

Singularidades y evolución técnica de la ingeniería de presas en las Islas Canarias

Revista de Obras Públicas
nº 3.530. Año 159
Marzo 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Technical development and characteristics of dam engineering in the Canary Islands

Juan Carlos Santamaría Cerezal. Dr. Ingeniero de Caminos, canales y Puertos
Profesor asociado y consultor, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial.
Universidad de La Laguna (ULL). La Laguna, Tenerife (España). jcsanta@ull.es

Jaime J. González González. Licenciado en Geografía e Historia (Geografía)
Geógrafo. Vocal Colaborador del Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD).
Las Palmas de Gran Canaria (España). jaimegonzalez@presasengrancanaria.com

Resumen: Una de las características hidrológicas del terreno volcánico es la gran permeabilidad en origen que lo caracteriza, este hecho condiciona notablemente la selección técnica y óptima del aprovechamiento hidráulico en una isla volcánica. En el caso de las Islas Canarias, como norma general se ha recurrido al agua subterránea (en islas occidentales principalmente) para el abastecimiento de agua, pero existen dos casos notables donde la apuesta para ese abastecimiento, principalmente para la agricultura, fueron los embalses de agua, son los casos de Gran Canaria y La Gomera, dado que estas islas disponían terrenos con cierta impermeabilidad para poder hacer viable la construcción de presas y embalses. El presente escrito expone inicialmente los problemas técnicos que ha tenido que superar la ingeniería de presas en un terreno volcánico y, por último, su evolución histórica hasta el momento actual.

Palabras Clave: Presas; Hidrología en terrenos volcánicos; Recursos hídricos en islas;
Historia de las presas; Patrimonio hidráulico

Abstract: One of the hydrological features of a volcanic area is its high permeability and this factor significantly affects the technical and optimum selection of hydraulic use on a volcanic island. In the case of the Canary Islands, recourse has generally been made to groundwater (mainly in Western Isles) for water supply, but there are two notable cases where the water supply, particularly for agricultural purposes, has been provided by reservoirs. This being the case of Gran Canaria and La Gomera as these islands have areas with a certain impermeability which make the construction of dams and water reservoirs more viable. This paper describes the technical problems that have to be overcome by dam engineering in volcanic areas and the historical evolution from the past to the present.

Keywords: Dams; Volcanic hydrology; Water resources in islands; Dam's history; Water heritage

1. Introducción

Los recursos hídricos en Canarias y la forma de obtenerlos son técnicas únicas, usadas desde hace más de un siglo, perfeccionadas hasta nuestros días y exportables a otros sistemas insulares volcánicos. El conocimiento profundo del medio insular y los factores técnicos y naturales que condicionan la captación y gestión de los recursos hídricos, arrojan un resultado de una optimización de los recursos frente a la escasez y eficiencia en la gestión de los mismos. En Canarias, los recursos hídricos principales han sido los provenientes del subsuelo aunque, en la actualidad los recursos no convencionales (desalación y reutilización de aguas) han

1. Introduction

The water resources in the Canary Islands and the methods of exploiting the same are unique to the islands. These methods have been perfected over the years and may readily be applied to other insular volcanic systems. A wide-ranging knowledge of the insular environment and the technical and natural factors that condition the collection and management of water resources, serve to optimise the same in times of scarcity and make water management more efficient. The main water resources in the Canary Islands have tended to be groundwater supplies though less conventional

tomado una mayor importancia principalmente en las islas orientales. Si bien las presas no han aportado un caudal importante, sí han tenido un destacado papel en la agricultura insular, principalmente en las islas de Gran Canaria, Gomera y en menor medida la isla de Tenerife, donde esta infraestructura es residual. En Fuerteventura no se puede hablar de "grandes presas" pero las infraestructuras utilizadas, como las pequeñas presas de materiales sueltos han tenido un papel muy importante en la dinamización de economía insular y al agricultura de aquella isla, utilizadas principalmente para aprovechar el poco caudal que fluye por los barrancos en la isla, llegándose a denominar charcas de tierra con tomadero de barranco.

2. Recursos hídricos superficiales en las Islas Canarias

La gran irregularidad de las precipitaciones en régimen torrencial y la escasa superficie de la cuenca aportadora, de cada uno de los cauces, combinadas con una geología singular, que favorece extraordinariamente, la infiltración, determinan un régimen en donde, excepto, con ocasión de grandes lluvias torrenciales, los barrancos están secos durante casi todo el año. En las islas Canarias no existen ríos, salvo algún que otro nacimiento como en la isla de La Palma, en el barranco de las Angustias.

La obtención de los recursos hídricos mediante infraestructuras superficiales, se hace especialmente difícil, salvo en casos puntuales como en la isla de Gran Canaria y en La Gomera. En el caso de la isla de Tenerife, existió un plan de construcción de balsas para captar los recursos, pero estos recursos se sobredimensionaron y las balsas construidas, han quedado como depósitos de excedentes de aguas de galerías principalmente con el fin de usarlas en la agricultura. En la Isla de Hierro prácticamente la escorrentía es muy escasa, por lo que su aprovechamiento de aguas superficiales, es nulo, de hecho en la isla los barrancos son prácticamente inexistentes. En el caso de la Isla de La Palma existen los aprovechamientos de los manantiales interiores de la Caldera de Taburiente, como el ya comentado, Las Angustias. En el caso de Fuerteventura el aprovechamiento de estos recursos se efectúa mediante, presas secas o charcas, *gavias*, *nateros*, *maretas* y *aljibes*.

resources (desalination and water reuse) have recently gained increasing importance, particularly in the eastern islands. While dams have not contributed important flows, they have played a leading role in agriculture in the islands, and particularly on the islands of Gran Canaria, Gomera and, to a lesser extent, the island of Tenerife, where this infrastructure is residual. While we cannot speak of "large dams" in Fuerteventura, the infrastructure employed and the small loose material dams that have been installed have played a very important role in catalysing the insular economy and agriculture on this island, these being primarily made to take advantage of the small flows running through the island's gullies and ravines and, to the extent, that these have been referred to as ravine-fed pools.

2. Surface water resources in the Canary Islands

The highly irregular rainfall with its torrential flow regime and the small surface area of the catchment basins, of each of these river beds, combined with a very particular geology highly susceptible to infiltration, produces a regime in which the islands' ravines and gullies remain dry throughout the majority of the year, except during periods of heavy rainfall. There are no rivers in the Canary Islands except for the odd headwater such as that on the Island of La Palma, in the Angustias ravine.

*The harnessing of water resources through surface infrastructures is particularly difficult, except in certain specific cases such as on the Island of Gran Canaria and on La Gomera. In the case of the island of Tenerife, plans were introduced to construct reservoirs to capture the resources, but these were over-calculated and the reservoirs that were built have remained as deposits of surplus waters from adits and largely allocated for agricultural purposes. On the island of Hierro there is very little runoff and this eliminates any possible harnessing of surface waters and, in fact, there are hardly any gorges to be found on the island. In the case of the island of La Palma recourse has been made to the interior springs of Caldera de Taburiente, such as that at Las Angustias mentioned above. In the case of Fuerteventura the harnessing of these resources is made by dry dams or pools, *gavia*, *nateros*, *maretas* (water harvesting systems) and cisterns.*

3. Evolución técnica e histórica de las grandes presas en Canarias

En las Islas Canarias se llegaron a construir más de 100 grandes presas de embalse entre 1900 y 1980. De todas ellas hay que destacar la presa bóveda de Soria (Gran Canaria), que con sus 132 metros de altura ocupa en España el puesto número doce en la relación de las de mayor altura. Ya en 1964 el Ingeniero de Vigilancia de Presas Manuel Alonso Franco recogía en un informe sobre el estado de las presas canarias que *el número de construcciones calificadas en la Instrucción como "grandes presas" era enorme dentro de Gran Canaria*. También en la pequeña isla de La Gomera, donde se construyeron más de 18 grandes presas, se puede observar la labor gigantesca de los canarios para poder conseguir captar y almacenar el "oro líquido", el agua. En Canarias *la tierra es lo de menos, lo importante es el agua*.

