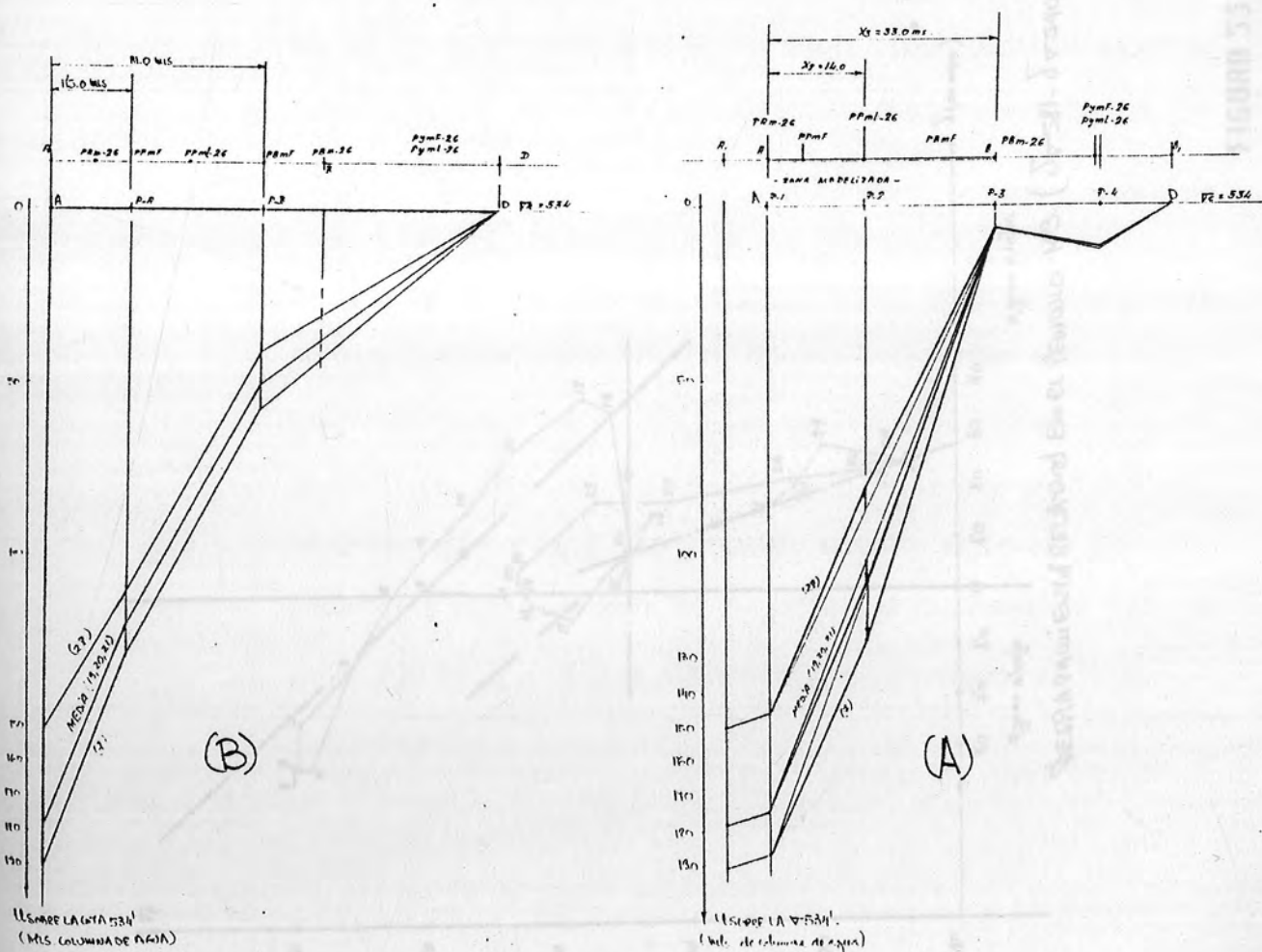


FIGURA 51

Presa de Almuendra. Planta General y sección de la masa central, en la que se aplica el modelo.



PRESA DE ALMEJERA. Dispositivo de AUSCULTACIÓN y ESQUEMAS tipo DE DISTRIBUCIÓN DE SUBPRESIONES. A) ZONA SUPERFICIAL. B) ZONA PROFUNDA

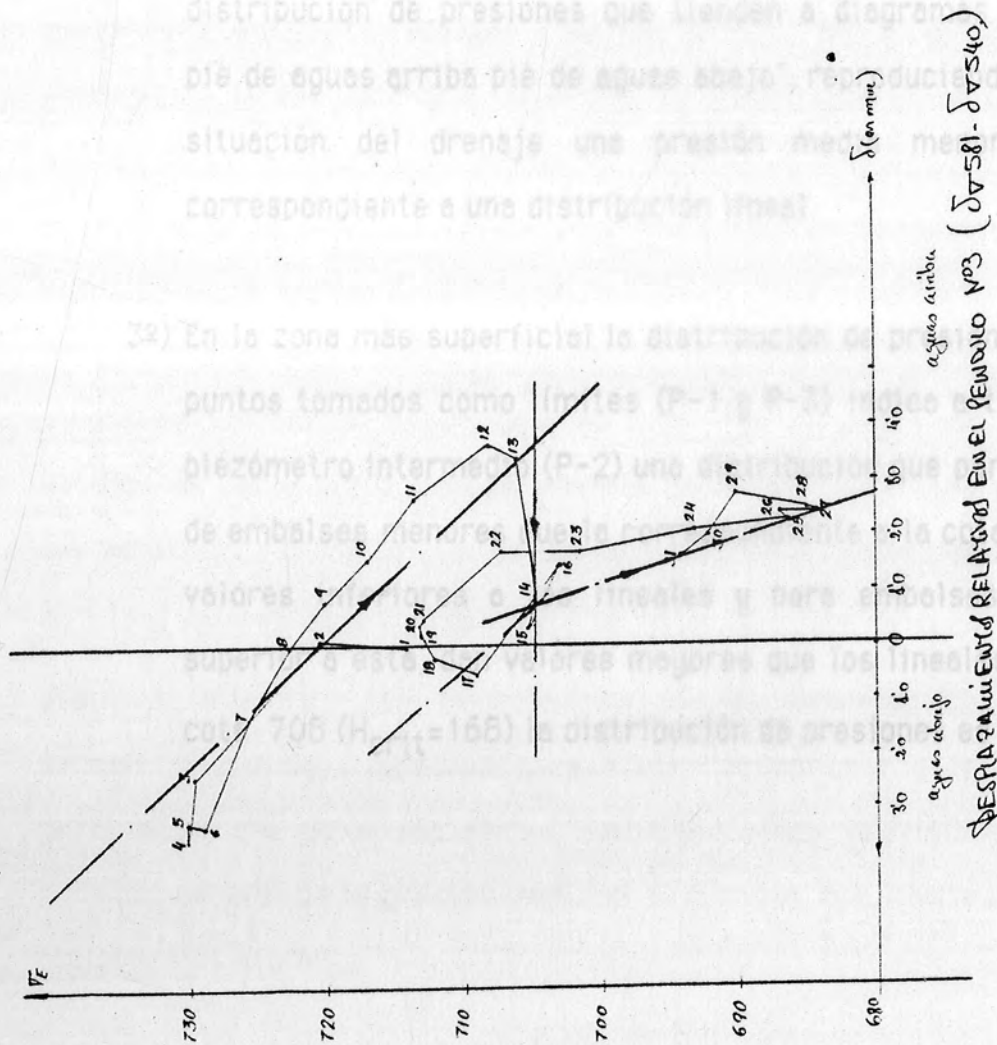
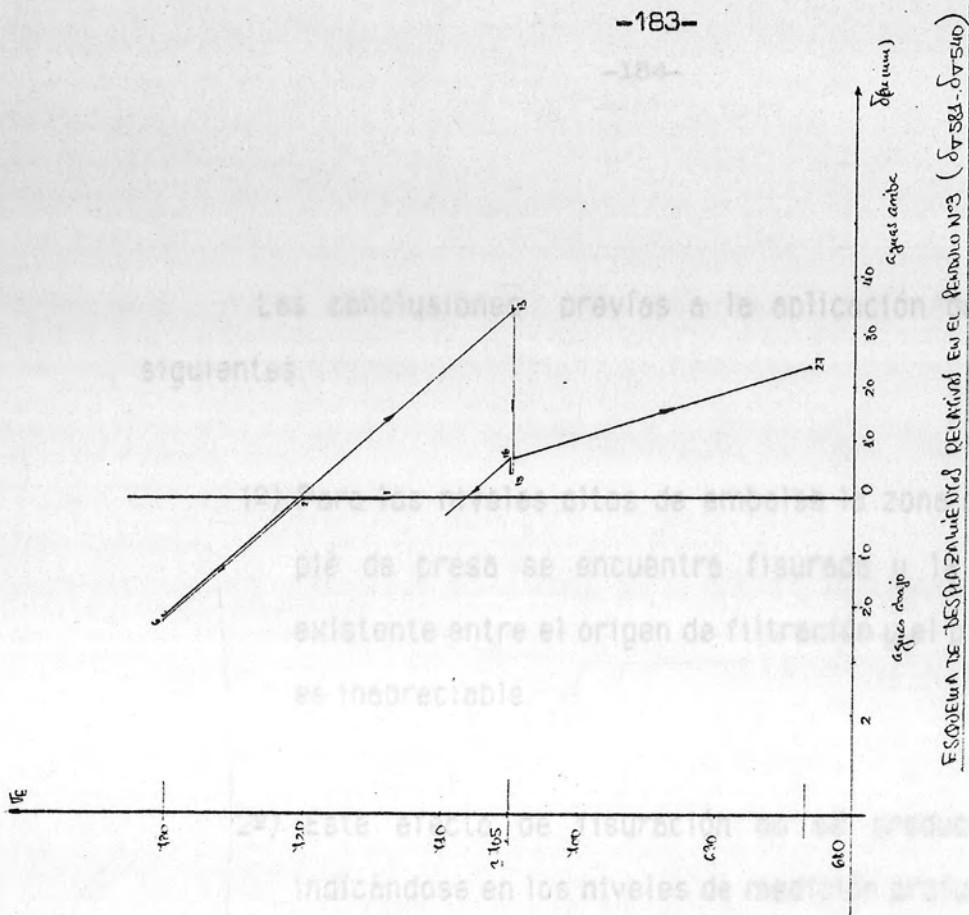


FIGURA 53

Las conclusiones previas a la aplicación del modelo son las siguientes:

12) Para los niveles altos de embalse la zona correspondiente al pie de presa se encuentra fisurada y la pérdida de carga existente entre el origen de filtración y el piezómetro P.R.M.-1 es inapreciable.

22) Este efecto de fisuración no se produce en profundidad indicándose en los niveles de medición profundos, esquemas de distribución de presiones que tienden a diagramas "lineales pie de aguas arriba pie de aguas abajo", reproduciéndose en la situación del drenaje una presión media menor que la correspondiente a una distribución lineal.

