

LAS PRESAS DE FABRICA A LO LARGO DEL SIGLO XX

Joaquín Díez-Cascón Sagrado

Doctor Ingeniero de Caminos
Catedrático de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Cantabria.

Francisco Bueno Hernández

Doctor Ingeniero de Caminos
Universidad de Burgos

“Al término de este largo análisis, qué conclusión se puede obtener?. No puede -no se debe- formular doctrinas universales. Conociendo las ventajas e inconvenientes de cada tipo de presa, será el proyectista quien debe decidir, sin espíritu de sistema, adaptándose a las circunstancias. Nuestro propósito, al respecto, es evocar estas ventajas e inconvenientes, sin más”¹.

André Coyne. 1955.

1. INTRODUCCION

El proceso de elección del tipo de presa ha variado en el “espacio” y en el “tiempo”. En el espacio porque las circunstancias de cada emplazamiento² son prácticamente irrepetibles y en el tiempo porque a lo largo de la historia³ el conocimiento de los factores que intervienen en la decisión ha ido evolucionando, así como la capacidad de influencia sobre ellos y el peso de los mismos en la decisión final. Estos factores pueden clasificarse de la siguiente forma:

- * Factores “endógenos” o propios de la Ingeniería de Presas.
 - Conocimientos científico-técnicos.
 - ?? De materiales.
 - ?? De conocimiento del comportamiento.
 - Estado de la tecnología.
- * Factores “exógenos”.
 - De carácter técnico y tecnológico.
 - De carácter económico y social.
 - De carácter político.
 - De otro tipo.

Entendemos como factores “endógenos” los que tienen una base científica, técnica o tecnológica y son de aplicación al campo específico de las presas y han determinado en cada momento “cómo se sabía y se podían hacer las presas”.

Entre los factores "exógenos" señalamos por su importancia:

¹ Sirvan de introducción las palabras de *André Coyne* pronunciadas en su Informe General a la Q-17 en el V Congreso ICOLD de 1955, en las que exponía sus ideas contrarias a definir y decidir la utilización de los distintos tipos de presas en función de distintos criterios.

² Topográficas, geológicas, geomorfológicas, hidráulicas, hidrológicas, etc.

³ Sobre todo en este siglo.

- * De carácter político general ⁴.
- * De política de infraestructuras ⁵.
- * De carácter técnico y tecnológico externos a la Ingeniería de Presas ⁶.
- * De carácter económico y social ⁷.

Por último, hemos de citar un factor de importancia: la cada vez menor disponibilidad de cerradas con características topográficas y geológicas idóneas.

Esta comunicación hace referencia a los aspectos “endógenos” y analiza su influencia en la elección del tipo de presa de fábrica en cada momento. Este análisis es incompleto al no incluir las presas de materiales sueltos. En España este hecho es casi irrelevante hasta la segunda mitad de este siglo, pues con anterioridad la construcción de este tipo de presas fue ocasional, aunque interesante. En una primera aproximación esta afirmación puede ser válida también en Europa pero no en el resto del mundo, sobre todo en Estados Unidos donde el análisis quedaría incompleto.

2. LA SITUACIÓN EN LAS PRIMERAS DÉCADAS DEL SIGLO

Con anterioridad a 1940⁸ sólo se habían construido en España dos presas arco de gran altura -*Montejaque* y *Alloz*- y otras dos presas arco de mediana importancia -*El Pelgo* y *Tenebroso*- siendo el resto de las presas de fábrica de gravedad. El panorama lo completaban unas pocas presas de materiales sueltos: *San Bartolomé*, *Gasset*, *Garguera*, *Almochuel*, *Utchesa*, *Pineta*, *Las Navas*, *El Juncal*, *San Lorenzo* o *Valbornedo*, todas ellas de alturas inferiores a 30 metros y casi todas a 20.

Si España había estado en vanguardia de la construcción de presas desde la época de dominación romana hasta finales del siglo XVIII, durante las primeras décadas del siglo XX no lo estuvo menos. Basta observar las realizaciones de este periodo para ratificar este hecho, perceptible tanto en el número total de presas como en el de las de cierta importancia⁹.

En la tabla 1 figuran la mayores presas europeas construidas con anterioridad a 1933, apreciándose en ella el relevante lugar que ocupaba España en el concierto continental. En lo que se refiere a volumen de fábrica las presas españolas ocupaban las posiciones cuarta, sexta y octava con las presas de *Ricobayo*, *Jándula* y *Burguillo* respectivamente. Además, entre las 23 primeras siete eran españolas. Si tenemos en cuenta la altura, cinco de las diez más altas y nueve de las veinte eran también españolas. De las ocho presas europeas que habían superado los 100 metros tres eran españolas: las presas de *Camarasa*, *Ricobayo* y *Talarn*. Entre las presas arco la de *Montejaque* se situaba tras la francesa presa de *Sautet*, debiendo añadir la presa de *Alloz*, que no figuraba en esta relación, pero que tras las dos anteriores era la más importante.

⁴ El aislamiento impuesto por los países occidentales a España poco después de la segunda guerra mundial impidió el acceso a la tecnología y a los medios de puesta en obra al uso en dichos países, lo que a su vez se tradujo, entre otros aspectos, en un retraso importante en la construcción de presas de materiales sueltos o en los poco elevados ritmos de ejecución de las presas de fábrica.

⁵ El Plan de Canalización del Guadalquivir de principios de siglo, al prever su navegabilidad, favoreció el desarrollo del diseño y construcción de las presas móviles.

⁶ El desarrollo de los medios y métodos de excavación permitió colocar las centrales en el interior de los macizos rocosos de forma subterránea, liberando a las presas de la obligación de ubicarlas en su pie.

⁷ La disponibilidad de mano de obra con especializaciones y costes relativos distintos a lo largo de los años ha decantado la elección del tipo de presa en función de las necesidades y disponibilidades relativas de maquinaria y medios y de mano de obra.

⁸ Con la salvedad de los antecedentes de las presas históricas anteriores al siglo XIX.

⁹ Ver el Inventario realizado por Diego Mayoral, en el que se describen las presas de gravedad de altura mayor de 35 metros anteriores a 1932.

Si a este hecho le sumamos la gran altura técnica de nuestros ingenieros -entre los que pueden nombrarse a *Orbeagozo, del Aguila, Mendoza, Gómez Navarro* o *Becerril* por citar algunos-, el intercambio de experiencias con ingenieros de otros países -cuya máxima expresión fue la colaboración de prestigiosos ingenieros suizos como *Juillard, Grunner* o *Rehbock*¹⁰ en presas españolas como las de *Montejaque, Cala* o *Ricobayo*- o el uso de los medios más avanzados en construcción de presas en algunas como las de *Camarasa* o *Ricobayo*, podemos concluir que en muchos aspectos España se encontraba al nivel de otros países en el diseño y construcción de presas en las primeras décadas del siglo. Las diferencias existentes entre los países más avanzados en el campo de las presas no fueron demasiado grandes hasta 1930, al menos entre los europeos.