En Gran Canaria 65 grandes presas llegaron a superar los 15 metros de altura, aunque en la *gran isla de las presas* también existe un número muy elevado de proyectos que no llegaron a iniciar su ejecución. Muchas grandes presas se quedaron con una altura inferior a 15 metros. En la actualidad todavía se desconoce el número exacto de grandes presas en las islas de Gran Canaria y La Gomera.

La construcción de grandes presas en el archipiélago canario se inició antes de que se otorgasen las primeras concesiones en el año 1904 para las presas de San Lorenzo (Martinón) y Pinto (*la represa*), ambas en Gran Canaria. La necesidad de contar con mayores caudales de aguas con destino a riegos, hacía que la excavación de cimientos, los primeros metros del muro y algunas obras accesorias (tomaderos, canales, tuberías, etc.) se realizaran antes de recibir la autorización de la Jefatura de Obras Públicas de la Provincia de Canarias. Los primeros reconocimientos finales fueron los de las presas de Pinto (1910) en Gran Canaria y de los Cocos (1912) en La Gomera. El primer incidente ocurrió a principios de siglo durante la construcción del muro de la Presa de San Lorenzo. Una *grieta única y de fecha inmemorial*.

Si el proyecto de la Presa de San Lorenzo del Ingeniero de Caminos Juan León y Castillo ejerció una enorme influencia en los *presistas* de presas de fábrica pétreas hasta la década de los años 30, podemos asegurar entonces que la *represa* del Pinto fue la que marcó el camino a seguir por las otras heredades de aguas, las

3. Technical and historical development of large dams in the Canary Islands

In the Canary Islands over 100 large impounding dams were built between 1900 and 1980. Among these dams, pride of place goes to the Soria arch dam (Gran Canaria) which at 132 m high is the twelfth highest dam in Spain. Back in 1964 the Dam Surveillance Engineer Manuel Alonso Franco indicated in his report on the state of Canary Island dams that the number of constructions classified in their specifications as "large dams" was enormous within Gran Canaria. In the case of the small island of La Gomera, where over 18 large dams were built, it is similarly possible to appreciate the monumental efforts of the Canary Islanders to capture and store the "liquid gold" that is water. In the Canary Islands land is secondary while water is all important.

Even though Gran Canaria is home to some 65 large dams of over 15 metres high there have been a similarly high number of projects on this great island of dams that have never left the drawing board. Many large dams were left at heights of below 15 metres and even today we are still unaware of the exact number of large dams on the islands of Gran Canaria and La Gomera.

The construction of large dams on the Canarian archipelago started even before the first concessions were awarded in 1904 for the San Lorenzo (Mertiñon) and Pinto dams, both in Gran Canaria. The need to provide greater water flows for irrigational purposes, meant that the foundations, the first few metres of the wall and certain auxiliary works (inlets, canals, pipelines, etc.) were built before being authorised by the Head of Public Works for the Canary Island Province. The first dams to be officially completed were the Pinto dams (1910) in Gran Canaria and the Cocos dam (1912) in La Gomera. The first incident involving a dam occurred at the beginning of the century during the construction of the wall of the San Lorenzo dam, in what was referred to as a singular fissure dating back to time immemorial.

While the San Lorenzo Dam project, designed by the civil engineer Juan León y Castillo, held an enormous influence over the designers of rock-fill dams right up to the thirties, it may also be affirmed that the Pinto dam marked the way forward for other private water companies, irrigation associations or individuals, as this remained the largest hydraulic structure in the Canary Islands for many years. This engineering work has been successfully employed for over 100 years and its old limestone masonry wall and the masonry retaining walls



Fig. 1. La represa del Pinto (VP)/The Pinto dam (P).

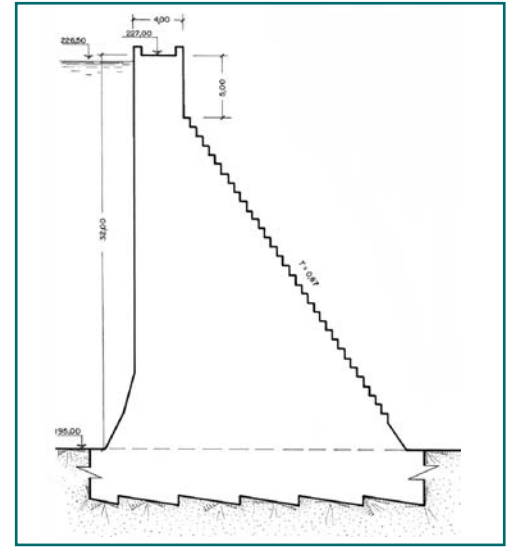


Fig. 2. Presa de la Marquesa. Perfil (VP)/The Marquesa Dam. Section (VP).

comunidades de regantes o los particulares, al ser la mayor obra hidráulica de las Islas Canarias durante muchos años. La explotación de esta obra de ingeniería ha sido un éxito durante más de 100 años, por eso mismo este viejo muro de mampostería de cal y todo el murete de mampostería hidráulica que recorre las márgenes del embalse forman una parte muy importante del patrimonio histórico de carácter hidráulico de Canarias.

En 1960, el Ingeniero de Caminos Fernando Ascanio y Montemayor recogió en un informe sobre la estabilidad de la Presa de Hermigua (La Gomera) sus impresiones acerca de las modalidades que se acusaban en la construcción de presas de embalse en las dos provincias canarias. Su descripción de las particularidades que ofrecía la construcción de grandes presas en tres etapas se debía a las magníficas cualidades de los terrenos de cimentación. Por lo tanto, en Canarias se había llegado a rebasar ciertos principios que en la Península se consideraban como básicos e intangibles.

3.1. Primera etapa de construcción: las presas antiguas de mampostería con mortero de cal

El cuerpo del muro de la vieja Presa del Pinto fue construido de mampostería con mortero de cal. La impermeabilidad del paramento de aguas arriba se consiguió con un simple enlucido de mortero de cal y cemento porque suprimía las grietas de retracción de fraguado. La represa del Pinto constituyó un resonante éxito que hizo que numerosas comunidades de regantes, heredades de aguas y particulares se decidieran a construir

forming the banks of the reservoir still remain as testimony to the history and heritage of waterworks in the Canary Islands.

In his report on the stability of the Hermigua Dam (La Gomera) issued in 1960, the civil engineer Fernando Ascanio y Montemayor described the prevalent traits in the construction of impoundment dams in the two Canarian provinces and indicated that the particular three-stage development in the construction of large dams was down to the magnificent qualities of the supporting ground. This had then led to a situation where the structures in the Canary Islands exceeded certain principles held as essential and intangible on the Spanish mainland.

3.1. First construction stage: early masonry dams laid in lime mortar

The body of the wall to the old Pinto Dam was built in masonry laid in lime mortar. The upstream face of wall was lined with a simple lime and cement mortar facing as this eliminated the shrinkage cracks caused during setting. The Pinto dam was a resounding success and led to the ensuing construction by numerous irrigation associations, private water companies and individuals of large impoundment dams at the headlands of banana plantations on the north coast of Gran Canaria (Marquesa, Hormiguero, Cardoso dams, etc.).

According to Alonso Franco, the Chief Engineer of Canary Island Division of the Public Waterworks Department (the former Central Water Commission), the

grandes presas de embalse en las cabeceras de las fincas de plataneras de la costa Norte de Gran Canaria (presas de la Marquesa, Hormiguero, Cardoso, etc.).