32) En la zona más superficial la distribución de presiones en los puntos tomados como límites (P-1 y P-3) indica a través del piezómetro intermedio (P-2) una distribución que para alturas de embalses menores que la correspondiente a la cota 708 dan valores inferiores a los lineales y para embalses de cota superior a ésta, dan valores mayores que los lineales. Para la cota 708 ($H_{crit}=168$) la distribución de presiones es lineal.

42) Estos efectos que el modelo analiza como extensión ó compresión relativa, fundamentalmente de la zona aguas arriba, se corresponden en la H_{crit} con un cambio en la relación s/H para los desplazamientos absolutos y relativos medidos en la base de la presa y por tanto en la magnitud del giro relativo del cimiento, bien que apreciando un efecto de discontinuidad que podrían tener su origen en un cambio de distribución tensional.

Se interpreta así la evolución de las magnitudes hidráulicas a partir de un estado de referencia (estado crítico), que en su distribución equivalente lineal supondría un estado de débil compresión uniforme y que, en su definición física supondría la altura de embalse a partir de la cual los efectos de extensión se empiezan a denotar claramente nó ya en el pie de aguas arriba, sino incluso en el resto de la zona de filtración.

La aplicación del modelo en distintas hipótesis de ajuste de estados de carga e hidráulicos permite observar, resultados en los que los parámetros de definición del modelo tienden a tipificarse en valores de $n < 1$ y valores de ϵ'_{11} próximos a un valor absoluto cero en la tensión efectiva, mientras que la evolución en los caudales de filtración demuestra que la fisuración neta afecta únicamente a la zona mas próxima al pie de aguas arriba, existiendo muy previsiblemente un aumento general de la presión media en el drenaje, que limita el valor de los caudales aforados.

a) La influencia del agua que ocupa las discontinuidades del

La discusión de los resultados presentados permite toda una serie de interpretaciones de las que se resaltan por su interés las siguientes: presión que producen la fracturación hidráulica aguas arriba y que se corresponden con una saturación total en el

- a) El efecto de fisuración supone un cambio discontinuo en la filtración aumentándose las presiones sin apreciable modificación en los caudales, al mantenerse el resto de la zona de filtración sin variación apreciable en su conductividad hidráulica.
- b) El efecto pantalla y el efecto drenaje pueden representarse por formas de variación de $u_A(H)$ y $u_B(H)$ que no respondan al esquema general acordado $u_A=H$; $u_B=0$.
- c) El caudal aforado en el drenaje representa solamente una parte del caudal que entra en la zona de filtración pero existe una parte del caudal no captado por él, variable con la altura de embalse.
- d) Los giros del cimienta responden, a partir de la altura de embalse crítica, a un módulo de elasticidad de conjunto distinta para la zona de filtración y para la zona de aguas abajo del contacto.

e) La influencia del agua que ocupa las discontinuidades del macizo no empieza a denotarse como elemento de influencia en el giro del cimientó, hasta que no se alcanzan unos niveles de presión que producen la fracturación hidráulica aguas arriba y que se corresponden con una saturación total en el medio incluso en la zona de aguas abajo, aparentemente drenada.

IV.- CONCLUSIONES SOBRE LA AUSCULTACION HIDRAULICA COMO FORMA DE CONOCIMIENTO DETERMINISTA

IV.- CONCLUSIONES SOBRE LA AUSCULTACION HIDRAULICA COMO FORMA DE CONOCIMIENTO DETERMINISTA

Los macizos rocosos que sirven para la cimentación de presas de fábrica, responden a la imagen general de rocas competentes y de baja permeabilidad como primera condición por la cimentación en ellos, de grandes estructuras de hormigón.

Esta primera condición que se cumple con generalidad en los
cimentos, se ve alterada por la existencia de
heterogeneidades claras que requieren tratamientos zonales específicos,
con lo que se establece una segunda condición en la
propia estabilidad.

IV.- CONCLUSIONES SOBRE LA AUSCULTACION HIDRAULICA COMO FORMA DE CONOCIMIENTO DETERMINISTA

Los tratamientos específicos de limpieza e inyección de
entramado de zonas claramente discontinuas como fallas o grietas,
disclasas, la captación de aguas de manantiales, la existencia de
galerías de penetración en roca, los drenajes específicos de las
soluciones adoptadas para conseguir un cimiento homogéneo
competente exento de zonas localizadas de posible inestabilidad.

La observación de la auscultación hidráulica en presas de
con distintos cimientos y diferentes tipologías estructurales
manifiesta, que la información que proporciona la forma de
del agua a través de los caudales y las distribuciones de
mayor precisión en el conocimiento de la roca de

IV.- CONCLUSIONES SOBRE LA AUSCULTACION HIDRAULICA COMO FORMA DE CONOCIMIENTO DETERMINISTA

Los macizos rocosos que sirven para la cimentación de presas de fábrica, responden a la imagen general de rocas competentes y de baja permeabilidad como primera condición por la cimentación en ellos, de grandes estructuras de hormigón.

Esta primera condición que se cumple con generalidad en los cimientos de las presas de fábrica, no impide la existencia de heterogeneidades claras que requieren tratamientos zonales específicos, con influencia en la permeabilidad de conjunto del cimiento y en la propia estabilidad de la presa.

Los tratamientos específicos de limpieza e inyección ó enclavamiento de zonas claramente discontinuas como fallas ó grandes diaclasas, la captación de aguas de manantiales, la existencia de galerías de penetración en roca, los drenajes específicos de ladera son soluciones adoptadas para conseguir un cimiento homogéneo y competente exento de zonas localizadas de posible inestabilidad.

La observación de la auscultación hidráulica en presas de fábrica con distintos cimientos y diferentes tipologías estructurales pone de manifiesto, que la información que proporciona la forma de filtración del agua a través de los caudales y las distribuciones de subpresiones da mayor precisión en el conocimiento de la roca de cimiento, que la

auscultación deformacional-convencional, basada en las medidas de desplazamientos relativos en la estructura.

El hiperestatismo del conjunto estructural presa-cimiento, en las bóvedas y el inducido en las presas de gravedad por los rozamientos entre bloques y entre estos y sus cimientos junto a las coacciones laterales de ladera, hacen que "la detección de zonas localizadas con anomalías hidráulicas y su forma de evolución en el tiempo", den los mejores índices del comportamiento del cimiento al mismo tiempo que suponen la mejor forma preventiva para el seguimiento de la seguridad en la explotación continua del embalse.

Si se analizan y separan los efectos que responden a condiciones generales en la filtración se podrá discernir a través de ellos conceptos como: caudales que globalmente se producen en todo el contacto; forma general de influencia de las precipitaciones de lluvia y de los niveles freáticos remanentes en laderas; deformaciones estructurales "tipo" definidas por movimientos radiales y tangenciales en distintos niveles de la estructura; se tendrá, de esta manera, unos índices de estabilidad del conjunto estructura-cimiento, separando en primera instancia zonas de anomalías ó de comportamientos específicos.

La auscultación hidráulica de los cimientos de presas de fábrica demuestra la existencia de unas líneas generales de comportamiento expuestas en el epígrafe III.2.1 de las que se deducen las siguientes CONCLUSIONES GENERALES:

- "La estructura rocosa de los cimientos de presas de fábrica unida a sus tratamientos específicos constituye un medio de filtración de pequeña permeabilidad de conjunto, de tal forma que la mayor aportación de caudales tiene su procedencia en anomalías, heterogeneidades inducidas ó zonas singulares no relacionadas directamente con la estructura rocosa general del medio".

- "La influencia conjunta e inseparable del nivel de embalse y el efecto térmico estructural transmitido a la cerrada produce variaciones instantáneas y diferidas en el tiempo en la conductividad hidráulica del cemento, tanto considerado este globalmente como en zonas específicas".

- Como consecuencia de los efectos tensionales transmitidos al cimiento se localizan con generalidad zonas preferentes de filtración en las que producen los mayores caudales continuos y las máximas subpresiones en relación con el flujo radial embalse-drenaje; estas zonas se corresponden con la ladera baja y el cuenco por efecto de las flexiones producidas tanto por efecto arco como por efecto ménsula, siendo de notar en las presas de gravedad efectos arco de compresión de laderas que afirman un comportamiento estructural hiperestático en las zonas bajas, tanto mas acusado cuanto menos abierta es la cerrada.

-Los caudales de filtración y las presiones en el cimiento evolucionan en el tiempo de la misma manera que lo hace la deformabilidad de la roca manifestándose así comportamientos diferidos asociables a deformaciones irreversibles.

A otra escala de concepción del problema se encuentra la estructura general de la roca de cimiento con su estratificación y esquistosidades que dá lugar, en zonas aparentemente homogéneas a filtración por pequeñas discontinuidades como vías principales de penetración del agua. Tomando como origen la roca original desposeída de alteraciones superficiales y tratada generalmente por una inyección de consolidación, la filtración en ella depende en primera instancia de los siguientes conceptos:

1º) Discontinuidades estructurales de la roca matriz.

2º) Efectividad de las inyecciones de consolidación general en la roca y especialmente de las destinadas a la formación de una

cortina de estanqueidad aguas arriba de la presa.

3º) Intensidad y disposición del drenaje.

4º) Modificaciones estructurales de la roca de cimentación por los estados tensionales.

El análisis de la auscultación hidráulica, en secciones específicas de filtración, demuestra que la diferencia de comportamiento hidráulico responde al tipo, la intensidad y la forma de distribución de las discontinuidades.

Las inyecciones destinadas a formar una pantalla impermeable en el pie de aguas arriba no suponen de hecho una condición de contorno continua, de estanqueidad para todo el contacto presa-cimiento, siendo su efectividad anulada para embalses altos por una apertura de fisuras pre-establecidas en la historia tensional ó por extensiones que permiten la acumulación aguas arriba de la presa de presiones iguales a la altura del embalse; la línea teórica de drenaje formada por taladros distribuidos longitudinalmente en el contacto, no supone necesariamente una discontinuidad total en la filtración y los efectos tensionales de extensión/compresión en laderas y/ó los de flexión en la base de las ménsulas y arcos, producen modificaciones inmediatas en la red de filtración como respuesta a la deformación no diferida, tanto aguas arriba como aguas abajo del drenaje.

Estos conceptos apuntados son determinantes en cada momento, de la forma de filtración en el medio y su forma de influencia puede modificarse en el tiempo por la repetición de ciclos variables de carga hidráulica superpuestos a estados térmicos diferentes; existen al margen de los estados tensionales otras consideraciones, que en su caso, pueden ser decisivas en la variación de las condiciones de filtración.

Se pueden citar los efectos de naturaleza físico-química basados en las acciones de disolución o arrastre del agua de infiltración; la impermeabilización del vaso en la zona baja de retención de agua; el ataque del cemento de la pantalla de impermeabilización por aguas ácidas; la colmatación de fisuras y pérdida de capacidad filtrante en las proximidades del drenaje ó incluso, su obturación ó ineficacia parcial.