Presa	País	H.cauce	H.máx.	Volumen	Tipo
<i>Dnieper</i>	Rusia	42	62	760.000	Gravedad
<i>Sarnas</i>	Francia	95	105	450.000	Gravedad
<i>Dixence</i>	Suiza		87	400.000	Gravedad
<i>Ricobayo</i>	España	92	103	380.000	Gravedad
<i>Grimsell</i>	Suiza		115	340.000	Arco-gravedad
<i>Jándula</i>	España	85	90	315.000	Gravedad
<i>Chavanon</i>	Francia	90	96	300.000	Gravedad
<i>Burguillo</i>	España	77	82	292.000	Gravedad
<i>Chambon</i>	Francia	90	135	290.000	Gravedad
<i>Suviana</i>	Italia		90	280.000	Gravedad
<i>Talarn</i>	España	82	104	274.000	Gravedad
<i>Fuensanta</i>	España	75	83	270.000	Gravedad
<i>Campliccioli</i>	Italia		72	237.000	Gravedad
<i>Schrach</i>	Suiza	66	110	233.000	Gravedad
<i>Tranco Beas</i>	España	84	90	230.000	Gravedad
<i>Barberine</i>	Suiza	65	85	225.000	Gravedad
<i>Camarasa</i>	España	92	103	220.000	Gravedad
<i>P. Alfonso</i>	España	68	78	180.000	Gravedad
<i>Bleilock</i>	Alemania	61	65	179.000	Gravedad
<i>Tirso</i>	Italia	59	70	163.000	Contrafuertes
<i>Barbellino</i>	Italia	67	70	150.000	Gravedad
<i>Cardanello</i>	Italia		75	112.000	Gravedad
<i>Coghinas</i>	Italia		58	112.000	Gravedad
<i>Sautet</i>	Francia	130	135	60.000	Arco
<i>Montejaque</i>	España		83	27.000	Arco

Tabla 1.
Mayores presas europeas anteriores a 1933¹¹.

La elección del tipo de presa ha estado siempre condicionada por la economía y por la seguridad. Sin entrar en “filosofía de la ingeniería”, el condicionante económico ha estado y está íntimamente unido a la misión del ingeniero como representante de una sociedad que busca una optimización en el uso de los recursos de que dispone y el condicionante de la seguridad

¹⁰ Si bien en un principio vinieron como asesores por su prestigio mundial, en algunos comentarios y escritos reconocen que realmente se produjo un intercambio de ideas, destacando el alto nivel de los ingenieros españoles y lo que de ellos habían “aprendido”.

¹¹ Obtenida de la “Revista de Revistas” de la R.O.P. de 1933, que recogía la publicación de un artículo en la prestigiosa revista alemana *Zeitschrift des Vereins Deutsche Ingenieur (Z.V.D)*.

encuentra su base en la necesidad de establecer las condiciones de salvaguarda de vidas humanas y de lo que se puede denominar “cuestiones económicas indirectas” como “consecuencia de ... (fallo) ...”, que en términos económicos son habitualmente del mismo orden o mayores que los de construcción de la propia presa. Cualquier análisis de la evolución de las presas ha de tener presente este hecho.

El discurso elaborado alrededor de estos condicionantes ha generado distintos puntos de vista e incluso discrepancias, sobre todo entre los ingenieros americanos y europeos, no sólo en su estimación sino también en su concepto. Todos han estado siempre de acuerdo en la construcción de presas seguras, pero en la medida y definición de la seguridad han existido siempre discrepancias. Al respecto son significativas las palabras de *Coyne*¹²:

“El viejo adagio “Primero Seguridad”, ... es considerado por todos como la regla dominante en materia de presas, ... mostrando una consciencia particular de su responsabilidad en este sentido. Pero, como en política, al hablar de los medios para conseguirla es cuando empiezan a aparecer diferentes opiniones”.

La situación en Europa durante las primeras décadas¹³ del presente siglo se decantaba a favor de las presas de gravedad, posición que queda perfectamente definida por *Juillard*, quien en 1935 exponía:

“Durante largo tiempo ha prevalecido en los técnicos la opinión de que sólo las presas de gravedad ofrecían las garantías suficientes de estabilidad y de seguridad. Hoy esta convicción está aún muy extendida y tiene como consecuencia la realización de presas de gravedad en ubicaciones donde otro tipo de presa sería más racional”.

La situación en Estados Unidos a finales de 1930 era bien distinta, se habían construido alrededor de 230 presas de cierta importancia¹⁴, cuya distribución tipológica porcentual podemos ver en la tabla 2. En ella apreciamos como las presas de materiales sueltos suponían el 44% del total de las construidas y como dentro de las de fábrica, si bien las de gravedad eran mayoría, existía un gran número de presas arco.

Tipo de presa	Tierras	Escollera	Gravedad	Arco	Contraf.
% sobre total presas.	36%	8%	30%	20%	6%
% sobre presas de fábrica.	-----	-----	53%	36%	11%

Tabla 2.
Distribución porcentual de presas anteriores a 1930 en USA.

¹² En su informe general a la Q-17 del V Congreso ICOLD, antes citado.

¹³ En los artículos siguientes se expone de forma amplia el “estado del arte” en aquellos años:

?? El progreso de la técnica de las grandes presas de fábrica. 1935. *Henry Juillard*. Revista de Obras Públicas, 1935.

?? La técnica y la economía de las presas de hormigón. *Probst y Tolke*. Revista Ingeniería y Construcción, 1931.

?? La técnica moderna y las presas de embalse. Elección de modelos. *C. Botín*. Revista de Obras Públicas, 1926.

?? La presa de *Montejaque* y la construcción moderna de presas. *H.E. Grunner*. Revista de Obras Públicas, 1927.

¹⁴ El número de presas de alturas inferiores a 15-20 metros fue muy numeroso y habría que sumarle un número elevado de presas no catalogadas.

La aceptación de las presas arco en Europa fue difícil debido fundamentalmente a dos motivos, uno técnico y otro de “conservadurismo”:

- * La inercia de la comunidad técnica y de los responsables administrativos que preferían soluciones experimentadas y conocidas.
- * La dificultad en conocer el estado tensional, lo que introducía un grado de incertidumbre inaceptable para muchos.

Esta inercia fue vencida poco a poco gracias al esfuerzo de algunos ingenieros como *Juillard*, *Grunner* o *Stucky*, que demostraron que las incertidumbres en el cálculo de presas de gravedad eran “tan grandes e importantes” como las de las presas arco, tal como exponía el primero de ellos:

“Los argumentos invocados en favor de las presas de gravedad son en resumen, la posibilidad de un cálculo riguroso y la estabilidad absoluta de la obra garantizada por la masa del muro. Por el contrario, los otros tipos de presas ofrecen, según sus adversarios, la desventaja de un cálculo estático aleatorio...”