Según Alonso Franco, como Ingeniero Encargado de la zona de Canarias de la Dirección General de Obras Hidráulicas (antigua Comisaría Central de Aguas), las características generales de las presas antiguas de mampostería de cal en Canarias son la planta curva; la sección triangular con paramento agua arriba vertical y talud de agua abajo insuficiente para considerarla de gravedad pura; que muchas carecen de aliviadero y que hay una ausencia de drenaje de la fábrica, de galerías de visita y de desagüe de fondo; y que a pesar de que presentan una capacidad de embalse muy pequeño, tienen en general un gran número de tomas y una amplia galería transversal en su parte baja para la limpieza de sedimentos.

Dice el Ingeniero de Caminos Diego Saldaña Arce en su magnífica tesis *Presas de Mampostería en España*, (8) que en Canarias algunos elementos como el escalonado del paramento de aguas abajo, y el talud en la zona inferior del paramento de aguas arriba, recuerdan los criterios y procedimientos de cálculo propios del último tercio del siglo XIX.

Por lo que respecta a los vasos, en casi todas las presas antiguas es común observar revestimientos parciales con mortero de cal y cemento. En los proyectos antiguos las reseñas geológicas por parte de los *presistas* eran escasas, pero en Canarias *si el cauce era permeable se impermeabilizaba*. Entre las viejas presas del archipiélago destaca por sus magníficas obras de revestimiento la gran Presa de Casablanca (Gran Canaria). Parece que el primer informe geológico de un especialista para la construcción de una gran presa fue redactado por el Catedrático de Geología Lucas Fernández Navarro en 1927. Se le encargó con miras a la construcción de la Presa de Cuevas Blancas en la cumbre de Gran Canaria, cuyo proyecto inicial era de 1905. Respecto a la cumbre central de la isla de las presas, Fernández Navarro escribió entonces que *tenía una estructura en masa predominante; mala tal vez para buscar en ella aguas subterráneas, pero excelente para contener sobre ella la superficial*. Finalmente se construyeron dos grandes presas en lo alto de Gran Canaria. La Presa de los Hornos fue un éxito, Cuevas Blancas un fracaso, aunque la historia de su construcción es una de las más interesantes de toda Canarias (González J, 2011).

Posteriormente, el *Docteur en -sciences-* Jacques Bourcart elaboró en 1933 el primer informe geológico

general characteristics of the old lime mortar masonry dams in the Canary Islands were that of a curved wall, of triangular section with a vertical upstream face and sloping downstream face of insufficient angle to be considered a proper gravity dam; which frequently lacked a spillway and where there was no drainage of the dam wall, inspection galleries or bottom outlet; and which, in spite of having a very small reservoir capacity, generally tended to have a large number of intakes and a wide sluiceway at the bottom for the cleaning of sediment.

In his magnificent thesis on Masonry Dams in Spain, the civil engineer Diego Saldaña Arce indicated that in the Canary Islands (8), certain elements such as the benching of the downstream face and the bottom slope on the upstream face, were more worthy of the design criteria and procedures of the latter third of the 19th century.

With regards to the reservoirs themselves, in almost all the earlier dams it was common to observe partial lining with lime and cement mortar. In the earlier projects very few geological reports were made by the dam engineers or presistas as they were known, but in the Canary Islands if the bed was permeable then this would be waterproofed. Among these old dams on the archipelago, particular mention has to go to the magnificent lining work at the great Casablanca Dam (Gran Canaria). It would appear that the first geological report prepared by a specialist for the construction of a large dam was that written by the Professor of Geology Lucas Fernández Navarro in 1927. Navarro was entrusted with the preparation of this report prior to the construction of the Cuevas Blancas Dam in the highlands of Gran Canaria, this being a project initially dating back to 1905. Fernández Navarro wrote at the time with respect to the island's central highlands that these are arranged in the form of a predominant mass which while not ideal for holding groundwater, are excellent for retaining surface water. Two large dams were eventually built in highlands of Gran Canaria: Los Hornos Dam which was a success and the Cuevas Blancas Dam which was a failure, though the history of its construction is one of the most interesting of all those built on the Canary Islands (González J, 2011).

Several years later in 1933, the Docteur en sciences Jaques Bourcart prepared the first geological report of the highlands where the Soria arch dam was finally built. Bourcart's report was prepared for a 90 m high curved gravity dam. In spite of the precedent of these two early

de la cerrada donde finalmente se construyó la bóveda de Soria. Bourcart lo hizo para una presa de gravedad con planta curva de 90 metros de altura con cimientos. A pesar de estos dos informes antiguos, en las siguientes décadas muchos proyectos siguieron presentando reseñas geológicas exiguas.

Entre las impresiones aportadas por Ascanio y Montemayor sobre la construcción de presas en Canarias, destacan las tres razones fundamentales por las cuales no se habían registrado fracasos en unas presas que estaban construidas sin ajustarse a las condiciones exigidas por aquel entonces. La primera de las razones era que todas las presas antiguas habían sido cimentadas sobre potentes capas de basalto, traquita o fonolita, de gran compacidad, por lo que se evitaba así la subpresión que se presentaría en otros terrenos permeables. La segunda de las razones estaba en que la iniciativa privada no había acudido a contratistas con medios auxiliares suficientes para terminarlas rápidamente. La construcción de estas obras de artesanía pétreo, por el contrario, había sido lenta, lo que dio lugar a que el mortero de cal tuviera tiempo suficiente para endurecerse al contacto prolongado con el aire. Y por último, que la ejecución del enlucido con mortero mixto, de cal y cemento, y no de cemento solo, produjo en las presas antiguas una impermeabilidad completa y duradera del paramento de aguas arriba.

El incidente de la Presa de San Lorenzo en el año hidráulico de 1903 – 1904 ocurrió cuando el agua almacenada en un muro en construcción con 12 metros de altura puso al descubierto una grieta importante en el terreno: *única y de fecha inmemorial* según escribió el Ingeniero Jefe de Obras Públicas que autorizó la concesión en 1904.

El segundo incidente fue en marzo de 1988, cuando el agua volvió a poner al descubierto la vieja grieta natural. Parece que en el recrecimiento del muro primitivo en los años sesenta hasta los 28 metros no se tuvieron en cuenta los reconocimientos oculares practicados por los ingenieros de Obras Públicas de Las Palmas a principios del siglo XX. La grieta del terreno de principios de siglo pasó a ser en el Proyecto de Recrecimiento (1963) una mala cimentación de la presa primitiva (González J, 2009) (3).

Pero fue el 21 de febrero de 1934 cuando tuvo lugar en el término municipal de San Lorenzo (Gran Canaria) la rotura súbita de la Presa del Toscón, causando la muerte de 8 personas entre niños y adultos. Las aguas discurrieron violentamente por el barranco destruyendo

reports, very little geological information was to accompany the projects conducted over the following decades.

When describing the construction of dams in the Canary Island, Ascanio y Montemayor underlined the three essential reasons why the dams had not failed in spite of being built in disregard of the specifications required at the time. The first of these reasons was that all the early dams had been built on solid and highly compact layers of basalt, trachyte or phonolite, which prevented the uplift found with other more permeable grounds. The second reason lay in the fact that these had been built by private means and without being able to resort to contractors with the sufficient auxiliary means to complete these rapidly. This meant that these handbuilt masonry works were, instead, built slowly and gave the lime mortar sufficient time to harden following prolonged exposure to air. And, thirdly, the use of combined lime and cement mortar, instead of just cement mortar, gave the upstream walls of these early dams a completely waterproof and long-lasting lining.

The incident at the San Lorenzo Dam in the 1904-104 hydrological year occurred on the filling of the reservoir up to the 12 m height of the dam wall, still under construction, and when the water revealed the presence of a serious fissure in the ground: this being described by the Chief Public Works Engineer authorising the work in 1904 as a singular fissure dating from time immemorial.

The second incident occurred in March 1988, when the water once again revealed this old natural fissure. It would appear that the work conducted in the 60's to heighten the early wall up to its eventual 28 metres, did not take into account the visual surveys made by Public Works Engineers from Las Palmas at the beginning of the century. In the Dam Heightening Project (1963) the crack in the ground discovered at the beginning of the century was then seen as a problem that affected the foundations of the earlier dam (González J, 2009) (3).