La formulación del modelo y su aplicación a los datos disponibles de auscultación hidráulica destaca como conclusiones más notables:

12) Existen casos en los que la conductividad hidráulica de la roca del cimientto es poco sensible a la modificación del nivel de embalse, lo que se traduce en deformaciones relativas despreciables y leyes de $u(x,H)$ y $q(H)$ lineales. Esta forma de comportamiento es habitual en todos los macizos rocosos estudiados para niveles de embalse en los que el peso propio domina sobre el efecto de carga hidráulica.

22) En otros muchos casos, la conductividad hidráulica de la roca del cimientto es sensible al estado de carga con variación a lo largo de las líneas de corriente, que se traduce en deformaciones apreciables y curvas de relación $q(H)/H'$ $u(x,H)/H$ crecientes de forma continua.

Esta forma de comportamiento es habitual en zonas bajas de los macizos rocosos estudiados, para niveles de embalse altos, cuando la carga hidráulica combinada con los efectos térmicos y la subpresión, tienden a introducir efectos de flexotracción aguas arriba y compresiones aguas abajo con un momento resultante superior al de peso propio. En esta segunda situación es posible determinar una ley que relacione los cambios de K y ξ con dos objetivos básicos:

- a) Valorar el riesgo de rotura hidráulica en la cimentación, en función de incrementos no lineales de las magnitudes hidráulicas $q(H)$ y $u(x,H)$.
- b) Presentar un camino de investigación en el conocimiento del macizo rocoso valorando los parámetros que definen los valores de relación K - ξ para su comparación en distintos tipos de roca.

Subsidiariamente el modelo permite enjuiciar el hiperestatismo en estructuras teóricamente isostáticas al apreciarse tensiones arco en zonas bajas y medias de cerrada, en presas de gravedad.

Para precisar gran parte de estas conclusiones se hace necesario una auscultación que suministre datos orientados a precisar el modelo, ya que las conclusiones que aquí se obtienen proceden de las apreciaciones repetitivamente cualificadas en la auscultación hidráulica, y no de los valores obtenidos por el modelo, con datos para su aplicación que no están dirigidos a la investigación.

V.- PROGRAMA BASICO DE APLICACION DE UN MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA A UNA PRESA DE FABRICA

V.- PROGRAMA BASICO DE APLICACION DE UN MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA A UNA PRESA DE FABRICA

El estudio de la modificación en el tiempo de las condiciones de filtración en el cimientó de una presa de fábrica no debe basarse en la observación continua y sistemática de los caudales y de las presiones del agua y en el conocimiento de las deformaciones en la roca.

V.- PROGRAMA BASICO DE APLICACION DE UN MODELO DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA A UNA PRESA DE FABRICA

Con carácter general la auscultación hidráulica-deformacional que se hace convencionalmente proporciona, si se analiza, datos sobre el comportamiento hidráulico del cimientó que definen las CONDICIONES GENERALES DE LA FILTRACION EN EL CONTACTO PRESA CIMIENTO y que son coherentes con las deformaciones de conjunto observadas por los péndulos inversos.

Si se quiere profundizar en el análisis y obtener resultados comparativos de la forma de comportamiento de un tipo de roca que se suponga representativo del conjunto del cimientó, es necesario ir a una auscultación hidráulica-deformacional de mayor detalle.

Se deberá para ello elegir secciones transversales del cimientó situadas en las zonas bajas de ladera y con preferencia la sección transversal de la ménsula central si como es bastante habitual, la concepción de la obra de fábrica responde a una simetría estructural; se tendrá de esta forma una mayor certidumbre sobre la procedencia directa de los

**V.- PROGRAMA BASICO DE APLICACION DE UN MODELO
DETERMINISTA DE AUSCULTACION HIDRAULICA A UNA PRESA
DE FABRICA**

El estudio de la modificación en el tiempo de las condiciones de filtración en el cimientó de una presa de fábrica ha de basarse en la observación continua y sistemática de los caudales y de las presiones del agua y en el conocimiento de las deformaciones en la roca.

Con carácter general la auscultación hidráulica-deformacional que se hace convencionalmente proporciona, si se analiza, datos sobre el comportamiento hidráulico del cimientó que definen las CONDICIONES GENERALES DE LA FILTRACION EN EL CONTACTO PRESA CIMIENTO y que son coherentes con las deformaciones de conjunto observadas por los péndulos inversos.

Si se quiere profundizar en el análisis y obtener resultados comparativos de la forma de comportamiento de un tipo de roca que se suponga representativo del conjunto del cimientó, es necesario ir a una auscultación hidráulica deformacional de mayor detalle.

Se deberá para ello elegir secciones transversales del cimientó situadas en las zonas bajas de ladera y con preferencia la sección transversal de la ménsula central si como es bastante habitual, la concepción de la obra de fábrica responde a una simetría estructural; se tendrá de esta forma una mayor certidumbre sobre la procedencia directa de los

caudales de filtración del flujo radial embalse-drenaje y se evitarán en el análisis los efectos laterales de flujo de ladera, por condiciones de simetría.

Para el conocimiento de la distribución de subpresiones en la sección de filtración es imprescindible conocer las presiones del agua que definen las condiciones de contorno de la red de filtración y algunos valores intermedios en el contacto. Se dispondrá para ello de:

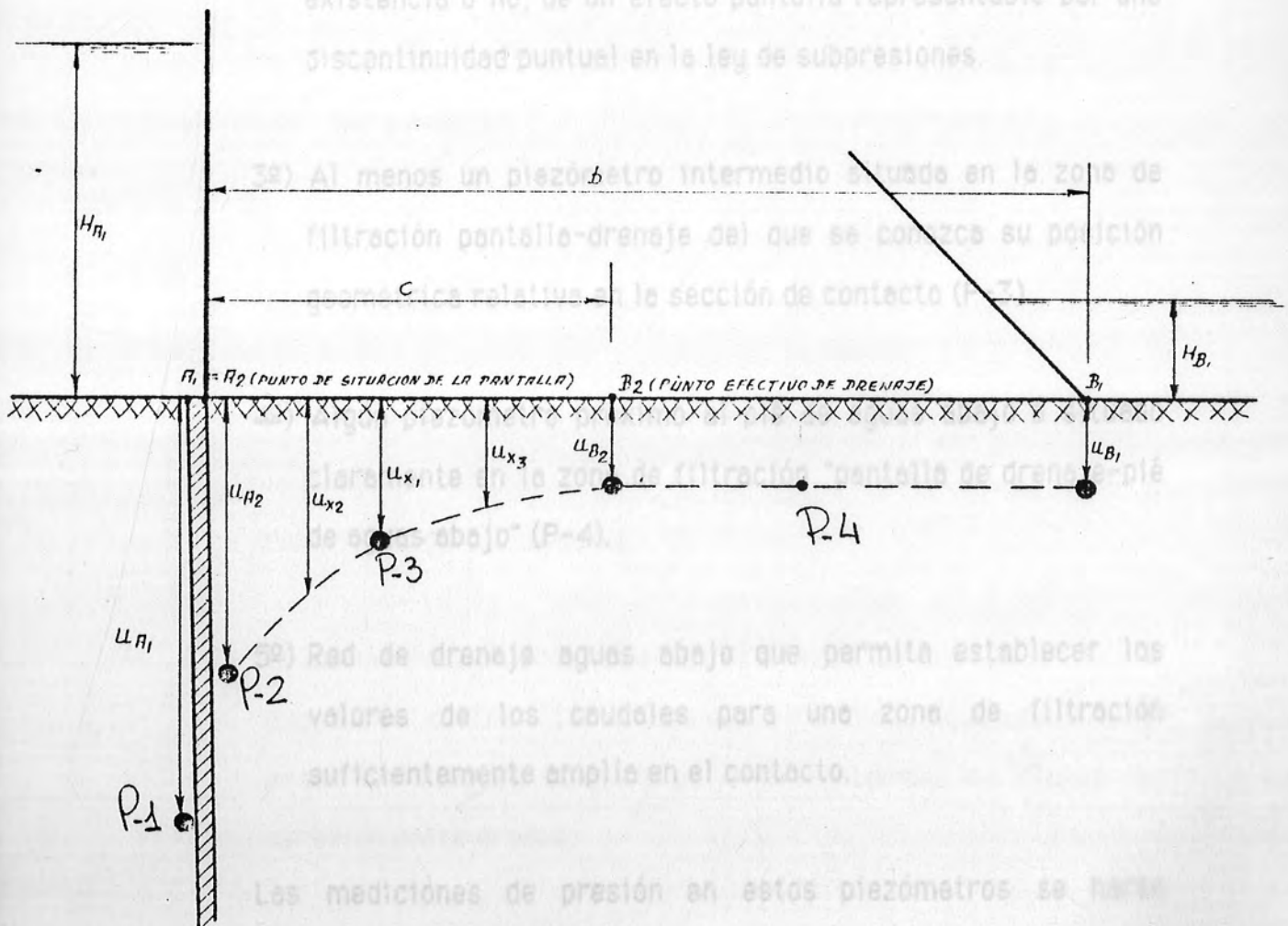


FIGURA 54

12) Algún piezómetro próximo o coincidente con el pié de aguas arriba de la presa y fuera de la zona de inyección que confirme la existencia de una presión en este punto igual a la altura de embalse sobre el plano de cimiento, ó bien que defina una pérdida de carga que sería indicativa de componente vertical en el flujo.

22) Algún piezómetro próximo al pié de aguas arriba y situado en la zona de inyección ó aguas abajo de ella que confirme la existencia ó no, de un efecto pantalla representable por una discontinuidad puntual en la ley de subpresiones.

32) Al menos un piezómetro intermedio situada en la zona de filtración pantalla-drenaje del que se conozca su posición geométrica relativa en la sección de contacto (P-3).

42) Algún piezómetro próximo al pié de aguas abajo ó situado claramente en la zona de filtración "pantalla de drenaje-pié de aguas abajo" (P-4).

52) Red de drenaje aguas abajo que permita establecer los valores de los caudales para una zona de filtración suficientemente amplia en el contacto.

Las mediciones de presión en estos piezómetros se harán sistemáticamente en situaciones de drenaje abierto y cerrado,

entendiendo que la situación de drenaje cerrado debe de producirse durante un tiempo suficiente para asegurar la estabilidad de las presiones medidas. El tiempo necesario para lograrlo, supuesto el embalse a cota constante, deberá de fijarse "in situ" tanteando mediante diferentes espaciamientos en las lecturas, aunque inicialmente podría fijarse en 1 día. Es interesante poder utilizar el drenaje para medir en él las presiones que se producen por obturación inmediata (lectura a las 2 horas de su obturación) y después del cierre durante el período que se haya fijado como más conveniente.

Como factores más importantes a considerar en la forma de medición hay que destacar: Las características de relación u/H y q/H . Las curvas características que deberán definirse en el programa completo de auscultación. -Se deberán medir las presiones en el cimientó con un mismo caudal plano de referencia paralelo al contacto.

Curvas -Se deberá de asegurar que la medición piezométrica responda a la medida de presión en un punto (entubado, inyección y perforación del taladro).

-En las medidas de presiones con el drenaje cerrado se deberá de asegurar el cierre total del drenaje en el bloque que se ausculta y en los bloques colaterales a él evitando, los flujos de conexión entre drenes.