Esta división, exacta en principio, es demasiado absoluta y plagada en realidad de errores procedentes del conocimiento en general insuficiente de las propiedades elásticas del hormigón, y además, de una concepción demasiado implícita del trabajo estático de un muro dimensionado como presa gravedad.

En efecto: el cálculo de una presa de gravedad de perfil triangular no da resultados de conformidad perfecta con la teoría de la elasticidad más que en el caso de cumplir una serie de condiciones... En la práctica ninguna de estas condiciones se cumple y no se ve la razón por la que esto introduzca en las presas gravedad una perturbación menos importante en la repartición de los esfuerzos que para otros tipos, una presa de arco-gravedad, por ejemplo”.

La construcción de presas como las de *Amsteg*, *Spitallam* (*Grimsell*) y alguna otra más, y su buen comportamiento, comprobado mediante sencillos pero eficaces métodos, significó el inicio de un cambio en la mentalidad de la comunidad “presística”, hecho al que también contribuyó la construcción de la presa española de *Montejaque* y algo después de la de *Alloz*.

Tipo	Total	< 1900	1900-1930	1931-1945	1946-1970	1971-1995
Tierras	160	0	7	4	112	37
Escollera	30	0	11	1	12	6
Azudes	25	0	7	4	10	4
Gravedad	204	4	65	45	71	19
Grav. Aliger.	27	0	2	3	20	2
Arco-bóveda	91	2	14	9	64	2
Bóv. Múltip.	9	0	8	1	0	0
TOTAL	546	6	114	67	289	70

Tabla 3.
Distribución tipológica de presas en Italia.

Uno de los países en donde la controversia entre la seguridad de ambos tipos de presa fue más notoria a partir de mediados de la década de los 20 fue Italia¹⁵, país en donde se

¹⁵ *Carlos Botín* llegó a afirmar al respecto: “... Italia, donde la pugna entre los partidarios del dique sutil y de la presa maciza bordea los linderos de la pasión”.

pusieron las bases de lo que sería el importante desarrollo de este tipo de presas algunos años después en Europa. En la tabla 3 se recoge la distribución tipológica de las presas en Italia, pudiéndose observar cómo las presas arco no alcanzan el porcentaje de Estados Unidos, siendo su importancia relativa mayor que en el resto de Europa.

Otra de las controversias existentes en aquellos años se refería a la disposición en planta de las presas de gravedad. Mientras la mayoría defendía la bondad de la planta curva en aras de aumentar la seguridad de la presa movilizándolo la colaboración de las laderas, algunos eran totalmente contrarios a esta disposición. Entre estos últimos se encontraban los refutados profesores *Probst* y *Tolke*, quienes afirmaban en 1931:

“La idea, hasta hoy aceptada, de que las presas de gravedad con planta curva ofrecen sensibles ventajas, carece por completo de fundamento.

Únicamente tiene valor cuando no son de temer fuertes variaciones de volumen, como, por ejemplo, en las presas de mampostería, siendo muy diferente el caso de macizos de hormigón, con o sin bloques sumergidos, o los de mampostería hormigonada u hormigón ciclópeo...

La forma curva en planta sólo es conveniente en las presas de gravedad, en el caso de que se inyecten las juntas radiales... Cuando no se pueda conseguir un cierre óptimo de las juntas, se debe aconsejar el abandono de la solución de macizo de planta curva.

Es ocioso decir, que en tal caso, se consigue una pequeña economía de material”.

En lo que respecta al ancho de base ya la inclinación de taludes no se había llegado a ningún criterio común, existiendo una notable variación entre países y dentro de éstos entre los distintos ingenieros. En la tabla 4 se reproduce una relación de presas y su ratio base/altura recogida por *Probst* y *Tolke*.

Presa	País	Altura	Base/Altura	Año	% aumento
<i>Spullersee</i>	Austria	34	0.97	1924	38
<i>Suviana</i>	Italia	88	0.89	1925	27
<i>Cardanello</i>	Italia	74	0.82	1928	17
<i>Camarsa</i>	España	102	0.85	1918	21
<i>Waggital</i>	Suiza	110	0.81	1922	16
<i>Chambon</i>	Francia	127	0.75	1925	7
<i>Schwarzenbach</i>	Alemania	62	0.74	1922	6
<i>Bleiloch</i>	Alemania	65	0.71	1932	1
<i>Pardee</i>	EE.UU.	109	0.70	1928	0
<i>Exchequer</i>	EE.UU.	100	0.63	1923	-10
<i>Jándula</i>	España	90	0.83	1925	18
<i>Tranco de Beas</i>	España	82	0.83	1930	18
<i>Cala</i>	España	51	0.71	1925	1
<i>Burguillo</i>	España	90	0.76	1927	8

Tabla 4.

Anchura en base de distintas presas. En la última columna se indica el porcentaje de aumento respecto de una presa con ancho en la base igual a 0,70 la altura. (El año es el de comienzo de construcción).

Si bien en España las presas de contrafuertes y de bóvedas múltiples tan sólo se estudiaron a nivel de anteproyecto y proyecto con anterioridad a 1940, a excepción de la presa

de *Burgomillado*, en otros países, y fundamentalmente en Estados Unidos e Italia, se convirtieron en una alternativa económica a las presas de gravedad. En Estados Unidos triunfaban las soluciones a base de pantallas tipo *Ambursen* y en Italia lo hacían las presas de bóvedas múltiples, a pesar del retroceso que supuso la rotura de la presa de *Gleno*. *Gómez Navarro* exponía en 1926 el proceso justificativo que llevaba a las presas de bóvedas múltiples desde las presas bóveda¹⁶:

“No hay norma segura para determinar, en las presas de planta curva en qué proporción se refieren las presiones a los estribos o a la cimentación...

Es evidente que aquella ha de variar en razón inversa de la cuerda, y, por tanto en gargantas muy estrechas con estribos de roca es natural pensar que las presas trabajen principalmente como bóvedas y que se calculen como tales, consiguiendo así una gran disminución de la fábrica.

Pero la elección del tipo de presa bóveda requiere condiciones morfológicas especiales de ubicación: gola estrecha y gran solidez en los estribos. ¿Y no cabría corregir en esto a la Naturaleza, dividiendo por medio de pilas o contrafuertes, un perfil abierto de cauce que proporciones buena cimentación a la presa, y volteando bóvedas entre ellos? Esta idea sugirió, sin duda, el tipo de bóvedas múltiples”.

De esta forma en 1923 se había construido en Italia la presa de *Tirso* de 65 metros de altura y otras cuatro de alturas comprendidas entre los 20 y los 42 metros¹⁷. Además había en construcción otras nueve presas de este tipo¹⁸, de las que seis tenían alturas superiores a los 50 metros, destacando entre ellas la presa de *Suviana* de 87 metros de altura¹⁹. Desde 1908 hasta 1921 se habían construido en Estados Unidos 33 presas de bóvedas múltiples, la mayor parte de ellas de alturas inferiores a 30 metros, y 100 presas del tipo *Ambursen* de pantalla plana²⁰, una de estas de 45 metros de altura sobre cimientos²¹.