In a separate incident on 21 February 1934, the sudden failure of theToscón Dam in the municipal district of San Lorenzo (Gran Canaria) caused the death of eight people including several children. The waters raced through the ravine, completely destroying the La Hoya bridge on the Las Palmas to Villa de Teror road, as well as several farm houses and banana plantations. The tragedy was referred to at the time as the terrible Catástrofe del Toscón.

por completo el Puente de La Hoya, de la carretera que desde Las Palmas conduce a la Villa de Teror, varias casas de mayordomos y algunas fincas de plataneiras. Esta tragedia se la denominó entonces como la terrible *Catástrofe del Tascón*.

Los restos del muro, material que se halla a nuestro servicio, también forman parte de los bienes patrimoniales hidráulicos de Canarias. Dice Saldaña Arce que de la foto del perfil del muro, donde se aprecia un murete de coronación en el paramento de aguas arriba, se pueden extraer algunas conclusiones interesantes. Según el Diario Republicano Federal fue *una catástrofe provocada por la codicia de quienes miden sus ingresos para el placer por el módulo que señala la entrada de agua en sus represas. Oro líquido*.

3.2. Segunda etapa de construcción: las presas con mortero mixto de cal y cemento

La segunda etapa de construcción de grandes presas de embalse en Canarias surge cuando se comienza a emplear en el cuerpo de los muros de presa el mortero mixto de cal y cemento. La dificultad de adquirir el cemento necesario y la circunstancia de ser las cales de excelente calidad, fue lo que motivó que se empleara este aglomerante con carácter preferente. La Presa de los Pérez en Gran Canaria, con mortero mixto hasta los 30 metros de altura y mortero de cal hasta coronación, fue por algunos años la más alta de las islas (45 metros sobre cauce).

Uno de los *presistas* más importantes en Canarias, el Ingeniero de Caminos Julio Alonso Urquijo, explicaba en las memorias de los Proyectos que *el empleo del mortero mixto era para acelerar el fraguado de los morteros de cal en muros de gran espesor, además del aumento de resistencia*. También escribió que *adoptaba el perfil ordinariamente usado de presa de gravedad, que debe resistir por su propio peso, exclusivamente, al empuje del agua. Pero que con tal base de cálculo era indiferente que los muros afecten en planta forma recta o curva, pero que siguiendo la práctica más autorizada prefería proyectarlos en arco circular, con lo que se obtenía además un factor más de seguridad*. Esto explica por qué hay un número muy elevado de presas con planta curva en Canarias, especialmente en Gran Canaria. Sólo algunas viejas presas de mampostería fueron construidas con planta recta, aunque habían sido previamente diseñadas con planta curva (p.e., Cuevas de las Niñas) (González J, 2008) (2).

The remains of the dam wall continue as testimony to the tragedy and as part of the heritage of water works in the Canary Islands. Saldaña Arce has mentioned that several interesting conclusions may be gained from the photograph of the profile of the wall, and where it is possible to observe the top of the wall on the upstream face. According to the newspaper the Diario Republicano Federal this was a catastrophe caused by the greed of those who count their income at the rate at which water enters their dams. Liquid gold.

3.2. Second construction stage: dams with lime-cement mortar

The second stage in the construction of large impoundment dams in the Canary Islands came about with the introduction of lime-cement mix mortars in the body of the dam walls. The difficulty in obtaining the required cement and the excellent qualities of the lime served as the main impulse for the preferential use of this mix. The Pérez Dam in Gran Canaria which used mixed mortar up to a height of 30 metres and lime mortar up to the top of the dam, was for many years the highest dam on the islands (45 metres over the bed).

One of the most important presistas or dam engineers in the Canary Island, the civil engineer Julio Alonso Urquijo, explained in the Project reports that mixed mortar was used to accelerate the setting of the lime mortars in very thick walls, as well as for increasing strength. He also wrote that the dams adopted the profile normally used in gravity dams, which had to resist the thrust of water purely by their own weight. On this calculation basis it was immaterial whether the walls were curved or straight in plan, though in accordance with more generalised practice they preferred to design these as a curved arch, which also gave an added safety factor. This explains why there are a very high number of curved dams in the Canary Islands and particularly on Gran Canaria. Only a small number of the earlier masonry dams were built as straight dams, though this after having been initially designed as curved dams (e.g. Cuevas de las Niñas) (González J, 2008) (2).

Following the construction of the small Rajones Dam in 1942 by way of prototype, work began the following year to build a dam wall at the top of the Tamadaba massif, composed of a rockfill type section with masonry facing and gaged mortar rendering. Construction was halted on the Tamadaba dam in 1954 when it was just one metre from its top. This 163 m long and 6 m crafted

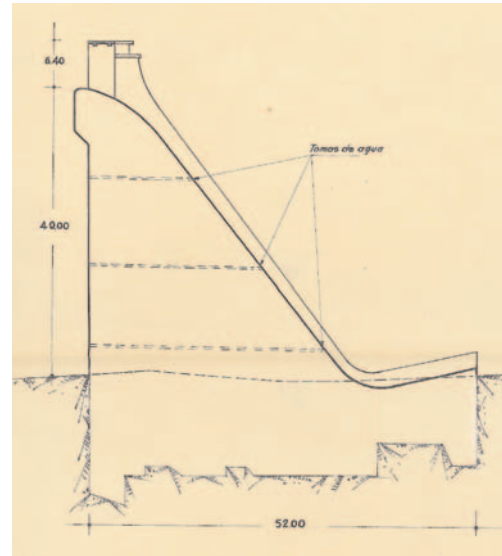


Fig. 3. Vista y perfil de la Presa del Caidero de la Niña (VP)/ Photograph and section of the Caidero de la Niña Dam (VP).

Tras la construcción de la pequeña Presa de los Rajorones en 1942 a modo de ensayo, comenzó en 1943 a construirse en lo alto del macizo de Tamadaba un muro de presa con arreglo al perfil tipo de presa de escollera a piedra prendida en el cuerpo de la misma y una pantalla de impermeabilización de mampostería hidráulica y enlucido con mortero bastardo. La Presa de Tamadaba dejó de construirse en 1954 a falta de un metro para su enrase. Esta presa tiene 17,70 metros de altura sobre cauce, 19,70 sobre cimientos y 163 metros de longitud de coronación por 6 de ancho. Un macizo de artesanía pétreo (González J, 2009) (4).

En 1950, los Ingenieros de Caminos José María Valdés y Díaz Caneja, José Luis Fernández Casado y Manuel Lorenzo Blanc, como vocales de la Asesoría Geológica de Obras Públicas, realizaron una visita a Gran Canaria de cara a la construcción de la Presa del Caidero de la Niña en el barranco más importante, con gran diferencia, de todas las Islas Canarias. Esta visita al Barranco de la Aldea se realizó para dictaminar acerca de las condiciones del terreno donde se iba a construir una presa de embalse que iba a convertirse en un ejemplo bien claro de los beneficios indirectos y cuantiosos que producía en un país una obra bien concebida de aprovechamiento hidráulico. Con la construcción de la presa no sólo se pretendía extender notablemente las tierras de cultivo y mejorar las comunicaciones de la Aldea de San Nicolás con el exterior, mediante la construcción posterior de un "puertito" o el "acondicionamiento o sustitución de la pista del Andén Verde", sino las del efectivo saneamiento del pueblo al regular y atenuar las avenidas impetuosas del barranco. La situación sanitaria era verdadera-

masonry dam stands 17.70 metres high above the bed and 19.70 m over foundations (González J, 2009) (4).