Estas mediciones sistemáticas deberán de iniciarse desde la puesta en carga de la presa, para asegurar el conocimiento de las distribuciones de subpresiones en niveles, que probablemente se tendrán muy ocasionalmente durante la explotación normal del embalse. Es importante esta referencia inicial puesto que va a ser en el tiempo un índice de comparación, en años sucesivos de auscultación, en el que se reflejen, si existen, efectos no reversibles.

La representación de los datos de auscultación se hará en función de la altura de embalse, buscando tanto en la evolución de las presiones del agua como en los caudales de filtración unos comportamientos tipo representables por curvas características de relación u/H y q/H . Las curvas características que deberán definirse en el programa completo de auscultación tanto para las presiones en el cimiento como para los caudales de filtración, son:

- 1) Curvas características del comportamiento de la presión del agua y de los caudales de filtración en la primera puesta en carga; su objetivo principal serán:

- Tendencias observadas ó discontinuidades ya establecidas;
- Observación de la evolución de las magnitudes hidráulicas en embalses bajos y valores máximos iniciales, para los niveles más altos de embalse.

-Comportamiento inicial de la impermeabilización y el drenaje; observación de efectos de discontinuidades si existen.

-Tiempo necesario para la estabilización de las presiones.

-Correspondencias diferidas en el tiempo entre la manifestación de presiones y caudales drenados.

II) Curvas características del comportamiento de la presión del agua y de los caudales de filtración en los primeros ciclos de embalse y desembalse en los recorridos normales de explotación; su objetivo principal será:

-Análisis de la reversibilidad de los efectos hidráulicos.

-Análisis de la evolución de la impermeabilización y el drenaje en los primeros ciclos de carga.

-Tendencias observadas ó discontinuidades ya establecidas; penetración hacia aguas abajo de la red de filtración.

-Análisis de los efectos de histerésis en las subidas y bajadas de embalse.

-Análisis de las relaciones p-q en los piezómetros P-1; P-2 y en el drenaje, para observar los tiempos de desfase que se producen por el movimiento del agua en su recorrido; embalse-drenaje.

III) Curvas características de presiones del agua y de caudales de filtración, cuando éstas magnitudes estabilizan su evolución y repiten efectos de la misma cuantificación en procesos de variación de embalse entre los niveles máximos y mínimos normales de la explotación; su objetivo principal será:

-Análisis de formas de comportamiento estabilizadas; existencia de una altura de embalse "umbral" relacionada con efectos de apertura neta de fisuras aguas arriba ó cierres sistemáticos aguas abajo; ó en su caso comportamiento a flexotracción por extensión/compresión de discontinuidades.

-Comprobación de que las tendencias en la red de filtración están estabilizadas y responden a una geometría fija.

La medición de deformaciones podrá hacerse con extensómetros de varilla ó extensómetros lineales, que las observaciones deberán de hacerse cada día.

Para comparar los efectos hidráulicos con los deformacionales, será necesario sistematizar la toma de datos de deformación en el cimientto que debe de hacerse en base a la medición de desplazamientos relativos con respecto a un origen tomado para la situación inicial de peso propio. Interesa, en la misma sección auscultada hidráulicamente conocer, respecto a un origen, los desplazamientos relativos, al pié de aguas arriba y en el pié de aguas abajo de la sección de contacto.

Se tendrá que disponer para ello en una sección paralela a la de auscultación hidráulica y en el mismo bloque, dos líneas ó taladros de medición verticales a distintas profundidades con situaciones en planta similares a las de los piezómetros P-1 y P-4 de tal forma que la medición a varios niveles de profundidad en el cimientto, aguas arriba y aguas abajo, detecte los efectos de apertura y cierre en las zonas previsiblemente afectadas por máximos efectos de expansión y compresión. Si en esta sección se dispone además de un péndulo inverso intermedio, se podrá definir el efecto de deformación por el giro incremental que supone las diferencias de desplazamientos de las mediciones aguas arriba y aguas abajo, al mismo tiempo que el péndulo inverso corrobora la tendencia a la distribución plana de las deformaciones y define la profundidad y posición geométrica en planta del eje de giro transversal de la sección.

La medición de deformaciones podrá hacerse por medio de extensómetros de varilla ó extensómetros incrementales, entendiendo que las observaciones deberán de hacerse cada metro en una profundidad

aproximada de 4 ó 5 ms; que la precisión en las medidas deberá de ser al menos de la décima de mm pensando en deformaciones relativas del orden de 10^{-4} ó 10^{-5} .

Como factores mas importantes a considerar en la forma de medición hay que precisar:

- Se procurará obtener las deformaciones predominantes en la dirección vertical perpendicular al contacto; para ello la inclinación de los taladros será lo más vertical posible, dentro de las posibilidades que permita la situación de la galería perimetral en el bloque y la existencia ó no de galería transversal.
- Se procurará evitar la entrada de agua en los taladros de medición procediendo para ello a su inyección y reperforación evitando así el efecto del agua en la medición al mismo tiempo que no se altera la ley de subpresiones.

La toma de datos de deformación seguirá una sistemática idéntica a la de los datos de auscultación hidráulica definiéndose curvas características "paralelas" a las definidas para las magnitudes hidráulicas y estimando deformacionalmente los mismos efectos apuntados en ellas. Si como es de esperar, al cabo de un tipo de auscultación, las magnitudes deformacionales aprecian una estabilidad repetitiva en los procesos de variación de embalse acotados entre los

niveles máximos y mínimos normales de explotación, se podrá definir la relación $\xi(x) \rightarrow K_e(x)$ por medio de los parámetros n y ϵ'_{11} que se han utilizado en el modelo teórico para expresar las tendencias de relación deformabilidad-conductividad hidráulica en el cimientto.

VI.- LINEAS DE INVESTIGACION

VI.- LINEAS DE INVESTIGACION A SEGUIR

De las conclusiones obtenidas en el capítulo IV y de la propuesta de programa contenida en el capítulo V, las líneas de investigación a seguir apuntan fundamentalmente en dos sentidos:

- a) Enjuiciar el comportamiento general del conjunto presa-cimiento local en zonas fisuradas o afectadas por estados tensionales límites.
- b) Establecer criterios de comportamiento en macizos rocosos sometidos a modificación tensional con influencia del agua de infiltración.

En ambos casos, se sugiere como línea básica de investigación a

VI.- LINEAS DE INVESTIGACION

Aplicación experimental del modelo, en base a datos de auscultación hidráulico-deformacional, para definir con precisión los parámetros que relacionan, el comportamiento hidráulico en distintos tipos de roca, con los parámetros tradicionales que explican, en ella, el comportamiento deformacional.

Esta línea de investigación está en estos momentos iniciada en la aplicación y seguimiento del modelo a través de la auscultación de la presa de Rieño y de la presa del Mingorrío.

VI.- LINEAS DE INVESTIGACION A SEGUIR

De las conclusiones obtenidas en el capítulo IV y de la propuesta de programa contenida en el capítulo V, las líneas de investigación a seguir apuntan fundamentalmente en dos sentidos:

a) Enjuiciar el comportamiento general del conjunto presa-cimiento local en zonas fisuradas o afectadas por estados tensionales límites.

b) Establecer criterios de comportamiento en macizos rocosos sometidos a modificación tensional con influencia del agua de infiltración.

En ambos casos, se sugiere como línea básica de investigación a seguir:

Aplicación experimental del modelo, en base a datos de auscultación hidráulico-deformacional, para definir con precisión los parámetros que relacionan, el comportamiento hidráulico en distintos tipos de roca, con los parámetros tradicionales que explican, en ella, el comportamiento deformacional.

Esta línea de investigación está en estos momentos iniciada en la aplicación y seguimiento del modelo a través de la auscultación de la presa de Riaño y de la presa del Mingorría.

Para eliminar alguna de las hipótesis de formulación que hacen referencia a la linealidad de tensiones efectivas ó deformaciones, se sugiere:

Adaptación del modelo zonalmente, en base a una formulación de K_e (zonal) $\rightarrow \xi$ (zonal) obtenida por medidas "in situ".

Para enjuiciar el mismo efecto de cambio de permeabilidad en el estado de deformación, se sugiere la aplicación del modelo en presas y cimientos de deformación diferentes con mayor sensibilidad a las variaciones $\xi-K_e$:

Aplicación del modelo a cuerpos de presa de tierras homogéneos.

VII.- BIBLIOGRAFIA

Aplicación del modelo a núcleos y cimientos de presas de materiales sueltos.

Aplicación del modelo a zócalos de presas de materiales sueltos con pantalla.

ARTICULOS CORRESPONDIENTES A
LOS CONGRESOS DE GRANDES PRESAS

VII.- BIBLIOGRAFIA

- (1) LE CARACTERE DE LA PERCOLATION D'UNE ROCHE D'APRES LES
OBSERVATIONS PREALABLES FAITES POUR LE PROJET DE L'ECRAN
DETANCHEITE. Guerra S.R., Weyermann W., Mota O.S. (Portugal). Q32.
Istamboul, 1967.

- (2) COMMENT PROTEGER LES BARRAGES-VOUTES CONTRE LA PRESSION
ARTICULOS CORRESPONDIENTES A

(France). Q32. Istamboul, 1967.

LOS CONGRESOS DE GRANDES PRESAS

- (3) ESSAIS SUR MODELES A TROIS DIMENSIONS POUR LA
DETERMINATION DES SOUS-PRESSIONS THEORIQUES DANS UN
BARRAGE-POIDS AVEC JOINTS EVIDES. Garimann R., Trucco G.
(Suisse). Q32. Istamboul, 1967.

- (4) QUELQUES PROBLEMES DE MECANIQUE DES ROCHES ETUDIES LORS DE
LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE CONTRA (VERZASCA). Lombardi J.
(Suisse). Q32. Istamboul, 1967.

- (5) STUDY OF CAUSES OF STABILITY FAILURE OF SANDY SUBSOIL
BENEATH LEVEES. Bazant Z., Hálek V. (Czechoslovakia). Q32. Istamboul,
1967.

- (6) FOUNDATION GROUTING AT THE HACKREN DAM. Abrahamsen R.,
Edlund L. (Sweden). Q32. Istamboul, 1967.

(1) LE CARACTERE DE LA PERCOLATION D'UNE ROCHE D'APRES LES OBSERVATIONS PREALABLES FAITES POUR LE PROJET DE L'ECRAN D'ETANCHEITE. Guerra S.R., Weyermann W., Mota O.S. (Portugal). Q32. Istamboul, 1967.

(2) COMMENT PROTEGER LES BARRAGES-VOUTES CONTRE LA PRESSION DE L'EAU DANS LES APPUIS. Ter Minassian W., Sabarly F., Londe P. (France). Q32. Istamboul, 1967.

(3) ESSAIS SUR MODELES A TROIS DIMENSIONS POUR LA DETERMINATION DES SOUS-PRESSIONS THEORIQUES DANS UN BARRAGE-POIDS AVEC JOINTS EVIDES. Gartmann R., Trucco G. (Suisse). Q32. Istamboul, 1967. a G. et Alonso Franco M. (Espagne). Q32. Istamboul, 1967.