3. LA SITUACIÓN A PARTIR DE LA DÉCADA DE LOS 30

Algunos ingenieros indicaron que las presas de gravedad a partir de la década de los 30 se utilizarían como un “artículo de catálogo”, a partir del cual los proyectistas tenían que dedicarse básicamente a solucionar los problemas de cimentación, organización de la obra y obtención de los materiales. Sin entrar en una discusión al respecto, atractiva por otra parte, nos interesa extraer una idea subyacente: salvo cuestiones de detalles, que podían llegar a ser importantes, la presa de gravedad había alcanzado un nivel de evolución que estaba cerca de su límite natural desde los puntos de vista estructural y formal.

¹⁶ En su artículo “Presas de gravedad y presas de bóvedas múltiples”. Revista de Obras Públicas, 1926.

¹⁷ Estas presas eran: *Tirso*, de 65 metros de altura, *Combamala*, de 42 metros, *Scolterna*, de 24 metros, *Zolezzi*, de 21 metros y *Pian Sapeio*, de 20 metros.

¹⁸ Estas presas eran: *Suviana*, de 87 metros de altura, *Campliccioli*, de 65 metros, *Pavana*, de 57 metros, *Arda*, de 52 metros, *Venina*, de 50 metros, *Tidone*, de 50 metros, *Lago Negro*, de 34 metros, *Lago Toggia*, de 33 metros y *Sernelo*, de 13 metros.

¹⁹ Aunque no son representativas, y como se comprobó con el tiempo poco acertadas, no dejan de ser “sintomáticas” las expectativas creadas por este tipo de presas y la declaración de un sector de los ingenieros italianos calificando las presas de gravedad como “construcciones históricas” o “recuerdo del pasado”.

²⁰ Existe una notoria discrepancia entre los datos suministrados por *Noetzi* y los que se recogen en la publicación “Development of Dam Engineering in the United States”.

²¹ Entre estas presas americanas destacan: *Palmdale*, de 45 metros de altura, *Mountain Dell*, de 45 metros, *Cave Creek*, de 37 metros, *Weber Creek*, de 37 metros, *Guayabal*, de 37 metros o *Salt Creek*, de 31 metros.

En Estados Unidos el periodo transcurrido entre 1930 y 1960 se caracterizó por el gran auge en la construcción de presas que hizo que su número se triplicase al final del periodo. Los porcentajes de cada una de las tipologías variaron respecto al periodo anterior, destacando el gran aumento de las presas de materiales sueltos, en especial de las de tierras, y el “estancamiento” de las presas de fábrica en lo que a número se refiere. En el mismo país y en el periodo 1930-1960 se construyó un número similar de presas de fábrica al realizado entre 1900 y 1930, afirmación válida tanto para las de gravedad como para las arco, lo que significa una disminución porcentual en el reparto final.

Si bien el número de presas de gravedad y arco no aumentó respecto al periodo anterior, sí que lo hizo sustancialmente su importancia. Las presas construidas en este periodo fueron de volúmenes de obra desconocidos hasta entonces, siendo la época de las grandes construcciones y del gran desarrollo en los métodos y medios de construcción, cuyo punto de partida fue la construcción de la presa *Hoover*.

En lo que respecta a las presas arco, los atrevidos diseños y la búsqueda de formas que se adaptasen mejor a las cargas y al aprovechamiento de las propiedades del hormigón que caracterizaron la última década del siglo pasado y las dos primeras de éste en Estados Unidos, sufrieron un estancamiento en la década de los 30 por un doble motivo:

- * La mayor atención prestada al desarrollo de métodos constructivos ya la calidad del hormigón.
- * El “respeto” hacia aspectos desconocidos que podían desarrollarse con el incremento de magnitud e importancia de las obras.

En Europa mientras tanto los esfuerzos de los ingenieros que apostaron por un mayor desarrollo de las presas bóveda empezaron a fructificar, siendo definitivos los estudios iniciados en el ISMES y la construcción de las presas francesas e italianas de la década de los 30 y sobre todo de los 40. Puede afirmarse que Suiza, Francia e Italia fueron el motor del desarrollo de las presas arco y bóveda modernas así como de la búsqueda de otras formas y tipologías con el fin de mejorar la adaptabilidad de la presa a su entorno global.

Los ensayos en modelo reducido fueron una valiosa e imprescindible herramienta en este desarrollo y desde un primer momento se revelaron como el elemento principal en la consecución de formas más depuradas y como comprobación de los resultados obtenidos analíticamente. Además permitieron comprobar el elevado grado de seguridad de las presas bóveda, lo que tranquilizó a gran número de técnicos y sobre todo a los ingenieros con responsabilidades administrativas y políticas. Los resultados de los ensayos realizados por *Oberti* y *Semenza*, en las que hasta entonces eran las presas arco más atrevidas, demostraron que el coeficiente de seguridad frente a las cargas hidrostáticas estaba generalmente comprendido entre 5 y 8, de la misma forma que los ensayos realizados en el cambio de la década de los 40 a los 50 en la atrevida presa de *Le Gage*, diseñada por *Coyne*, demostraron que el estado tensional era aceptable incluso con sobrecargas de hasta el 300% de la carga hidrostática máxima.

Aun cuando los más prestigiosos ingenieros venían reflexionando e incluso publicando en algún caso sus ideas acerca de la seguridad de las presas, fue en el V Congreso ICOLD de París, en 1955²² cuando se empezó a discutir de forma abierta el tema con dos resultados significativos:

- * El distanciamiento entre los ingenieros europeos y americanos en la concepción de la seguridad y los diseños.
- * El abandono de la idea de la ventaja de las presas de gravedad en lo referente a seguridad.

²² En el marco de la Q-17: “Economía y seguridad de los diferentes tipos de presas de hormigón”.

Juillard, partidario de establecer el concepto de “seguridad suficiente”, establecía²³:

“En realidad, la noción de seguridad es equívoca y difícil de caracterizar, lo que no debe sorprendernos, puesto que se parte de criterios no idénticos para los distintos tipos de presa”.

En la misma línea se expresaba *Semenza*, quien además de manifestar su incondicional posición a favor de las presas “cúpula” establecía que este tipo de estructuras poseía, desde distintos puntos de vista, muchos más “recursos” que las de gravedad para hacer frente a todas las acciones posibles²⁴:

“... porque todo tipo de presa bien calculada y bien concebida es estable en las condiciones normales y salvo acontecimientos que van más allá de las previsiones razonablemente admisibles”.

Atendiendo a estas palabras, no deja de llamar la atención que quienes desde hacía 15 ó 20 años reivindicaban la bondad de las presas bóvedas en contra de gran parte de la opinión técnica de entonces, ahora -1955- eran quienes establecían la necesidad de no olvidar otras tipologías, consecuencia sin duda de lo “abierto” de sus ideas.