In 1950, the civil engineers José María Valdés y Díaz Caneja, José Luis Fernández Casado and Manuel Lorenzo Blanc, in their capacity as members of the Public Works Geological Advisory Committee, made a visit to Gran Canaria prior to the construction of the Caidero de la Niña dam in the largest ravine to be found in all the Canary Islands. This visit to the Barranco de la Aldea was carried out to establish the soil conditions at the site of the new impoundment dam and one which was to become a clear example of the indirect and abundant benefits that could be brought about by a well designed water development work. The construction of the dam was not only made with the aim of considerably extending the farmlands and improving communications between La Aldea de San Nicolas and outer lying areas, by means of the subsequent construction of a mountain pass or the "renovation or replacement of the Andén Verde pass", but also to provide effective drainage and protection to the town by regulating and mitigating the sudden stormwaters that would race down the ravine. The sanitary situation in the area was truly lamentable as the ponded water in the ravine was frequently the cause of malaria and the spreading of typhoid and the infant mortality rate in the area was as high as 40%.

In 1964 the engineer Manuel Alonso Franco indicated that the Caidero de la Niña Dam steered away from the traditional construction of dams in the Canary Islands and responded to a more modern concept. This dam was built in mass concrete with a

mente lamentable debido a que las charcas del barranco eran la causa de un paludismo endémico y la propagación de las infecciones tíficas. La mortalidad infantil alcanzaba la proporción del 40 por 100.

En 1964 el Ingeniero Manuel Alonso Franco destacó que la Presa del Caidero de la Niña se apartaba de la construcción clásica de presas en Canarias porque respondía a una concepción más moderna. Así, su fábrica era de hormigón en masa con aglomerante de cemento Portland (hormigón mamposteadado), tenía juntas transversales de contracción y tres galerías longitudinales de visita e inspección. Su aliviadero de labio fijo tiene tres vanos y está situado en el centro de la presa, dotado de trampolín de lanzamiento. Esta gran presa es de tipo gravedad de planta recta y altura sobre cauce de 46,40 metros.

En un informe con fecha de 1962, sobre un proyecto de tres presas escalonadas para el almacenamiento de las aguas procedentes del Túnel de Tejeda (Gran Canaria), el Ingeniero José Luis Fernández Casado desconfiaba del hormigón ciclópeo porque repetidas veces había visto como se convertía en una mala mampostería hormigonada que casi podía calificarse de mampostería en seco.

Entre 1902 y 1961 se habían construido en Gran Canaria 41 grandes presas de mampostería. La responsable principal de este elevado número de grandes presas era la platanera, la gran consumidora de agua. En segundo lugar quedaba el abastecimiento de la ciudad de Las Palmas y del Puerto de la Luz. Ahora bien, el número de grandes presas construidas en Gran Canaria en sólo 60 años, en apenas 1.558 km², adquiere más importancia cuando lo unimos al número de estanques (unos 5.000), pozos (unos 800 con 78 km de perforación), galerías (unas 420 con 140 km), de canales o túneles de transvase (153 km) y de tuberías de distribución (534 km). Numerosas empresas hidráulicas que dicen mucho a favor de la laboriosidad insular, especialmente de la iniciativa privada.

En la década de los sesenta no sólo se terminaron muchas presas de mampostería con mortero bastardo (cal y cemento) cuyas obras se habían iniciado en las décadas anteriores, sino que se comenzó en 1962 la construcción de la presa bóveda de Soria (hormigón) y se construyeron algunas presas de mampostería empleando únicamente mortero de cemento, pantalla de hormigón y conductos de drenaje. Había una gran tradición en las islas en la construcción de presas de mampostería, especialmente en Gran Canaria.

Portland cement binder (formed concrete blockwork) and included transverse contraction joints and three longitudinal inspection and service galleries. The dam was fitted with a uncontrolled ski-jump type spillway arranged in three-spans at the centre of the wall. This large dam is a straight, gravity type dam with a height of 46.40 metres over the river bed.

In a report dating to 1962 on the project for three stepped dams for the storage of waters from the Tejeda Tunnel (Gran Canaria), the engineer José Luis Fernández Casado distrusted the use of cyclopean concrete as he had repeatedly seen this become poorly concreted masonry that could almost be classified as dry-stone walling.

Some 41 large masonry dams were built between 1902 and 1961 in Gran Canaria and the main reason for this high number of large dams was down to the huge demands for water posed by the banana production on the island. The second most significant reason was the water supply to the city of Las Palmas and the Puerto de la Luz. However, the number of large dams built in Gran Canaria in barely 60 years within an area of just 1,558 km², takes on even further importance when we consider the number of reservoirs (some 5,000), wells (some 800 with a total bore of 78 km), adits (some 420 totalling 140 km), transfer canals and tunnels (153 km) and distribution pipelines (534 km). Numerous waterworks that say much in favour of the islands' industry and particularly with respect to private enterprise.

In the sixties, in addition to completing many masonry dams with gaged mortar (lime and cement) which had been started in earlier decades, work was also begun in 1962 on the Soria arch dam (concrete) and several other dams were constructed in masonry using purely cement mortar, concrete face slabs and drainage channels, this in keeping with the long-standing tradition of masonry dam construction in the islands, and particularly Gran Canaria.

By 1964, seven large dams had been built by private enterprise in La Gomera and a further seven more by public Water Services. The earlier private dams were built as limestone masonry curved dams, while the more modern structures were straight and built in masonry with cement mortar, though all of these were built without drainage in the body of the dam or at the foundations. According to reports made by the Dam Surveillance Department in 1964, in all of the masonry dams in the Canary Islands the density of the walls are assumed to have a relatively low density and we do not consider it

Hacia 1964 en La Gomera se habían construido 7 grandes presas antiguas por los particulares y 7 presas por parte de los Servicios Hidráulicos. Las presas privadas con planta curva y mampostería de cal, las más modernas con planta recta y mampostería con mortero de cemento. Todas sin drenaje en su cuerpo y cimentación. Según los informes de 1964 de la Sección de Vigilancia de Presas, en todas las presas de mampostería en Canarias *es de presumir que la densidad de sus fábricas tiene un valor relativamente bajo. No creemos que sea una exageración pensar que muchas de estas fábricas tienen densidades que pueden oscilar desde 2,10 a 2,25 Tn/m².*

El estudio realizado posteriormente por el Ingeniero José Sáenz de Oiza sobre el estado de la Presa de las Cuevas de las Niñas dio como resultado una densidad muy baja de la fábrica, inferior a 2,0 Tn/m² y próxima a 1,8 Tn/m². Un modelo a escala real para el estudio teórico de la estabilidad de otras presas del Archipiélago Canario (González J, 2009) (5).

El Ingeniero de Caminos Fernando Sáenz Ridruejo dice que a raíz de los informes de 1964, en que Alonso Franco revisó sus condiciones de seguridad, todas esas presas entraron en un camino de racionalidad (Sáenz F, 2010) (7). Efectivamente, el primer juicio crítico de la estabilidad de las grandes presas de mampostería construidas en Canarias, por parte de los maestros de presas Fernández Casado y Alonso Franco, influyó mucho en el desarrollo de algunos proyectos de grandes presas, así como en la construcción posterior de las presas de hormigón mamposteado con paramentos acabados en hormigón (Parralillo, Gambuesa o Fataga por parte del Cabildo Insular de Gran Canaria). Pero fue más determinante para los recrecidos con fábrica de mampostería en presas antiguas, por la ayuda que el Estado concedía a los propietarios. Un buen ejemplo lo constituyen los recrecimientos de las presas de San Lorenzo o la Umbría, ambas en Gran Canaria.

A tenor de los proyectos y obras de recrecimiento en algunos muros de embalse, y por la ausencia de galerías de visita, de drenaje de la fábrica y de desagüe de fondo en las presas construidas con mortero de cal o bastardo con mampuestos con una densidad reducida, los Ingenieros en Madrid plantearon en 1966 que la Administración debía de sentirse preocupada por la seguridad de todas las construcciones con fábricas de mampostería, especialmente en Gran Canaria y La Gomera por el número elevado de presas que entraban en la clasificación de Grandes Presas. La solución general pro-

too exaggerated to state that many of these could have densities ranging between 2.10 and 2.25 Tn/m².