(4) QUELQUES PROBLEMES DE MECANIQUE DES ROCHES ETUDIES LORS DE LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE CONTRA (VERZASCA). Lombardi J. (Suisse). Q32. Istamboul, 1967. R. Lauffer H., Neuhauser E., Schober W. (Austria). Q32. Istamboul, 1967.

(5) STUDY OF CAUSES OF STABILITY FAILURE OF SANDY SUBSOIL BENEATH LEVEES. Bazant Z., Hálek V. (Czechoslovakia). Q32. Istamboul, 1967. IGNEES. Mary. Duffaut P., Comes G. (France). Q32. Istamboul, 1967.

(6) FOUNDATION GROUTING AT THE HACKREN DAM. Abrahamsen R., Edlund L. (Sweden). Q32. Istamboul, 1967.

- (7) INFLUENCE OF A VERY HIGH DEFORMABILITY OF THE FOUNDATION ON THE CONCEPTION AND BEHAVIOUR OF AN ARCH DAM. Rocha M., Silveira A.F., Azevedo M.C.C. Lopez J.B. (Portugal). Q32. Istamboul, 1967.
- (8) T.V.A. CONCRETE GRAVITY DAMS; UPLIFT OBSERVATIONS AND REMEDIAL MEASURES. Lacy F.P. JR., Van Schoick G.L. (USA). Q32. Istamboul, 1967.
- (9) FOUNDATION DU BARRAGE-VOUTE DE SANTA EULALIA. Del Campo A., Peironcely J.M., Maroto L. (Espagne). Q32. Istamboul, 1967.
- (10) IMPERMEABILISTION, DRAINAGE ET AUSCULTATION SIMIULTANES DES FONDATIONS. Gómez Laa G. et Alonso Franco M. (Espagne). Q32. Istamboul, 1967.
- (11) UPLIFT RESPONSIBLE FOR SLOPE MOVEMENTS DURING THE FILLING OF THE GEPATSCH RESERVOIR. Lauffer H., Neuhauser E., Schober W. (Austria). Q32. Istamboul, 1967.
- (12) CONNAISSANCE MECANIQUE DU ROCHER PAR SONDAGES ET SAIGNEES. Mary, Duffaut P., Comes G. (France). Q32. Istamboul, 1967.

- (13) ESSAIS ET CALCULS DE MECANIQUE DES ROCHES APPLIQUES A L'ETUDE DE LA SECURITE DES APPUIS D'UN BARRAGE-VOUTE. EXEMPLE DE VOUGLANS. Groupe de travail du Comité National Français. Q32. Istamboul, 1967.
- (14) BEDROCK STABILITY BEHAVIOUR WITH TIME AT THE PLACE MOULIN ARCH-GRAVITY DAM. Oberti G., Rebaudi A. (Italy). Q32. Istamboul, 1967.
- (15) THE EFFECT OF CHARACTERISTICS OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE ROCK FOUNDATION OF THE DAMS ON THEIR STRENGTH AND STABILITY. Grishin M.M., Orehov V.G., Pystogov V.I., Shimelmitz G.I. (USSR). Q32. Istamboul, 1967.
- (16) AMELIORATIONS DE LA SECURITE DES FONDATIONS DES BARRAGES EN BETON. Serafim J.L., Rodrigues J.C. (Portugal). Q32. Istamboul, 1967.
- (17) ANALYSE TRIDIMENSIONNELLE DE LA STABILITE DES FONDATIONS DES BARRAGES-VOUTES FONDES SUR DU ROCHER FRACTURE. Suklje L., Drnovsek J. (Yougoslavie). Q32. Istamboul, 1967.
- (18) REGIME OF SEEPAGE WATER AT DAMS. SOME EXPERIENCES FROM SEEPAGE MEASUREMENTS. Simek M. (Czechoslovakia). Q34. Istamboul, 1967.

- (19) LES INFILTRATIONS OBSERVEES SUR LES BARRAGES EXPLOITES
PARA ELECTRICITE DE FRANCE. Combelles P., Bernard J. (France).
Q34. Istamboul, 1967.
- (20) DEDUCTIONS TIREES DES RESULTATS DES MESURES DU
DEPLACEMENT EXECUTEES SUR QUELQUES BARRAGES PENDANT LA
PERIODE D'EXPLOITATION. Motta A., Russo F. (Italie). Q34.
Istamboul, 1967.
- (21) APPLICATION DES CONCEPTS DE SURETE, DANS LES FONDATIONS ET
CULEES DES RIVES AU BARRAGE DE MEQUINENZA. Gete Alonso A.
(Espagne). Vol. 5, C9. Istamboul 1967.
- (22) FONDATION DE QUELQUES BARRAGES ESPAGNOLS SUR FORMATIONS
ERODABLES ET PERMEABLES. Alonso Franco M., Gómez Laa G.
(Espagne). Q37. Montréal, 1970.
- (23) QUELQUES OBSERVATIONS SUR LE PROJET DES ECRANS INJECTES SUR
LA BASE DES ESSAIS DE PRESSION DE L'EAU. Arhippainen E.
(Finlande). Q37. Montréal, 1970.
- (24) RESULTATS DE L'OBSERVATION DES SOUSPRESSIONS DU BARRAGE DE
L'ALTO RABAGAO (PORTUGAL). Weyermann W. (Portugal). Q37.
Montréal, 1970.

- (25) INJECTION, DRAINAGE ET AUSCULTATION HYDRAULIQUE DANS LES
(31) FONDATIONS DU BARRAGE DE RAPEL. Pena H., Grador J., Barbedette
R., Pautre A. (Chili). Q37. Montréal, 1970.
- (26) PROBLEMES CONCERNANT LA FONDATION DU BARRAGE DE "EL
(32) ATAZAR". Guerrero R., Serafim J.L. (Espagne). Q37. Montréal, 1970.
- (27) CONTROLE DU BARRAGE DE VALDECANAS (ORGANISATION,
METHODES D'OBSERVATION, ENREGISTREMENT DES OBSERVATIONS).
(33) Franco Alfonso L.f., Ramos Herrero G. (Espagne). Q38. Montréal,
1970.
- (28) COMPORTEMENT DE LA FONDATION DE QUELQUES BARRAGES
(34) ESPAGNOLS LORS DE LEUR PREMIERE MISE EN CHARGE. FONDATION
SANS VOILE D'INJECTION. Gómez Laa G., Alonso Franco M. (Espagne).
Q38. Montréal, 1970.
- (29) SAFETY AND BEHAVIOUR OF CONCRETE DAMS. METHODS OF
(35) OBSERVATIONS AND ORGANISATION. Huggenberger A.U.
(Switzerland). Q38. Montréal, 1970.
- (30) BEHAVIOUR OF A LARGE DAM BUILT ON A VERY DEFORMABLE
FOUNDATION. Rocha M., Silveira A.F., Rodríguez O.V., Azevedo M.C.C.,
Florentino C. (Portugal). Q38. Montréal, 1970.

- (31) AUSCULTATION DES BARRAGES D'ELECTRICITE DE FRANCE LORS DE LEUR PREMIERE MISE EN EAU. Le May, Gehin, Taylor, Bonnardel, Chardonnet, Cottin, Wong (France). Q38. Montréal, 1970.
- (32) INTERPRETATION OF PIEZOMETRIC INDICATION IN A DAM RESTING ON PERMEABLE FOUNDATION. Senturk F., Sayman Y. (Turkey). Q38. Montréal, 1970.
- (33) QUELQUES DEVELOPPEMENTS RECENTS DES MOYENS D'AUSCULTATION DU MASSIF ROCHEUX. Groupe de travail du Comité National Français. Q38. Montréal, 1970.
- (34) INFLUENCE ON THE BEHAVIOUR OF AN ARCHDAM OF THE HYDROSTATIC PRESSURE ON THE GROUT CURTAIN AND OF THE STRESSES IN THE GROUND UPSTREAM. Rocha M., Silveira A.F., Azevedo M.C., Pedro S.O. (Portugal). Q39. Montréal, 1970.
- (35) PERFORMANCE OF FOUNDATION DRAIN SYSTEMS FOR CONCRETE GRAVITY-DAMS. Rhodes J.A., Dixon N.A. (USA). Q45. México, 1976.
- (36) UPLIFT PRESSURES AND SEEPAGE CONDITIONS AT HELENA VALLEY DAM. Bock R.W., Daehn W.W. (United States). Q45. México, 1976.

- (37) T.V.A.'S DESIGN PRACTICES AND EXPERIENCES IN DAM AND FOUNDATION DRAINAGE SYSTEMS. Abraham T.J., Lundin L.W. (USA). Q45. México, 1976.
- (38) MICA DAM DRAINAGE SYSTEM. Khilnani K., Webster J. (Canada) Q45. México, 1976.
- (39) DESIGN, MONITORING AND MAINTAINING DRAINAGE SYSTEM OF A HIGH EARTHFILL DAM. Taylor H., Chow Y. (Canada). Q45. México, 1976.
- (40) DISPOSITIFS DE DRAINAGE. CONCEPTION, AUSCULTATION, ENTRETIEN. Pautre A., (France). Q45. México, 1976.
- (41) ANALYSIS OF LEAKAGE OF RESERVOIR WATER THROUGH EARTH DAM OF FOUNDATION ROCK BY TAKING ADVANTAGE OF RADON-222 EXISTING IN ENVIRONMENT. Kimura S., Kumagai Z., Komae T. (Japan). Q45. México, 1976.
- (42) FLOW IN FRACTURED ROCK MASSES. Cruickshank Villanueva C. (México). Q45. México, 1976.
- (43) FILTRATION IN THE FOUNDATIONS OF THE SANTA ROSA DAM. Alberro J. (México). Q45. México, 1976.

- (44) INFILTRATIONS DANS LES BARRAGES D'ELECTRICITE DE FRANCE (EDF) - CONSTATATIONS, INTERPRETATION ET TRAITEMENT. Plichon, Baldy, Combelles, Lebreton, Le May, Londe, Mathaly, Tayulor, Therond Wong (France). Q45. México, 1976.
- (45) DESIGN AND APPRECIATION OF DAM DRAINAGE SYSTEMS. Parkman H.C. (Great Britain). Q45. México, 1976.
- (46) ROCK DEFORMATIONS AND SEEPAGE FLOWS IN THE FOUNDATION OF THE SCHELEGEIS ARCH-DAM. Widmann R., Heigerth G. (Austria). Q45. México, 1976.
- (47) CHANGES OF SEEPAGE AND UPLIFT IN 15 CZECHOSLOVAC DAMS DURING THE OPERATION PERIOD. Peter P. (Czechoslovakia). Q45. México, 1976.
- (48) LES DEFORMATIONS DES FONDATIONS DES BARRAGES-VOUTE DE GRANDE PORTEE ET LEUR INFLUENCE SUR LES INFILTRATIONS DECRIRES DANS L'EXEMPLE DU BARRAGE DE SANTA-MARIA. Leuenberger J. (Suisse). Q45. México, 1976.
- (49) ANALYSE ET AUSCULTATION DES INFILTRATIONS. SCHEMAS DE DRAINAGE. Fernández Casado J.L., Gómez Laa G., Alonso Franco M. (Espagne). Q45. México, 1976.