Al convencimiento de que las presas bóvedas eran más seguras frente a las cargas hidrostáticas se unía su economía frente a otras soluciones. Con estos dos argumentos a favor sólo quedaba establecer su campo de aplicación y límite estructural, estando de nuevo las opiniones de los europeos y americanos alejadas. Ambas corrientes de opinión quedaron representadas en dicho congreso por *Hammond* (Estados Unidos) por un lado y por *Coyne* (Francia) y *Oberti* (Italia) por otro²⁵.

En Estados Unidos a principios de los 50 estaba bastante generalizada la idea de que un valor de 5 en la relación entre el desarrollo del arco y la altura máxima de la presa²⁶ era el valor límite para una aplicación económica de las presas arco. El Bureau of Reclamation propuso la utilización de otro índice que tenía en cuenta además la forma del valle mediante el cociente entre el perímetro mojado y la altura. *Hammon* en su intervención en el mismo Congreso ICOLD de París estableció que el límite racional para este valor se encontraba entre 4,50 y 5,00, basando esta afirmación simplemente en la estadística de las presas arco construidas en Estados Unidos hasta entonces, cuando lo que debería haber hecho es establecerlo como un límite inferior comprobado.

Coyne presentaba como argumentación en contra del anterior criterio la existencia de cuatro presas arco en Francia con ratios superiores a los propuestos por *Hammond*, estando en proyecto la presa de *Ribou*. Su conclusión era clara:

“Creemos que es prematuro imponer una regla que permita saber si un valle es adecuado o no para una presa arco ó bóveda”.

²³ En su comunicación Q-17 R-55.

²⁴ En su comunicación Q-17 R-64.

²⁵ Es también interesante al respecto el informe general Q-26 del VII Congreso ICOLD de Roma (1961): “Modern techniques of concrete dams for wide valleys and ancillary works”, realizado por *Manuel Rocha* y *Joaquín Laginha Serafim*.

²⁶ Algunos ingenieros utilizaban otros ratios. En Italia se utilizó bastante en las décadas de los 50 y 60 el establecido por *Claudio Marcello*: $\text{ratio} = h^2/b \cdot r$, siendo “h” la altura de la presa, “b” el ancho del valle en la base y “r” el radio del arco. Para ratios superiores a 8 la presa trabajaría fundamentalmente en arco, para ratios comprendidos entre 8 y 0,5 en arco gravedad y para valores inferiores a 0,5 como presa de gravedad.

frase que concuerda perfectamente con su idea que nos ha servido como entrada de este apartado²⁷.

No obstante, en Europa también había discrepancias. *Oberti* estimaba que el valor límite del cociente longitud/altura era de 7, no ensayando presas con valores superiores a este valor, mientras en otros países se ensayaron en modelo presas con valores superiores, como la alemana presa de *Teisnach* del tipo arco-gravedad y 70 metros de altura máxima.

En el extremo opuesto a las presas arco en lo referente a su seguridad ante las sobreacciones hidráulicas y de las subpresiones²⁸ se situaba a las presas de gravedad. En este aspecto el orden de seguridad creciente de las presas aligeradas o de pantallas se consideraba era:

- * Presas de gravedad aligeradas.
- * Presas de contrafuertes macizos.
- * Presas de bóvedas múltiples.

En general puede decirse que este tipo de presas se siguió usando en distintas formas a excepción de la utilizada a principios de siglo de espesores pequeños de pantalla en hormigón armado, que dio gran cantidad de problemas de conservación y explotación. En las presas de contrafuertes macizos se tenía la tendencia a inclinar el paramento de aguas abajo, utilizándose bastante en numerosos países en aquellos años: Italia, Portugal, Escocia, etc.

La influencia que en la seguridad tienen las características del terreno es importante y su desconocimiento la incrementa. Ante los problemas de subpresión la opinión casi unánime era favorable a todos los tipos de presas de contrafuertes. No deja de ser curioso que se alegase para ello que tras la pantalla de inyecciones se disponía de un drenaje natural y que sin embargo no se aplicase de forma generalizada esta solución a las presas de gravedad.

Menos unanimidad existía en lo referente a la influencia de la heterogeneidad del terreno de apoyo en los distintos tipos de presas. *Juillard* era defensor de la idea de que las de gravedad las soportaban mejor debido a las grandes superficies de apoyo y las tensiones reducidas²⁹. En cambio la opinión del Bureau of Reclamation era la opuesta, creyendo que eran las de contrafuertes las que mejor se adaptaban a esta contingencia y que la rigidez de las de gravedad las hacía tener un mal comportamiento³⁰. Por su parte *Semenza* encontraba que la solución más adecuada era la presa bóveda pues era la que mejor se comportaba ante posibles asientos diferenciales, ventaja que aumentaba si se tenía en cuenta que era práctica común en Italia colocar el “pulvino”³¹.

Esta disparidad se daba también a la hora de decidir si una presa bóveda podía situarse en terrenos muy deformables. *Semenza* no veía inconveniente e incluso afirmaba que era la estructura que mejor se comportaría en estos casos y *Juillard* opinaba lo contrario con argumentos mas de orden práctico que conceptual.

Ante movimientos sísmicos las opiniones tampoco eran coincidentes. *Semenza* tenía sus dudas ante el comportamiento de las bóvedas ya que la forma geométrica le daba una buena flexibilidad para resistir este tipo de esfuerzos pero le parecía que los esfuerzos paralelos a la cuerda podrían causar fuertes daños³². También opinaba que las presas de contrafuertes no eran

²⁷ Estas cuatro presas se podían catalogar como de poco riesgo aguas abajo.

²⁸ Alguna comunicación a este congreso concluía que para taludes inferiores a 0,85 no se disponía de coeficientes de seguridad adecuados. Esta afirmación fue rebatida por algunos ingenieros, entre ellos Coyne, que especificó que las estadísticas demostraban que sólo se habían dado problemas en presas cuya suma de taludes era inferior a 0,66.

²⁹ Ver su comunicación Q-17 R-55 al Congreso ICOLD de París.

³⁰ Ver la comunicación Q-17 R-2.

³¹ Ver las comunicaciones Q-17 R-64, Q-26 R-115 y Q-26 R-117.

³² Los ensayos realizados en el ISMES en este sentido algún año después aclararía algo la situación.

aptas para resistir movimientos de este tipo, mientras *J. Pinto Machado* y *Sundquist* opinaban lo contrario³³. Como vemos, no podía haber más disconformidad entre los considerados más prestigiosos ingenieros e incluso entre las consideradas “próximas concepciones europeas”.

El aspecto económico es difícil de concretar ya que las diferentes condiciones económicas y sociales a lo largo del tiempo en los países generan dispares relaciones entre el coste de mano de obra y el de maquinaria. Mientras en Estados Unidos la situación en la década de los 50 aconsejaba construir presas con “exceso de material pero no de mano de obra”, en muchos países de Europa, incluido España, la situación era la contraria.