The later study made by the engineer José Sáenz de Oiza on the state of the Cuevas de las Niñas Dam revealed a very low wall density of less than 2.0 Tn/m² and close to 1.8 Tn/m². This serving as a model on real scale for the theoretical study of the stability of other dams in the archipelago (González J, 2009) (5).

The civil engineer Fernando Sáenz Ridruejo indicated that following the reports made in 1964 in which Alonso Franco reviewed the safety conditions, all of these dams came within the scope of rationality (Sáenz F, 2010) (7). In this respect, the first critical appraisal of the stability of the large masonry dams built in the Canary Islands, by the dam engineers Fernández Casado and Alonso Franco, had a great influence in the development of many large dam projects and in the ensuing construction of concrete-masonry dams with concrete facings (Parralillo, Gambuesa or Fataga by the Island Council of Gran Canaria). However, this was even more decisive for the masonry heightenings of earlier dams, on account of the subsidies granted by the State to the owners. A good example of this being seen in the heightening of the San Lorenzo or Umbría dams, both in Gran Canaria.

In 1966 and in the light of these projects and heightening works to certain reservoir walls, and on account of the absence of service galleries, wall draining and bottom draining in dams built with lime or gaged mortar in masonry of low density, the Madrid engineers reported that the authorities should show some concern for the safety of all the masonry type constructions, particularly in Gran Canaria and La Gomera on account of the high number of dams that came within the category of Large Dams. The general solution proposed at the time by the Dam Surveillance Department was that the State should guarantee the structural soundness of these dams and bear the cost of all necessary monitoring and reinforcement work of those dams where their owners lacked the resources and technical personnel to do so.

3.3. Third construction stage: modern dams

In 1972 work was completed on the great Soria Dam (1959), a double curve arch dam rising 132 metres above its foundations. It was through private enterprise that this, the only arch dam in the Canary

puesta entonces por Vigilancia de Presas fue la de que el Estado debía hacerse cargo de su garantía estructural, corriendo a cargo de los gastos de auscultación y refuerzo necesario en aquellas obras cuya propiedad careciera de recursos y de personal técnico idóneo.

3.3. Tercera etapa de construcción: las presas modernas

En 1972 finalizaba la construcción de la *magna* Presa de Soria (1959), una cúpula de doble curvatura de 132 metros sobre cimientos. Fue la iniciativa privada la que logró construir la única presa bóveda de Canarias, en una cerrada donde el Cabildo Insular de Gran Canaria había proyectado con anterioridad una presa de gravedad con planta curva de 90 metros de altura con cimientos (1930) y una presa bóveda de hormigón hidráulico de pared delgada de 70 metros de altura con cimientos (1935) (González J, 2010) (6).

Hubo un proyecto del Ingeniero de Caminos Saturnino Alonso Vega para construir otra presa bóveda en Gran Canaria, en una cerrada del Barranco de Siberio (1968). La altura sobre cimientos era de 78,50 metros, mientras que la coronación tenía una longitud de 190 metros con un ancho de 5. Su volumen de embalse era de 4.800.000 m³. En 1972 la bóveda gruesa fue adjudicada a la empresa Dragados y Construcciones, cuyo delegado en Canarias era el Ingeniero de Caminos Emilio Benítez Pascual, pero finalmente se elaboró un proyecto reformado en 1973 que definía una solución de presa de escollera con pantalla asfáltica en el paramento de aguas arriba y trasladaba la cerrada inicial unos 300 metros aguas abajo. Finalizada en 1978, su puesta en carga ocurrió de forma súbita durante el *temporal extraordinario* del mes de enero de 1979. La tradición oral recoge que la presa de mampostería seca de Tamadaba se vació tras su primera puesta en carga. A la Presa de Siberio le ocurrió lo mismo en 1979, tras la rotura inicial del plinto por su escaso dimensionamiento y su mal empotramiento. La estructura fue reparada mediante actuaciones que se prolongaron hasta 1984.

También se construyeron durante la tercera etapa algunas presas de hormigón, como la Encantadora en La Gomera (gravedad) o la de Ariñez en Gran Canaria (contrafuertes), aunque por aquellos años Vigilancia de Presas puso más empeño en el diseño y construcción de presas de materiales sueltos. Dice Alonso Franco que en Canarias se les *negaba su oportunidad bajo la creencia de que el talud de su paramento mojado resta-*

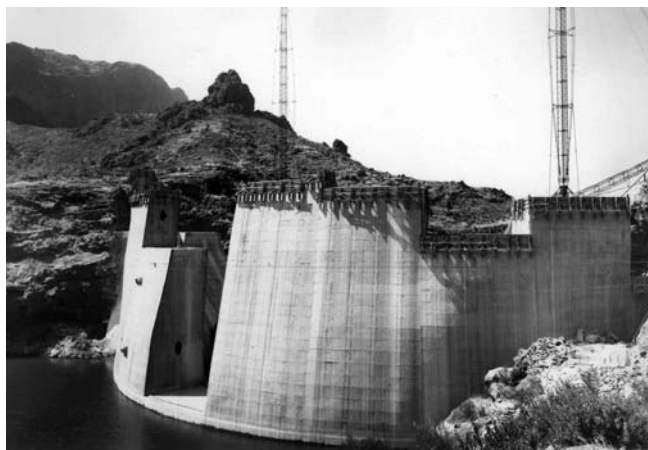
Islands, was built at the narrows where the Council of Gran Canaria had previously considered the construction of an 90 metre high curved gravity dam (1930) and later a thin concrete walled arch dam 70 metres high over foundations (1935) (González J, 2010) (6).

A further project had been forwarded by the civil engineer Saturnino Alonso Vega to build another arch dam in Gran Canaria, at the narrows of the Barranco de Siberio (1968). The height of this dam over foundations was to be 78.50 metres and it was to have a crest length of 190 metres, a width of 5 metres and a reservoir capacity of 4,800,000 m³. In 1972 the construction of the traditional arch dam was awarded to the company Dragados y Construcciones, whose delegate in the Canary Islands was the civil engineer Emilio Benítez Pascual, but the design was subsequently modified in 1973 to that of a rockfill dam with an asphalt concrete facing on the upstream face and the original location was moved some 300 metres downstream of the narrows. Completed in 1978, the dam was subject to full and sudden loading in the extraordinary storms that occurred in January 1979. Tradition has it that the dry masonry dam of Tamadaba emptied after its first full water loading and much the same happened with the Siberio Dam in 1979, after the initial failure of the plinth due to insufficient sizing and poor anchorage. The structure was repaired in a series of works that continued until 1984.

A series of concrete dams were built during this third stage, such as the Encantadora Dam in La Gomera (gravity dam) or the Ariñez Dam in Gran Canaria (buttress dam), though in these years the Dam Surveillance Department placed more emphasis on the design and construction of loose material dams. Alonso Franco stated that in the Canary Islands an opportunity was lost in the belief that the slope of the wetted face of the dam encroached upon the already restricted capacity of the reservoirs. This further reinforcing the principle indicated earlier on that in the Canary Islands land takes second place to water.

The majority of the large loose material dams built in the Canary Islands are in the form of rockfill dams with a curtain on the upstream face. This is the case of the Amalahugue and Mulagua Dams built on the island of La Gomera by the Island Council. In the case of Gran Canaria a rockfill dam with central core was

Fig. 4.
Construcción de
la bóveda
(Servicio
Hidráulico) y
Presa de Soria
(González, J.)/
Construction
of the arch
(Servicio
Hidraulico) and
Soria Dam
(González, J.).



ba capacidad a la ya exigua de sus vasos. Ya dijimos al principio que en Canarias *la tierra es lo de menos, lo importante es el agua.*

La mayoría de las grandes presas de materiales sueltos construidas en Canarias es una escollera con una pantalla en el paramento de aguas arriba. Así, en la isla de La Gomera se construyeron las presas de Amalahuique y Mulagua, ambas del Cabildo Insular. Pero en Gran Canaria se construyó en la embocadura de la Caldera de Tirajana una escollera con núcleo central. Los proyectos primitivos para construir una gran presa en la cerrada del Barranco de Tirajana habían sido de gravedad.