- (50) LES SYSTEMES DE DRAINAGE DANS LE PROJET DES BARRAGES DE UZQUIZA ET RETUERTA. Giménez E., Salazar J.A. (Espagne). Q45. México, 1976.
- (51) INFILTRATIONS DANS LES RIVES ET LA FONDATION DU BARRAGE DE "EL ATAZAR". Yges L. (Espagne). Q45. México, 1976.
- (52) RAPID SITE APPRAISAL FOR DAM FOUNDATIONS BY THE GEOMECHANICS CLASSIFICATION. Bieniawski Z.T., Orr C.M. (South Africa). Q46. México, 1976.
- (53) ETUDE DE LA REPARTITION DES PRESSIONS HYDARULIQUES DANS LES SOUS-SOL D'UN BARRAGE FONDE SUR DES SCHISTES METAMORPHIQUES. Mebski E., Jawanski W., Maciejewski S., Thiel K. (Pologne). Q46. México, 1976.
- (54) UNE METHODE D'ANALYSE DES DEFORMATIONS DES BARRAGES. Gicot H. (Suisse). Vol. 4, C1. México, 1976.
- (55) NEW INSTRUMENTS, METHODS AND THEIR APPLICATIONS FOR GEODETIC DEFORMATION MEASUREMENTS ON DAMS. Egger K., Keller W. (Switzerland). Vol. 4, C14. México, 1976.
- (56) RECENT BRITISH EXPERIENCE ON UNDERGROUND WORK AND ROCK MECHANICS. Jaeger C. (Great Britain). Q25. Roma, 1961.

- (57) LA STABILITE DES APPUIS ROCHEUX DES BARRAGES EN BETON.

Muller L. (Autriche). Q25. Roma, 1961.

- (58) GEOLOGIC REQUIREMENTS OF THE FOUNDATIONS OF LARGE DAMS.

Okeson C. (United States). Q28. Edimbourg, 1964.

- (59) MESURE DES MODULES DE DEFORMATION DES MASSIFS ROCHEUX

- (59) IN SITU TESTING OF FOUNDATION AND ABUTMENT ROCK FOR DAMS.

Rice O.L. (United States). Q28. Edimbourg, 1964.

- (60) TESTING THE EFFICIENCY OF GROUTING OPERATIONS AT DAM SITES.

Fergusson F.F., Lacanster-Jones P.F.F. (Great Britain). Q28.

Edimbourg, 1964.

- (61) ROCK FOUNDATIONS. DIAGNOSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND

TREATMENT. Lane R.G.T. (Great Britain). Q28. Edimbugo, 1964.

- (62) A STUDY OF STRAIN CHARACTERISTICS OF A ROCK FOUNDATION.

Kawabuchi K. (Japan). Q28. Edimbourg, 1964.

- (63) LA MESURE IN SITU DES PROPRIETES MECANQUES DES ROCHES ET

- (63) LES TRAVAUX DE CONSOLIDATION DU TERRAIN DE FONDATION DU

BARRAGE DE ALDEADAVILA. Olaguibel L., Fora J., Madrigal S.

(Espagne). Q28. Edimbourg, 1964.

- (64) RESULTATS DE RECHERCHES GEOTECHNIQUES SUR UNE SERIE DE

- SITES DE BARRAGES. Bollo M.F. (France). Q28. Edimbourg, 1964.

- (64) LA DEFORMABILITE DES MASSIFS ROCHEUX. ANALYSE ET COMPARAISON DES RESULTATS. Bellier. Bernède, Bollo, Duffaut et Pera J., Lakhsmanan, Comes, Mazenot, Duffaut P., Rogissart, Willm (France). Q28. Edimbourg, 1964.
- (65) MESURE DES MODULES DE DEFORMATION DES MASSIFS ROCHEUX DANS LES SONDAGES. Groupe de travail du Comité National Français. Q28. Edimbourg, 1964.
- (66) LES EFFETS PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DANS LES APPUIS DES BARRAGES. Groupe de travail du Comité Français présidé par C. Bordet (France). Q28. Edimbourg, 1964.
- (67) MESURE DES QUALITES MECANQUES DES MASSIFS ROCHEUX AVANT ET APRES LA CONSOLIDATION PARA INJECTION. Groupe de travail du Comité Français présidé par Duffaut J. (France). Q28. Edimbourg, 1964.
- (68) LA MESURE IN SITU DES PROPRIETES MECANQUES DES ROCHES ET LA SECURITE DES BARRAGES DE GRANDE HAUTEUR. Talobre J.A. (France). Q28. Edimbourg, 1964.
- (69) RESULTATS DE RECHERCHES GEOTECHNIQUES SUR UNE SERIE DE SITES DE BARRAGES. Bollo M.F. (France). Q28. Edimbourg, 1964.

- (70) THE STRAIN IN ROCKS IN RELATION TO DAM FOUNDATIONS. Emery C.L. (Canada). Q28. Edimbourg, 1964.
- (71) TECHNIQUES FOR ROCK CHARACTERISTICS IMPROVEMENT AT TWO DAMS IN CENTRAL APENNINES (ITALY). Arredi F. (Italy). Q28. Edimbourg, 1964.
- (72) DETERMINATION IN SITU OF THE STATE OF THE FRERA DAM FOUNDATION ROCK BY THE SONIC METHOD, ITS IMPROVEMENT BY CONSOLIDATION GROUTING AND VERIFICATION OF THE RESULT BY AGAIN USING THE SONIC METHOD. Scalabrini M., Carugo G., Carati L. (Italy). Q28. Edimbourg, 1964.
- (73) INFLUENCE DES DEFORMATIONS DE LA ROCHE DE FONDATION D'UN BARRAGE SUR L'ECRAN D'ETANCHEITE. Candiani G., Gavazzi P. (Italie). Q28. Edimbourg, 1964.
- (74) RECENT ROCK PRESSURE MEASUREMENTS AND THEIR IMPLICATIONS FOR DAM BUILDING. Hast N., Nilsson T. (Sweden). Q28. Edimbourg, 1964.
- (75) METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK. Hasselstrom B., Rahm L.J., Scherman K.A. (Sweden). Q28. Edimbourg, 1964.

(76) PROPRIETES PHYSICO-MECANQUES DES ROCHES D'APPUI DES GRANDS BARRAGES ET LA DETERMINATION DE LEUR INFLUENCE STATIQUE AU MOYEN DES MODELES. Oberti G., Fumagalli E. (Italie). Q28. Edimbourg, 1964.

(77) ON THE PRACTICE OF FOUNDATION ROCK INVESTIGATION IN

(77) INFLUENCE DE L'HETEROGENEITE DES ROCHES SUR LA FONDATION D'UN BARRAGE-POIDS DANS DU FLYSCH CARPATHIEN. Balcerski W. (Pologne). Q28. Edimbourg, 1964.

(78) SOME RECENT ROCK MECHANICS TESTING IN SPAIN. Jiménez Salas

(78) TRAITMENT DES ROCHES DE FONDATION PAR INJECTIONS ET SON CONTROLE PAR LA METHODE GEOTECHNIQUE. Gómez M., Fernández F., Arguelles H., Piequer J. (Espagne). Q28. Edimbourg, 1964.

(79) HIGH ARCH AND GRAVITY DAM IN THE U.S.S.R. Rosa S.A., Fedorenko

(79) THE INFLUENCE OF GROUTING ON FLYSCH ROCK PERMEABILITY. Bilik M. (Czechoslovakia). Q28. Edimbourg, 1964.

(80) A CONTRIBUTION TO THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF

(80) MECHANICAL BEHAVIOUR OF ROCK FOUNDATIONS IN CONCRETE DAMS. Rocha M. (Portugal). Q28. Edimbourg, 1964.

Q28. Edimbourg, 1964.

(81) EVALUATION OF ELASTICITY MODULI OF DAM FOUNDATION ROCK DETERMINED SEISMICALLY IN COMPARISON TO THOSE ARRIVED AT STATICALLY. Link H. (German Federal Republic). Q28. Edimbourg, 1964.

(82) DEVELOPMENTS IN THE MEASUREMENT AND INTERPRETATION OF

PORE PRESSURE IN EARTH DAMS. Bishop A.W., Kennard M.F., Vaughan P.R. (Great Britain). Q28. Edimbourg, 1964.

- (82) METHODS TO DETERMINE THE PHYSICAL PROPERTIES OF ROCK.
Martini H.J., Duerbaum H., Giesel W., Habetha E., Kleinsorge H.,
Langer M. (German Federal Republic). Q28. Edimbourg, 1964.
- (83) ON THE PRACTICE OF FOUNDATION ROCK INVESTIGATION IN
AUSTRIA. Clar, Mueller-Pacher, Petzny, Steinboeck (Austria). Q28.
Edimbourg, 1964.
- (84) SOME RECENT ROCK MECHANICS TESTING IN SPAIN. Jiménez Salas
J.A., Uriel S. (Spain). Q28. Edimbourg, 1964.
- (85) STUDIES OF DEFORMATION PROPERTIES OF ROCK FOUNDATIONS OF
HIGH ARCH AND GRAVITY DAM IN THE U.S.S.R. Rosa S.A., Fedorenko
A.N., Eristov V.S., Tokachirov V.A. (U.S.S.R.). Q28. Edimbourg, 1964.
- (86) A CONTRIBUTION TO THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF
CHANGES OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCK MASSIVES
AS A FUNCTION OF DEPTH. Kujundzic B., Stojakovic M. (Yugoslavia).
Q28. Edimbourg, 1964.
- (87) EXPERIMENTS ON BHAKRA DAM FOUNDATIONS. Bhatnagar P.S., Shah
S.R. (India). Q28. Edimbourg, 1964.
- (88) DEVELOPMENTS IN THE MEASUREMENT AND INTERPRETATION OF
PORE PRESSURE IN EARTH DAMS. Bishop A.W., Kennard M.F.,
Vaughan P.R. (Great Britain). Q29. Edimbourg, 1964.

(89) ANALYSE DES DEFORMATIONS D'UN BARRAGE D'APRES LES MESURES
(89) APPLICATION DE L'AUSCULTATION DES BARRAGES AU CONTROLE DE
L'EVOLUTION DU BETON. Wilm G., Martin A. (France). Q29.
Edimbourg, 1964.

(90) RESULTS AND INTERPRETATION OF MEASUREMENTS MADE ON
(90) LE BARRAGE DE BAITINGS. DEFORMATIONS HORIZONTALES ET
VERTICALES. White T.E.S., Evans R.H., Dennis J. (Grande-Bretagne).
Q29. Edimbourg, 1964.

(91) QUELQUES CONSTATATIONS PARTICULIERES FAITES SUR LES
DEFORMATIONS DE BARRAGES SOUS L'EFFET DE LA CHARGE D'EAU,
DE LA TEMPERATURE, DES SEISMES. Le May Y., Thevenin J. (France).
Q29. Edimbourg, 1964.