Una de las cuestiones básicas era conocer cuanto encarecían las presas “delgadas” el coste unitario del hormigón, siendo en este sentido los datos muy variables según los países. En Portugal el encarecimiento era del orden del 2%, en Italia del 3% y en Francia del 5% para reducciones de volumen de hasta 1/3 y de 115% en las de hasta 2/3. En cualquiera de estos tres países desde la óptica económica se justificaba la adopción de formas más delgadas. Con estos antecedentes se entiende el auge de este tipo de presas, de la que era representativa la situación en Francia.

Periodo	Gravedad	Arco	Contrafuertes
1914-1924	7	0	0
1924-1934	15	2	1
1934-1944	3	2	0
1944-1954	4	26	2
TOTAL	29	30	3

Tabla 5.
Tipología de presas en Francia.

Antes de 1944 el 80% de las presas construidas eran de gravedad mientras que en el decenio siguiente ese porcentaje se invirtió a favor de las presas arco de distintos espesores y formas, tanto bóvedas como arcos simples y arco-gravedad. Este cambio se debió en gran medida al menor volumen de hormigón y la mejor adecuación o ajuste de los medios disponibles a la construcción de este tipo de presas. *Bellier*, *Hupner* y *Duffaut* dan gran importancia a este último hecho e incluso más que al primero³⁴. Las dificultades de disponer de todo el material necesario para la construcción de un amplio programa de presas generaba una dispersión de medios, siendo más fácil conseguir el objetivo con volúmenes reducidos de obra al adecuarse mejor a las más abundantes instalaciones medias.

La economía de hormigón con la utilización de las presas bóvedas y/o arcos simples y/o arco-gravedad era muy significativa. En Francia era normal alcanzar una reducción de volumen de entre 1/3 y 2/3³⁵ del correspondiente a la presa de gravedad, suficiente para compensar el menor rendimiento en su colocación, diferencial que además poco a poco fue disminuyendo.

En Francia en estos años se construyeron pocas presas de contrafuertes. El incremento en el precio unitario del hormigón y las mayores complicaciones de ejecución y diseño hicieron que se descartase muchas veces sin siquiera considerar la idea. Suponía mayores ventajas la utilización de presas de bóvedas múltiples, de las que existen algunos interesantes ejemplos en

³³ Ver respectivamente las comunicaciones Q-17 R-14 y Q-17 R-36.

³⁴ Ver la comunicación Q-17 R-81.

³⁵ En este ahorro de volumen de hormigón influía una menor limitación en las compresiones máximas y la confianza que inspiraban los resultados de los ensayos en modelo. En Francia en 1934 el límite tensional estaba en 25 kg/cm², en 1947 en 50 kg/cm² y en 1955 –en algunos casos excepcionales- llegó a ser hasta 100 kg/cm², caso de la presa de *Gage*.

esta época, destacando la presa de *La Girotte* diseñada en 1935. A partir de mediados de los años 40 diversos proyectistas, entre ellos *Coyne*, abandonaron los antiguos diseños de bóvedas de pequeño espesor -mediana o fuertemente armadas- y contrafuertes demasiado próximos pasando a espaciarlos y a aumentar el espesor de las bóvedas para poder utilizar los métodos de puesta en obra de hormigón en masa abandonando los mucho más lentos y complicados del hormigón armado³⁶.

Estas presas tenían algunos inconvenientes funcionales, que se superaron por ejemplo en la presa de *Grandval* situando la central de producción de energía en el hueco de la bóveda central³⁷ y los dos aliviaderos con capacidad cada uno para 1.000 m³/sg con lanzamiento en trampolín en sus apoyos. En esta presa el volumen de hormigón representaba tan sólo el 135% del correspondiente a una de gravedad, lo que unido a un encarecimiento del precio unitario del 140% supuso un ahorro total del 50% respecto a la “solución tradicional”. Además se produjo un gran ahorro en el volumen final de excavaciones³⁸.

En la tabla 6 recogemos las principales realizaciones de este tipo en este periodo, que fue sin duda el de mayor desarrollo de toda la historia de las presas. Se incluye la presa de *Coolidge* que marcó el camino para las realizaciones posteriores.

Año	Presa	Cuerda	Altura	C/H
1929	<i>Coolidge</i>	55	76	0.70
1935	<i>Les Pradeaux</i>	10	25	0.40
1936	<i>Saint Michel</i>	26	15	1.70
1941	<i>Nepes</i>	10	17	0.60
1947	<i>Nebeur</i>	50	70	0.70
1948	<i>Grandval</i>	50	88	0.60
1952	<i>Varahina</i>	25	26	1.00
1952	<i>Manandriana</i>	25	25	1.00
1954	<i>Migoelou</i>	25	30	0.80
1959	<i>Daniel Jonson. Arcos.</i>	76	138	0.60
1959	<i>Daniel Jonson. Arco central.</i>	163	213	0.80

Tabla 6.
Presas de bóvedas múltiples.

Las consecutivas realizaciones y el buen comportamiento de las presas arco y bóveda fueron ampliando sucesivamente el campo de aplicación a valles más anchos. Las presas italianas de *Pieve di Cadore* y de *Fedaia* -relación cuerda/ altura de 7- son un claro ejemplo de este hecho, en el que destacaron sobremanera los ingenieros franceses, verdaderos pioneros en este campo, sucediéndose a lo largo de tres décadas distintos récords y destacando realizaciones como las presas de *Kariba* y *Hendrik Verwoerd* (tabla 7).

En Estados Unidos la situación era la contraria, el alto coste de la mano de obra hacía que el coste unitario de hormigón colocado en presas “delgadas” superase en algunos casos el 50% respecto de la solución de gravedad. Si a este hecho le sumamos el gran desarrollo de los medios de fabricación y puesta en obra del hormigón y el concepto de “seguridad” impuesto por la magnitud de las obras, no es de extrañar que en las décadas de los 30 a 60 la técnica

³⁶ Una de las primeras realizaciones de este tipo fue la de la presa de *Nebeur* (Túnez) de 65 metros de altura máxima en la que las luces se espaciaron hasta los 50 metros. Los espesores de las bóvedas variaban entre 2 y 7 metros y estaban inclinadas 70°.

³⁷ La luz de la bóveda central fue de 50 metros para una altura de 88.

³⁸ Ver la Q-26 R-3.

americana “olvidase” en cierta medida las presas bóveda, aspecto en el que quedó descolgada respecto a la situación en países como Suiza, Italia o Francia. Frente a la filosofía europea de disminuir el volumen de las presas, ellos optaron por diseñar estructuras sencillas en las que se pudiese colocar un gran volumen en poco tiempo.

Año	Presa	Altura	L/H
1933	<i>Le Gouessant</i>	20	5.10
1939	<i>La Triounzoune</i>	27	5.40
1939	<i>Monceau-La Virole</i>	28	5.80
1947	<i>Les Gloriettes</i>	40	5.00
1947	<i>Nebeur</i>	40	5.60
1949	<i>Tech I</i>	29	5.80
1954	<i>Lanoux</i>	40	6.20
1954	<i>Laouzas</i>	50	6.00
1954	<i>Kariba</i>	125	5.00
1956	<i>Pont de Roi</i>	29	6.80
1961	<i>Bangala</i>	45	6.70
1963	<i>H. Verwoerd</i>	90	11.10
1947	<i>Nebeur (ataguía)</i>	10	7.30
1952	<i>Ribou</i>	14	12.10
1954	<i>Kariba (ataguía)</i>	18	16.00

Tabla 7.