En el magnífico artículo *Utilización de materiales pliocuaternarios en presas de materiales sueltos* (1976), los Ingenieros Gómez Laa, Alonso Franco y Romero Hernández resaltaron que *Tirajana es una presa de escollera que aprovecha la plana aluvial para espaldones y un coluvión arcilloso procedente de los basaltos, para la impermeabilización.* En uno de los libros de Ingeniero José Luis Fernández Casado se puede leer lo siguiente: *éxito (hay pocos comentarios) observar que el núcleo es central, TIRAJANA.*

Dice el antiguo Catálogo Oficial de las presas de embalse con altura superior a los 15 metros del Ministerio de Obras Públicas (1962), que *España es uno de los países con más antigua tradición en obras de presas.* También dice que de las 283 grandes presas en explotación a finales de 1961, 48 han sido catalogadas en las Islas Canarias, *cifra ésta más que suficiente para calibrar la importancia de las obras realizadas en esa parte de la España Insular.*

Al observar la relación de las 48 presas construidas en Canarias entre los años 1902 y 1962, a la que habría que sumarle las presas del Hormiguero, por omisión, y la del Toscón por su rotura en 1934, recordamos en segui-

built at the mouth of the Caldera de Tirajana, though earlier designs for a large dam at the narrows of the Barranco de Tirajana had considered the construction of a gravity dam.

In their magnificent article Use of pliocuaternary materials in loose fill dams (1976), the engineers Gómez Laa, Alonso Franco and Romero Hernández underlined that Tirajana is a rockfill dam that takes advantage of the alluvial plane for its berms and a clay colluvium derived from basalt for the waterproofing. In one of his books, the engineer José Luis Fernández Casado states: it is satisfying to note (though not many comments have been made in this respect) the central core of the TIRJANA.

The Ministry of Public Work's Official Catalogue of impoundment dams higher than 15 metres (published in 1962) stated that Spain is one of the countries with the longest tradition in dam works. It also states that of the 283 large dams in operation at the end of 1961, 48 of these had been catalogued in the Canary Islands, this figure being more than sufficient to show the importance of the works carried out on these Spanish islands.

On noting the list of 48 dams built in the Canary Islands between 1902 and 1962, and to which we have to add the Hormiguero dam, omitted from the list, and the Toscon dam which failed in 1934, we may then recall the words of Joaquín Amigo, written in 1953: when passing along our roads and observing these cultivated fields the traveller should pause to consider the effort required to obtain the water to irrigate these fields and that the indolence often attributed to the Canarian people is no more than a myth invented by those who do not know us, though one that we, modestly, exploit.

rancos con motivo de las lluvias, en algunas ocasiones se recurrió a impermeabilizar el vaso del embalse, en terrenos con baja permeabilidad mediante morteros de cal y cemento, el coste de esta actuación muchas veces no era justificable para el rendimiento obtenido, no obstante en aquella época no existía la posibilidad de la desalación de aguas de mar, que existe actualmente por lo que en muchas ocasiones no quedaba más remedio que recurrir a estas actuaciones tan antieconómicas.

En relación a los recursos hídricos superficiales, el problema fundamental detectado, fue la falta de datos y series pluviométricas así como de parámetros hidrológicos que pudieran haber dado más consistencia a las planificaciones hidrológicas de las islas, con el fin de evitar errores como la sobreestimación de la escorrentía en algunas islas, como fue el caso de Tenerife.

Los barrancos volcánicos, se pueden asemejar a las cuencas hidrográficas continentales y como vías de drenaje rápido de las lluvias acontecidas en las islas, si bien en el caso insular, debido a las pendientes que son mayores que en los casos continentales, los barrancos transportan mayor cantidad de sólidos y a una mayor velocidad (del orden de 10 m/s), lo que supone un problema de suma importancia para la conservación de las infraestructuras y obras superficiales. Hay una mayor presencia de acarreo que en los tramos finales, pueden llegar a ser de más de 100 m, lo que supone un problema técnico para la concepción de la presa en el sentido de la ejecución de la cimentación o la estabilidad de los pozos, para la captación de los flujos subálveos.

Otra cuestión importante es la calidad del agua embalsada, el material geológico del que están compuestos los barrancos, así como el de las cuencas vertientes que condicionan de sobremanera la calidad de las aguas que transportan, así serán más salinas cuanto más nos acerquemos a las islas orientales como es el caso de la isla de Fuerteventura. Esto habrá que tenerlo en cuenta a la hora de planificar un embalse, por el uso que se vaya a dar al agua embalsada. Este uso nunca va a ser abastecimiento urbano quedando limitado en las islas Canarias a usos agrícolas principalmente. Otro aspecto es la eutrofización del agua almacenada, este hecho se evidencia por el extenso tiempo de residencia del agua en esta tipología de embalses y por carecer de una caudal constante aguas arriba.

Las avenidas son los riesgos más importantes que se pueden presentar en los barrancos, debido al régimen torrencial de lluvias y a la ocupación de los barrancos por edificaciones o infraestructuras, reduciendo las sec-

information or hydrological parameters that could have given more consistency to water planning on the islands, and in order to avoid the over-estimation of the runoff in certain islands as in the case of Tenerife.

Volcanic ravines may be likened to continental hydrographic basins and as rapid drainage basins of the rains falling in the islands, though in the particular case of the Canary Islands and on account of the slopes that tended to be greater than those of continental basins, the ravines would carry a greater amount of solids and at greater speed (around 10 m/s), which then posed a very serious problem for the conservation of the infrastructures and the surface works. There is a greater presence of bed load movement and in the final stretches this may extend to over 100 m, which poses a technical problem for the design of the dam with respect to the foundations or the stability of the wells to collect subsurface flows.

Another important question is the quality of the impounded water and here the geological material forming the ravines and that of the drainage basin considerably conditions the quality of the water carried though the same and where these become more saline the closer we approach the eastern isles, as is the case of the island of Fuerteventura. This has to be taken into account when planning the reservoir and in accordance with the use allocated for the impounded water. These waters were never destined primarily for urban water supplies and were largely allocated for agricultural use in the Canary Islands. A further aspect is the eutrophication of the stored water, this being evidenced by the long residence time of the water in this type of reservoirs and due to the lack of a constant flow of upstream water.

Freshets are the most important risk posed by the ravines, due to the torrential nature of the rainfall and the blockage posed by buildings and infrastructures in the ravines that reduce the drainage area, particularly in areas closer to the coast.

The large reservoirs of hundreds of cubic hectometres that are commonly seen on the mainland, do not tend to appear in volcanic island terrains and there are currently no locations that could be economically viable or geographically possible on the archipelago for these types of works. Some authors have gone so far as to indicate that in these types of volcanic terrains, the viability and functionality of this type of reservoir is highly debatable on account of the lack of suitable land and the low yield of the same as, in parallel

ciones de evacuación, principalmente en las zonas más cercanas a la costa.

En general los grandes embalses de cientos de hectómetros cúbicos que se ven en un terreno continental, no tienen cabida en terrenos insulares volcánicos, actualmente para la construcción de embalses, no hay localizaciones viables económicamente ni competentes, geológicamente hablando, en el archipiélago, para ejecutar este tipo de obras, incluso varios autores, apuntan que en este tipo de terrenos volcánicos, la viabilidad y funcionalidad de las mismas está muy discutida, básicamente por la falta de terrenos adecuados y el poco rendimiento de las mismas ya que, a igualdad de material constructivo, con una presa en terreno continental se obtiene mayores volúmenes de agua, cuando en el territorio volcánico se habla de casi uno o dos hectómetros como mucho, además las presas en terrenos volcánicos no tienen un río o un flujo continuo de agua que vaya regenerando los caudales.