(92) QUANTITATIVE INTERPRETATION OF RESULTS OBTAINED IN THE
(92) THE DEFORMATIONS OF THE ROSSENS ARCH DAM DURING FOURTEEN
YEARS SERVICE. Gicot H. (Switzerland) Q29. Edimbourg, 1964.

(93) PORTUGUESE DAMS ON THE INTERNATIONAL DOURO. SOME RESULTS
FROM THEIR OBSERVATION. Ribeiro A.A., Martins H.F. (Portugal).
Q29. Edimbourg, 1964.

(100) FUNDAMENTAL ASPECTS OF DAM-FOUNDATION INTERFACE
(94) LA MESURE DES DEPLACEMENTS DANS LE CONTROLE DU
COMPORTEMENT DES BARRAGES EN BETON. Xerez A.C., Lamas J.F.,
Ferreira C.C. (Portugal). Edimbourg, 1964.

- (95) ANALYSE DES DEFORMATIONS D'UN BARRAGE D'APRES LES MESURES DES EXTENSOMETRES. Rossi Leidi L., Piancastelli E. (Italie). Q29. Edimbourg, 1964.
- (96) RESULTS AND INTERPRETATION OF MEASUREMENTS MADE ON LARGE DAMS OF ALL TYPES, INCLUDING EARTHQUAKE OBSERVATIONS. DAM MEASUREMENTS IN ITALY. Many (Italy). Q29. Edimbourg, 1964.
- (97) ASSESSMENT OF OBSERVATION TECHNIQUES USED IN PORTUGUESE CONCRETE DAMS. Rocha M., Silveira A.F. (Portugal). Q29. Edimbourg, 1969.
- (98) QUANTITATIVE INTERPRETATION OF RESULTS OBTAINED IN THE OBSERVATION OF CONCRETE DAMS. Silveira A.F., Pedro J.O. (Portugal). Q29. Edimbourg, 1964.
- (99) OBSERVATIONS FAITES SUR LES BARRAGES DE L'AUTRICHE. Grengg H. (Autriche). Q29. Edimbourg, 1964.
- (100) FUNDAMENTAL ASPECTS OF DAM-FOUNDATION INTERFACE PROBLEMS IN RELATION TO SOME GRAVITY DAMS IN INDIA. Pant B. (India). Q48. New Delhi, 1979.

- (101) ANALOGICAL SIMULATION OF THE SEEPAGE THROUGH CORES OF EARTH DAMS ON PERVIOUS FOUNDATIONS INTERRUPTED BY AN IMPERVIOUS CUT OFF BIFIXED IN AN INFERIOR STRATUM AND IN THE CORE BASE. APPLICATION TO PRECISE CASE. González de Posada F., Redondo Alvarado M.D. (Spain). Q48. New Delhi, 1979.
- (102) OBSERVATION METHODS FOR CONTROLLING THE SAFETY AND DETERIORATION OF CONCRETE DAMS. Pedro J.O., Florentino C.A., Gomes A.S. (Portugal). Q49. New Delhi, 1979.
- (103) SAFETY MONITORING OF DAMS DURING FIRST FILLING OF RESERVOIRS. Iida R., Hojo K., Matsumoto N. (Japan). Q49. New Delhi, 1979.
- (104) RUPTURES ET ACCIDENTS AUX BARRAGES ET RECHERCHES SUR LEUR SECURITE. Sokolov I.B., Rosanov N.S., Khrapkov A.A., Sevastianov V.I., Serkov V.S. (U.R.S.S.). Q49. New Delhi, 1979.
- (105) DESORDRES GRAVES CONSTATES SUR DES BARAGES FRANÇAIS. Plichon, Billoré, Combelles, Moreau de Saint-Martin (France). Q49. New Delhi, 1979.
- (106) PARAMETRES SIGNIFICATIFS DU COMPORTEMENT DES BARRAGES ET CHOIX DES APPAREILS DE MESURES. Le May, Catinot, Douillet, Pinatel, Salembier (France). Q49. New Delhi, 1979.

- (107) REFLECTIONS ON SOME INCIDENTS IN SPANISH DAMS. Gómez Laa G., Alonso Franco M., Romero Hernández J.L. (Spain). Q49. New Delhi, 1979.
- (108) RELFEXIONS SUR QUELQUES INCIDENTS SURVENUS A DES BARRAGES ESPAGNOLS. Gómez Laa G., Alonso Franco M., Romero Hernández J.L. (Espagne). Q49. New Delhi, 1979.
- (109) SURVEILLANCE OF DAMS AND DYKES - THE LA GRANDE COMPLEX JAMES BAY ENERGY CORPORATION. J.J. Paré, N. Blouin, J. Levay, L.J. Cousineau (Canadá). Q52. Rio de Janeiro, 1982.
- (110) MESURE DES POTENTIELS ET VERIFICATION DE L'ANISTROPIE DE PERMEABILITE DANS LA FONDATION DU BARRAGE DE CHOINIERE. G. Lefebvre, C. Lupien, A. Harvey (Canadá). Q52. Rio de Janeiro, 1982.
- (111) MONITORING OF THE DYKE D-20 FOUNDATION DURING AND AFTER LA GRANDE-2 RESERVOIR FILLING. J.J. Paré, N.S. Verma, R. Arbour, D. Lemelin (Canadá). Q52. Rio de Janeiro, 1982.
- (112) INTERPRETATION OF DATA OBTAINED FROM MEASUREMENTS OF DEFORMATIONS IN THE FOUNDATION OF THE SCHLEGEIS ARCH DAM. R. Widmann, H. Stauble (Austria). Q52. Rio de Janeiro, 1982.

- (113) TRENTE ANS D'EXPERIENCE DANS LA SUPERVILLANCE ET L'AUSCULTATION DES BARRAGES D'ELECTRICITE DE FRANCE. Y. Le May, G. Douillet (France). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (114) ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF SHORT-TERM TEMPERATURE CHANGES ON THE DISPLACEMENT STATE OF ARCH DAMS. E. Tremmel (Austria). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (115) DAM SAFETY INSTRUMENTATION; AUTOMATION OF DATA OBSERVATIONS, PROCESSING AND EVALUATION. J.D. Lytle (USA). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (116) METHODS AND MEANS OF SECURING DAM SAFETY IN THE USSR. L.P. Mikhailov, L.A. Zolotov, A.I. tsariov (USSR). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (117) AUTOMATED MONITORING TASKS IN PORTUGUESE DAMS: STATE OF THE ART AND PROSPECTS. A.F. Silva Gomes (Portugal). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (118) PRESENCE DES STRATES HORIZONTALES PERMEABLES DANS LE BARRAGE "PORTEZUELO GRANDE", EXPLOITATION, AUSCULTATION, MESURES CORRECTIVES. Q52. Río de Janeiro, 1982.

- (119) EVALUATION OF ROCK FOUNDATION BEHAVIOUR FOR TWO DAMS IN OPERATION. P. Bonaldi, G. Giuseppetti, R. Guccione, R. Ribacchi, G. Selleri (Italy). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (120) LA GEOLOGIE ET LA SECURITE DES BARRAGES EN SERVICE. LA REHABILITATION DU BARRAGE DU YESO. J. Larenas H., G. Mahave M., J.L. Bordes, E. Gehin, B. Schneider (Chili). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (121) ROCK FOUNDATIONS WITH MARDEK DISCONTINUITIES CRITERIA AND ASSUMPTIONS FOR STABILITY ANALYSIES. V.M. Souza Lima, R.A. Abrahao, R. Pinheiro, J.C. Degaspere (Brzil). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (122) SURVEILLANCE ET RESULTATS D'AUSCULTATION DE QUELQUES BARRAGES EN BETON FRANÇAIS. Groupe de Travail du Comité Français (France). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (123) THE HYDRAULIC AUSCULTATION AS A MONITORING TEST OF DAM SAFETY. M. Alonso Franco, G. Gómez Laa, J.L. Romero Hernández (Spain). Q52. Río de Janeiro, 1982.
- (124) GEOTECHNICALLY INTEGRATED EVALUATION ON THE STABILITY OF DAM FOUNDATION ROCKS. K. Kikuchi, K. Saito, K.I. Kusunoki (Japan). Q53. Río de Janeiro, 1982.

- (125) SUBSURFACE TREATMENT OF SEAMS AND FRACTURES IN FOUNDATION OF ITAIPU DAM. J. de Moraes, J. Rodríguez Villalba, A.L. Barbi, C. Piasentin (Paraguay). Q53. Río de Janeiro, 1982.
- (126) LES ETAPES DE LA RECHERCHE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DANS LA CONCEPTION DES BARRAGES. Groupe de Travail de "Agua y energía eléctrica" (Argentina). Q53. Río de Janeiro, 1982.
- (127) SOME ASPECTS OF GEOLOGIC EVALUATION OF LARGE DAM FOUNDATIONS. A.A. Borovoy, A.A. Varga, I.A. Parabutchev, L.V. Tolmatchev, A.I. Savitch, Yu. A. Fishman. (USSR). Q53. Río de Janeiro, 1982.
- (128) THE INFLUENCE OF ANISOTROPIC FOUNDATION ROCK ON DESIGN OF AN ARCH DAM IN THE GERMAN MOUNTAINS. V. Schenk, J. Kongeter (Federal Republic of Germany). Q53. Río de Janeiro, 1982.
- (129) ARCH DAM ON A HIGHLY ASSYMETRICAL DEFORMABLE FOUNDATION. R. Oliveira, J.L. Serafim, A. Portela Santos (Portugal). Q53. Río de Janeiro, 1982.
- (130) INFLUENCE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES SUR LA CONCEPTION DU BARRAGE DE SIRIU, ROUMANIE. G. Flegont (Roumanie). Q53. Río de Janeiro, 1982.