La conquista de los valles anchos por las presas arco.

Si comparamos los perfiles típicos de las presas bóveda americanas con los de las europeas, vemos como la evolución de las formas hacia las actuales, con ciertos matices, se dio mucho antes en Europa. Basta comparar las presas cúpulas italianas o francesas de finales de las décadas de los 40 ó 50 con las correspondientes americanas. La presa bóveda de doble curvatura esbelta se adelantó dos décadas en los países europeos respecto a Estados Unidos.

Esta disimilitud no sólo se dio entre las presas bóvedas. Si comparamos los perfiles de presas tan dispares como las de gravedad de la *Grande Dixence* (Suiza) y *Shasta* (Estados Unidos) y la presa, teóricamente arco, *Hoover* (Estados Unidos) podemos observar también notables diferencias: la presa *Hoover* diseñada como arco-gravedad tiene un espesor en la base del 91% de su altura, la presa *Grande Dixence* diseñada como de gravedad tiene un espesor en la base del 77% y la presa *Shasta*³⁹ diseñada también como de gravedad tiene un espesor del 100%.

Una de las causas de esta semejanza, probablemente no la principal y entre otras muchas, se encuentra en el límite establecido para las tensiones admitidas, en la presa *Shasta* los valores máximos de compresión se limitaron a 42 y 53 kg/cm² en los paramentos de aguas arriba y aguas abajo respectivamente, en la de *Grande Dixence* los valores fueron de 75 y de 130 kg/cm² y en la presa *Shasta*, proyectada 15 años mas tarde que la de *Grande Dixence*, el

³⁹ En la presa *Shasta* el paramento de aguas arriba es vertical en su parte superior y toma un significativo talud en su parte baja, dando una mayor anchura en la base con un relativo poco importante incremento de volumen.

B.O.R. aumentó el límite máximo hasta 71 kg/cm^{240} , que seguía siendo sustancialmente más bajo que el permitido en Suiza y otros países europeos⁴¹.

Como resumen de lo expuesto podemos afirmar que en presas de fábrica la técnica europea ha evolucionado de forma más rápida en los aspectos relacionados con las formas y los diseños, mientras que la técnica americana ha hecho lo propio en los aspectos constructivos y de puesta en obra en el hormigón. Esta diferencia se ha prolongado, aunque de forma menos clara, a lo largo de las últimas tres décadas.

Si en las tres primeras décadas del siglo, y a pesar de las indudables desventajas de tipo económico y político, la técnica y la tecnología en España se mantuvieron al nivel de otros países de reconocido prestigio en el panorama de las presas, no ocurrió lo mismo en las tres décadas siguientes. La más que delicada situación social y económica de la década de los 30, que se continuó en la década de los 40 y los 50, fue la causa de graves, terribles e importantes problemas⁴² en la sociedad española, que se trasladaron al conjunto de las obras públicas en general ya la política hidráulica en particular.

Las décadas de los 40 y de los 50 se caracterizaron por un predominio casi absoluto de las experimentadas presas de gravedad al no contar las presas de materiales sueltos con maquinaria que hiciese viable su construcción. Otras tipologías como las de contrafuertes, bóvedas múltiples o bóvedas no tuvieron el desarrollo de nuestros países vecinos, y en lo que respecta a presas arco, en los 40 tan solo se construyó una bóveda, si bien importante por su altura, -la presa de *La Cohilla*- y cuatro presas arcos de alturas moderadas.

A finales de la década de los 50 se empezaron a construir las presas de *Eume* y *Canelles* y a partir de ahí un gran número de ellas. Se debe señalar también la construcción de la presa arco-gravedad de *San Esteban* y a final del periodo las de *Aldeadávila* y *Búbal*. En lo que respecta a presas de contrafuertes la escasez de materiales y una “cierta experiencia” en la realización de proyectos de este tipo a lo largo de décadas anteriores consiguieron que en la década de los 50 estas presas tuviesen un notable auge, siendo trece las presas construidas en dicha década, valor en números absolutos y porcentuales similares a los de otros países cercanos.

4. LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

En España la década de los 60 y la primera mitad de los 70 estuvo marcada por el gran auge de las presas bóveda y por la construcción de algunas grandes presas de contrafuertes, hecho que si bien se produjo en su comienzo con un retraso de alrededor de quince años respecto al de otros países próximos, fue de una gran importancia e intensidad.

Luciano Yordi explicaba en 1956 las razones por las que se daban las condiciones para comenzar a construir presas de todo tipo en España⁴³:

- * Los mayores conocimientos en el campo estático debido fundamentalmente a los ensayos en modelo reducido.

⁴⁰ Siempre que la resistencia media a compresión en probetas cilíndricas de 15×30 fuese 4 veces superior a dicho máximo.

⁴¹ Ver el artículo “Las presas más altas del mundo. Comparación entre espesores suizos y americanos”, de *W. H. Holmes* en *Informes de la Construcción*, 1956.

⁴² Como es obvio se produjo una falta de tecnología y medios de puesta en obra.

⁴³ Ver sus artículos:

?? Evolución de los perfiles de las presas en arco y ajuste de la vóveda a la cerrada. *Revista de Obras Públicas*, 1961.

?? Consideraciones acerca de la doble curvatura del Eume. *Revista de Obras Públicas*, 1956.

- * La posibilidad de confrontar los resultados obtenidos en estos modelos con el comportamiento real de la puesta en servicio-
- * La técnica más avanzada que se alcanzó en los procedimientos de impermeabilización y consolidación del terreno.
- * Los mayores conocimientos que se tenía sobre el hormigón permitían alcanzar resistencias más altas y uniformes.
- * La mayor experiencia de las presas bóvedas por la gran cantidad de obras ejecutadas en todo el mundo y en particular en Europa.
- * La mayor técnica y organización de las empresas constructoras, dotadas de maquinaria de obra en la que se habían realizado notables progresos.

El propio Yordi concluía:

“ ... los estudios realizados, la experiencia adquirida y la mejor técnica de construcción deben ir a conseguir en las obras que se realicen a partir de ahora una mayor seguridad y un ahorro de material, De no conseguirse lo segundo, el objetivo buscado quedaría mutilado”.

En la primera mitad de la década de los 60 comenzó a ser habitual la construcción de presas de materiales sueltos, que adquiriría mayor importancia a partir de los 70. A partir de entonces se partía de un plano de igualdad a la hora de elegir la presa adecuada teniendo en cuenta los criterios de seguridad y economía, sin condicionantes como los que por diversas causas se habían producido hasta entonces⁴⁴.