Conviene decir que, existe una compatibilidad de la ejecución de las hidrotecnias superficiales de retención de sedimentos, con las grandes obras hidráulicas debido a la capacidad de aquellas de disminuir el efecto de la erosión y el transporte de materiales, incrementando así la vida útil de las presas, esta técnica ha sido profusamente utilizada en Gran Canaria.

En general, a modo de resumen, las presas Canarias presentan las siguientes tipologías y características técnicas;

- Existe un número muy elevado de presas clasificadas como grandes presas.
- En general son de gravedad.
- Fábricas de mampostería con mortero de cal o bastardo y áridos volcánicos
- Plantas curvas en su mayoría, existiendo de planta recta.
- Volumen embalsado medio 0,150 a 0,5 hm³, *sobrepasando raramente el millón de m³ cúbicos.*
- Alturas de presa de 15 a 40 m excepto de la Presa de Soria en Gran Canaria (132 m).
- No suelen tener aliviadero o bien este es un pequeño túnel a lo largo de la formación geológica o un pequeño orificio en el cuerpo de la presa, en caso de tener aliviadero este es lateral de labio fijo y con canal de descarga.
- Ancho de coronación de 3 a 5 m.
- Longitud de coronación de unos 100 m de media.
- En general las presas son de propiedad privada.



Fig. 6. Presa de los Campitos en Tenerife, nunca ha embalsado agua (Santamarta J.C.)/ The Campitos Dam in Tenerife has never stored water (Santamarta J.C.).

to the construction material, in a dam on continental terrain it is possible to obtain greater volumes of water, while in volcanic territory one may speak of around one or two hectometres at most and, furthermore, these dams in volcanic areas do not have a river or a constant source of water to regenerate the flows.

It should also be mentioned that the construction of sediment retention structures is highly compatible with that of large water works due to the capacity of these structures to reduce the effects of erosion and the transport of materials, thereby increasing the working life of the dams. This technique has been widely employed throughout Gran Canaria.

By way of summary, the dams in the Canary Islands may generally be said to have the following technical characteristics and classifications:

- *The presence of a very high number of dams classified as large dams.*
- *Mainly gravity-type dams*
- *Masonry structures with lime or gaged mortar and volcanic aggregates.*
- *Generally curved dams, with the occasional straight dam.*
- *Average reservoir levels of 0.150 to 0.5 hm³, rarely exceeding a million cubic metres.*
- *Dam heights of 15 to 40 metres with the exception of the Soria Dam in Gran Canaria (132 m).*
- *Not usually equipped with a spillway or where this takes the form of a small tunnel through the geological formation or a small opening in the body of the dam. Where spillways are installed these are lateral and uncontrolled and with a tailwater channel.*

Las presas que se han ejecutado mediante mampostería han presentado una ventaja a nivel constructivo con respecto a las construidas mediante hormigón, el hecho de no presentar juntas de dilatación, esto ha hecho que estas presas hayan sido de ejecución más lenta, pero con la ventaja de no aparezcan grietas y aprovechar la bonanza del clima canario para poder trabajar con constancia en invierno y verano.

Las presas en Canarias tienen una relativa vida útil reducida, debido a un régimen torrencial de lluvias que transportan un caudal de sólidos importante, sobre todo cuando esos caudales, que proceden de barrancos que no están recubiertos de una masa forestal. En las presas Canarias, los aspectos ambientales, como fauna, caudales ecológicos no son importantes como el caso continental, lo mismo para escalas salmoneras etc., no existe prácticamente especies piscícolas a no ser que sean introducidas artificialmente.

Un aspecto positivo y una gran apuesta de futuro son la obtención de energía mediante centrales hidráulicas reversibles utilizando dos embalses a diferente cota, como es el caso de la futura central reversible entre las presas de Chira y Soria con una diferencia de cota de unos 400 m en la isla de Gran Canaria, que se espera produzca el 25% del consumo energético de la isla. Este proyecto sigue la tendencia general del archipiélago de apostar por la energía hidráulica con otros proyectos realizados como el de la isla de El Hierro y futuras actuaciones en las islas de La Gomera, Tenerife y La Palma, si bien en estos casos los nuevos depósitos serán balsas impermeabilizadas artificialmente. ♦

- Crest widths of 3 to 5 metres.
- Average crest lengths of 100 m.
- The dams are generally privately owned.

The masonry dams have advantages in construction terms over those built in concrete in that these do not include expansion joints and while this implies slower construction there is the advantage that no cracks appear in the dams and these are allowed to work without impediment throughout summer and winter on account of the benign climate in the Canary Islands.

The dams in the Canary Islands have a relatively short working life on account of the torrential nature of the rains which transport a considerable flow of solids, particularly when these flows are through ravines that are not covered by forestland. In the Canary Island dams, environmental factors such as the fauna or ecological flows are not as important as in the dams on the mainland and the same applies to fishways or fish ladders, etc., as there are practically no fish farm species unless these are introduced artificially.

One positive aspect and a great pledge for the future is the production of energy by reversible hydro power plants using two reservoirs at different levels, this being the case of the future reversible plant between the Chira and Soria dams with a drop of some 400 m in the island of Gran Canaria, and which is expected to produce 25% of the electricity supply for the island. This project continues the pledge for hydro power on the archipelago seen by other projects carried out in the island of El Hierro and the future projects destined for the islands of La Gomera, Tenerife and La Palma, though in these cases the new deposits will be made in the form of artificially waterproofed reservoirs. ♦

Referencias/References:

-(1) SALDAÑA ARCE, D. Presas de mampostería en España. Universidad de Burgos. Tesis doctoral inédita
-(2) GONZALEZ GONZALVEZ, J. La Presa de Cuevas Blancas en la cumbre de Gran Canaria: proyectos, cimientos, sondeos y cemento (1905 - 1971). Jornada sobre "El conocimiento de los recursos hídricos en Canarias cuatro décadas después del proyecto SPA-15. Acto de homenaje póstumo al Ingeniero D. José Sáenz de Oiza". Las Palmas de Gran Canaria. 2010.
-(3) GONZALEZ GONZALVEZ, J. Construcción, recrecido e incidente de la Presa de Martínón (San Lorenzo) Gran Canaria 1902 - 1988. Año 2009

-(4) GONZALEZ GONZALVEZ, J. Construcción de la Presa de las Cuevas de las Niñas en Majada Alta. Gran Canaria, 1930 - 1958. Año 2008
-(5) GONZALEZ GONZALVEZ, J. Siete presas, nueve estanques y una tubería. Cortijo de Samsó - Tamadaba. Gran Canaria, 1907 - 2009. Año 2009
-(6) GONZALEZ GONZALVEZ, J. La Presa de las Cuevas de las Niñas en Majada Alta. Construcción, estabilidad, obra y terreno. Gran Canaria, 1930 - 2009. Año 2009
-(7) SAENZ RIDRUEJO, F. Manuel Alonso Franco: maestro de presas. Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, , N.º. 3509, (Ejemplar dedicado a: Brasilia 2009: XXIII Congreso Internacional de Grandes Presas), págs. 99-102.

ISSN 0034-8619 .Año 2009
-(8) GONZALEZ GONZALVEZ, J. Presa de Soria. Una historia de proyectos, informes y notas informativas. Gran Canaria, 1935 - 1972. Año 2010
-(9) SANTAMARTA CERZAL, J.C. RODRIGUEZ J. Singularidades de las obras hidráulicas para abastecimiento de agua potable en medios volcánicos. El caso del archipiélago Canario. España. Congreso internacional sobre gestión y tratamiento del agua. Córdoba, Argentina. 2008.
-(10) SANTAMARTA CERZAL, J.C. Singularidades sobre la construcción, planificación y gestión de las obras y recursos hídricos subterráneos en medios volcánicos. Estudio del caso en las Islas Canarias occidentales. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM) .Universidad Politécnica de Madrid .2009.