- (131) NOUVELLES TECHNIQUES D'ESSAIS EN LABORATOIRE SUR L'EFFICACITE DES ECRANS D'INJECTION DANS LE ROCHER. G. Ballivy, P. Niemants (Candá). Q53. Rio de Janeiro, 1982.
- (132) LA RECONNAISSANCE DES SITES DE BARRAGE. DIFFICULTES RECONTREES. Par un groupe de travail du comité français des grands barrages. Q53. Rio de Janeiro, 1982.
- (133) CAS DE FONDATIONS EXCEPTIONNELLES DE BARRAGES. Par un groupe de travail du comité français des grands barrages. Q53. Rio de Janeiro, 1982.
- (134) NOUVELLES TECHNIQUES DE RECONNAISSANCE. Par un groupe de travail du comité français des grands barrages. Q53. Rio de Janeiro, 1982.
- (135) VERIFICATION AND TREATMENT OF THE PERMEABILITY OF FOUNDATIONS COLLECTED OBSERVATIONS ON A NUMBER OF SPANISH DAMS. G. Gómez Laa, A. Foyo Marcos, M.C. Tomillo (Spain). Q53. Rio de Janeiro, 1982.
- (136) STATISTICAL BEHAVIOUR MODEL OF DAMS. Q.M. Guedes, P.S.M. Coelho (Brazil). Q56. Lausanne, 1985

(137) PREDICTION AND MONITORING OF THE BEHAVIOUR OF SOFT FOUNDATION OF A ROCKFILL DAM. K. Knazawa (Japan). Q56. Lausanne, 1985

(138) APPLICATION OF IMPROVED ANALYSIS ON PORE PRESSURE BEHAVIOUR WITHIN THE IMPERVIUOS ZONE TO A PROTOTYPE ROCKFILL DAM. K. Nakagawa, H. Komada, K. Kanazawa (Japan). Q56. Lausanne, 1985

(139) SOME PRACTISES AND EXPERIENCE OF DAM FOUNDATION MONITORING IN THE DIRECTORATE OF WATER AFFAIRS, SOUTH AFRICA. W.S. Croucamp (South Africa). Q56. Lausanne, 1985

Ricard, G. Douillet (France). Q56. Lausanne, 1985

(140) BASIC PRINCIPLES OF DAMS OBSERVATION IN PORTUGAL. THE AGUIEIRA DAM EXAMPLE. C.A. Florentino, M.E. Campos E Matos, A. Ferreira Da Silva, M.E. Monteiro Da Rocha (Portugal). Q56. Lausanne, 1985

(141) INSTRUMENTATION AND MONITORING OF HBAUNETJAPOSS DAM

(141) IN SEARCH OF A DETERMINIST HYDARULIC MONITORING MODEL OF CONCRETE DAM FOUNDATION. G. Gómez Laa, J.A. Rodríguez González (Spain). Q56. Lausanne, 1985

(142) CONCEPTION DE L'ÉTANCHEITE ET DU DRAINAGE DANS LE CAS DE

(142) THE DAM AND FOUNDATION MONITORING SYSTEM AT KARIBA. J.M.A. Santa Clara, I.P. Izzet (Zimbabwe). Q56. Lausanne, 1985

- (143) EXPERIENCE DERIVED FROM THE MONITORING OF DAMS IN THE DUERO AND SIL SYSTEMS. J. Cajete Baltar, A. Gil García (Spain). Q56. Lausanne, 1985
- (144) STRUCTURAL BEHAVIOUR OF A HIGH ROCKFILL DAM. COMPREHENSIVE INTERPRETATION OF MEASUREMENTS, AND CONCLUSION ON STRESS-STRAIN RELATIONSHIPS. H. Schawab, W. Pircher (Austria). Q56. Lausanne, 1985
- (145) ADAPTATION ET EVOLUTION DES DISPOSITIFS D'AUSCULTATION AU COURS DE L'EXPLOITATION DES OUVRAGES. UTILISATION D'APPAREILS NOUVEAUX. M. Salembier, P. Dubois, R. Pinatel, C. Ricard, G. Douillet (France). Q56. Lausanne, 1985
- (146) AUSCULTATION DES BARRAGES D'ELECTRICITE DE FRANCE. Y Le May, C. Nury, G. Douillet, C. Lefevre (France). Q56. Lausanne, 1985
- (147) INSTRUMENTATION AND MONITORING OF HRAUNEFJAFOS DAM FOUNDATION. P. Olafson, P.R. Palmason, S. Thordarson (Iceland). Q56. Lausanne, 1985
- (148) CONCEPTION DE L'ETANCHEITE ET DU DRAINAGE DANS LE CAS DE QUELQUES BARRAGES RECENTS REALISES EN TUNISIE. A. Horchani, G. Vigier, P. Huynh, E. Rondot (Tunisie). Q58. Lausanne, 1985.

- (149) PROGRES RECENTS DANS LES TECHNIQUES SPECIALES DE TRAITEMENT DES FONDATIONS DE BARRAGE. G.Y. Fenoux (France). Q58. Lausanne, 1985.
- (150) FIELD INVESTIGATIONS FOR THE ASSESSMENT OF PERMEABILITY AND IDENTIFICATION OF LEAKAGES IN DAMS AND DAM FOUNDATIONS. G.P. Merkler, A. Blinde, H. Armbruster, H.D. Doscher (Fed. Rep. of Germany). Q58. Lausanne, 1985.
- (151) POSSIBLE GEOMECHANICAL SIGNIFICANCE OF BACKFLOW IN PRESSURE WATER TESTS. G. Guidicini, C.M. Nieble, A.T. de Cornides, S.E.B. Berrino, P.R.C. Cella, J.R. Fernandes (Brazil). Q58. Lausanne, 1985.
- (152) CONSIDERATIONS ON ROCK PERMEABILITY AND GROUTING CRITERIA. C. Kutzner (Fed. Rep. of Germany). Q58. Lausanne, 1985.
- (153) DETERMINATION OF THE PERMEABILITY OF ROCK FOUNDATIONS OF DAMS BY THE FREE OSCILLATION METHOD. K.H. Idel, I. Krauss-Kalweit (Fed. Rep. of Germany). Q58. Lausanne, 1985.
- (154) TRAITMENT DU TERRAIN DE FONDATION EN VUE DE LA REDUCTION DES INFILTRATIONS ET DE LA SOUS-PRESSION CHEZ QUELQUES BARRAGES DE ROUMANIE. A. Diacon, M. Georgescu (Roumanie). Q58. Lausanne, 1985.

- (155) SOME SPANISH EXPERIENCES IN FOUNDATION TREATMENTS FOR CONTROL OF SEEPAGE. J.M. Sanz Saracho, J.M. Angoloti (Spain). Q58. Lausanne, 1985.
- (156) DAM FOUNDATIONS IN ROCK MASSES. UPLIFT, DRAINAGE AND PERMEABILITY. A. Alvares Ribeiro (Portugal). Q58. Lausanne, 1985.
- (157) EVOLUTION DES INFILTRATIONS ET DES SOUS-PRESSIONS DANS LES BARRAGES EN BETON ET LEURS FONDATIONS. B. Gilg (Suisse). Q58. Lausanne, 1985.
- (158) SEEPAGE CONTROL IN SPANISH DAMS. G. Gómez Laa, M. Alonso Franco, J.L. Romero Hernández (Spain). Q58. Lausanne, 1985.
- (159) DETERMINATION OF FOUNDATION PERMEABILITIES METHODS USED IN ICELAND. J. Ingimarsson (Iceland). Q58. Lausanne, 1985.
- (160) STUDY OF THREE-DIMENSIONAL SEEPAGE ANALYSIS AND SEEPAGE CONTROL MEASURES FOR THE COMPLEX ROCK FOUNDATION. Y.L. Du, G.A. Xu, L.B. Han (China). Q58. Lausanne, 1985.

- (161) RECONNAISSANCE DU TERRAIN DE FONDATION ET CONCEPTION DES OUVRAGES D'ETANCHEMENT DE QUELQUES BARRAGES FRANÇAIS. P. Savey, N. van Thienen, D. Clerdouet, R. Corda, B. Couturier, A. Jensen, O. Dequidt, H. Jacquet-Francillon, G.-Y. Fenoux, YU. Lemoine, L. Monfort, P. Rudigoz (France). Q58. Lausanne, 1985.
- (162) REALISATION DES OUVRAGES D'ETANCHEMENT ET DE DRAINAGE. PROBLEMES D'EXECUTION ET EXEMPLES DE SOLUTIONS. P. Savey, G. Bolle, D. Clerdouet, R. Corda, B. Couturier, A. Jensen, O. Dequidt, J. Jacquet-Rancillong, G.-Y. Fenoux, L. Monfort, P. Rudigoz (France). Q58. Lausanne, 1985.
- (163) ECRANS D'ETANCHEITE ET DE DRAINAGE DU BARRAGE D'ITZANTUN. R. Díaz Castillo, A. Gallico, U. Picozzi (Italie). Q58. Lausanne, 1985.
- (164) EXPERIENCE ACQUISE SUR LE VIEILLISSEMENT ET L'ENTRETIEN DES DISPOSITIFS D'ETANCHEITE ET DE DRAINAGE DES FONDATIONS DES BARRAGES D'ELECTRICITE DE FRANCE. D. Bonazzi (France). Q58. Lausanne, 1985.

BIBLIOGRAFIA. INFORMES DE AUSCULTACION HIDRAULICA
Años 74 DEFORMACIONAL EN PRESAS DE FABRICA

- [1] Presa de Albarelos. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [2] Presa de Almendra. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [3] Presa de Eume. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 68-73. Años 80-83.
- [4] Presa de Belesar. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 68-73.
- [5] Presa de Santa Eulalia. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 68-73.
- [6] Presa de Las Portas. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [7] Presa de Cernadilla. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [8] Presa de Vilasouto. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 73-83.

- [9] Presa de Velle. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [10] Presa de Albareillos. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [11] Presa de Frieira. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.
- [12] Presa de San Martín. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [13] Presa de Saucelle. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [14] Presa de Ricobayo. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [15] Presa de Pumares. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [16] Presa de Bao. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [17] Presa de Santiago. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

- [18] Presa de San Pedro. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [19] Presa de Casoyo. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [20] Presa de San Esteban. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [21] Presa de Guistolas. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [22] Presa de Sequeiros. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [23] Presa de Villagudin. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [24] Presa de Mao. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [25] Presa de Edrada. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.
- [26] Presa de Las Conchas. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[27] Presa de Peares. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[28] Presa de Tambre. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[29] Presa de San Cosmade. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[30] Presa de Villalcampo. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[31] Presa de Montefurado. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 80-83.

[32] Presa de Salas. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.

[33] Presa de Prada. Informes sobre auscultación hidráulica deformacional. Años 74-83.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- [1] Geotécnia y Cimientos I y II. (J.A. Jiménez Salas-J.L. de Justo Alpañes).
- [2] Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica. (Stagg-Zienkiewicz).
- [3] Mecánica de Suelos. (T. William Lambe. Robert, V. Whitman).
- [4] Congreso de Stuttgart de Mecánica de Rocas. Año 72.
- [5] Hidromecánica (E. Becerril). Ensayo (Tesis Doctoral).
- [6] Hydrique Souterraine (G. Schneebeli).
- [7] Hydrique Generale et Apliquee. (M. Carcier).
- [8] Theory of Ground Water Movement. (Polubarinova-Kochina).
- [9] Grandes Presas. Experiencias Españolas en su Proyecto y Construcción. 1976.
- [10] Un Testimonio de las Presas Españolas. Dirección General de Obras Hidráulicas. Comité Nacional Español de Grandes Presas. Año 73.
- [11] Saltos de Agua y Presas de Embalse. (J.L. Gómez Navarro y J.J. Aracil). Año 64.

- [12] Auscultación Hidráulica de Presas. (II^o Congreso Internacional de Grandes Presas. Madrid, Junio 1973. M.O.P. Dirección general de Obras Hidráulicas.
- [13] Safety of Dams. (Proceedings of the International Conference on Safety of Dams Coimbra. 23-28, April, 1984).
- [14] Estudio de la Fracturación Hidráulica como consecuencia de los Ensayos de Permeabilidad en Cimentaciones de Presas Españolas. Intento de Definición de un Parámetro Geológico-Geotécnico a partir de las características del ensayo. (Tesis Doctoral. A. Foyo Marcos). Año 80.