Con posterioridad, y tanto en España como en el mundo, la gran novedad en lo que respecta a las presas de fábrica fue el desarrollo a partir de la década de los 80 de las presas de hormigón compactado con rodillo (HCR o RCC), resultado de la aplicación de medios y métodos de puesta en obra propios de las presas de materiales sueltos a la tecnología del hormigón. Este tipo de presa, o mejor técnica de construcción de presas de fábrica, entra en competencia directa con otras presas de fábrica de hormigón convencional y con las presas de materiales sueltos, en especial con las de escollera, ampliando así el campo de elección de los ingenieros.

⁴⁴ Para realizar un análisis más exhaustivo de estas últimas cuatro décadas es imprescindible tener en cuenta los distintos tipos de materiales sueltos.

5. RESUMEN DE LAS SITUACIONES EN LOS DISTINTOS PERIODOS

Proceso de elección del tipo de presa.

<ul style="list-style-type: none">• Factores endógenos.<ul style="list-style-type: none">- Conocimientos científicos y técnicos.<ul style="list-style-type: none">• De materiales.• De conocimiento del comportamiento.- Estado de la tecnología.	<ul style="list-style-type: none">• Factores exógenos.<ul style="list-style-type: none">- De carácter técnico y tecnológico.- De carácter económico y social.- De carácter político.- Otros tipos.
--	--

Se analizan los factores endógenos y su influencia en la elección del tipo de presa de fábrica a lo largo del siglo.

Se analiza la influencia del concepto y aplicación de la seguridad.

*Figura 1.
Factores que intervienen en la elección del tipo de presa.*

**Elección del tipo de presa.
El concepto y aplicación de la seguridad.**

<ul style="list-style-type: none">• "Al término de este largo análisis, qué conclusión se puede obtener?. No se debe formular doctrinas universales. Conociendo las ventajas e inconvenientes de cada tipo de presa, será el proyectista quien debe decidir, sin espíritu de sistema, adaptándose a las circunstancias. Nuestro propósito, al respecto, es evocar estas ventajas y estos inconvenientes, sin más". <p style="text-align: right;">• <i>André Coyne. 1955.</i></p>	<ul style="list-style-type: none">• "El viejo adagio "... Primero seguridad ..." es considerado por todos como la regla dominante en materia de presas ... Mostrando una consciencia particular en este sentido. Pero, como en política, al hablar de los medios para conseguirla es cuando empiezan a aparecer diferentes opiniones". <p style="text-align: right;">• <i>André Coyne. 1955.</i></p>
--	--

*Figura 2.
El concepto de seguridad.*

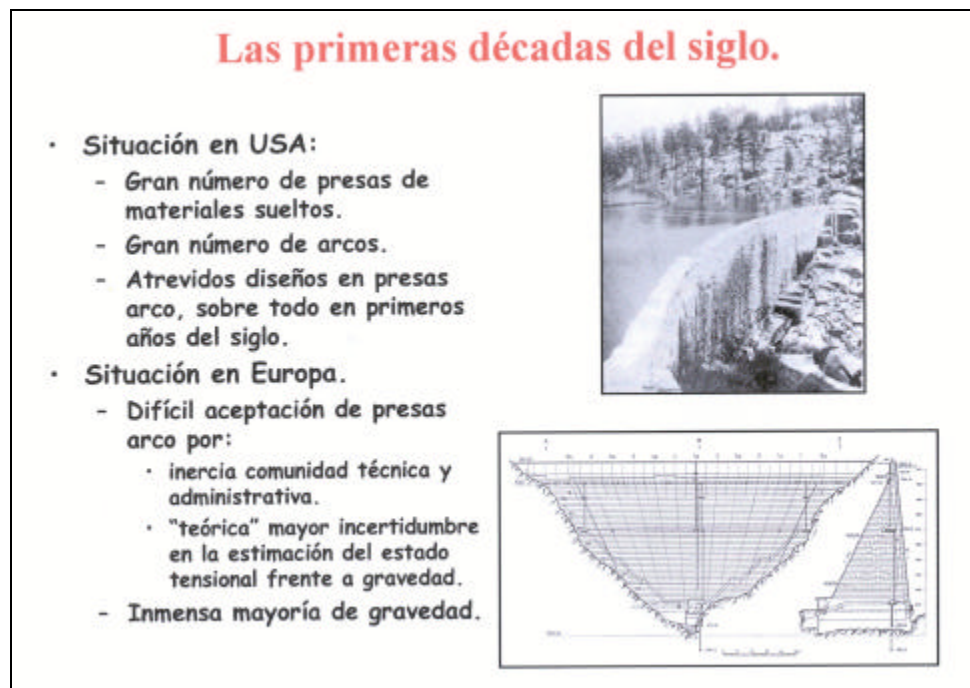


Figura 3.

La situación en Estados Unidos y Europa en las primeras décadas del siglo.



Figura 4.

La situación en Estados Unidos y Europa en los años 30.

La situación entre 1930 y 1960.

- Situación en USA:
 - Auge construcción presas.
 - Gran aumento mat. sueltos y sobre todo tierras.
 - Estancamiento en número presas de fábrica y aumento importancia de las mismas.
 - Pocas presas de contrafuertes y bóvedas múltiples.
- Situación en Europa.
 - Continuo incremento de aceptación de presas arco cada vez más esbeltas y de soluciones más atrevidas. Aportación de ingenieros como Coyne, Oberti, etc.
 - Mejora en la adaptación del tipo de presa a los condicionantes del terreno e hidráulico-hidrológicos.
 - Desarrollo de otros tipos de presas.



Figura 5.
La situación en Estados Unidos y Europa en los años 30 a 60.

La situación después de 1960.

- Aproximación planteamientos USA y Europa.
- USA: desarrollo presas arco delgadas.
- Europa: desarrollo presas de materiales sueltos.
- Ambos: RCC (HCR), resultado de la aplicación de métodos y de puesta en obra propios de presas de materiales sueltos a la tecnología del hormigón.
- Estas entran en competencia con presas de materiales sueltos, ampliando el campo de elección de ingenieros.

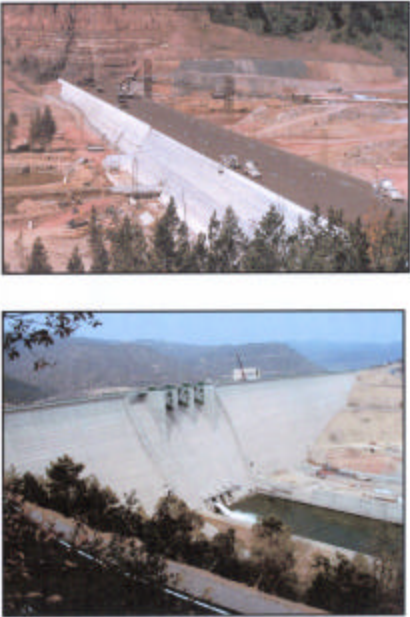


Figura 6.
La situación en Estados Unidos y Europa a partir de los 60.