

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Análisis Comparativo Tenso Deformacional entre Presas CFRD y ACRD

Daniel R. PANIQUE LAZCANO

Investigador, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, dr.panique@alumnos.upm.es

Marcelo Esteban ZEBALLOS

Profesor, Universidad Nacional Córdoba, Córdoba, Argentina, marcelo.zeballos@unc.edu.ar

RESUMO: Las presas de enrocado con pantalla de hormigón (CFRD) son muy frecuentes en la actualidad. Sin embargo, algunas variables; por ejemplo la topografía, el clima, las filtraciones, o la posibilidad de uso de distintos materiales, hace que se estudien otros tipos de presa. Un tipo es la presa de enrocado con núcleo de asfalto (ACRD). La geometría de los dos tipos de presa sigue recomendaciones derivadas de la práctica. Los parámetros geométrico que se emplean, son aquellos que han mostrado un buen resultado. Los conceptos de modelación tenso-deformacional de los perfiles transversales se han empezado a utilizar recientemente. En ambos casos, el elemento de “impermeable” es una barrera de dimensiones transversales reducidas. Se presenta un análisis comparativo del comportamiento de estos dos tipos de presas. Se han utilizado secciones típicas, junto con un modelo de elementos finitos de uso convencional en la solución de estos problemas geotécnicos. Se ha evaluado el comportamiento de la presa en puntos característicos. El enrocado ha sido representado según modelos constitutivos de rigidización, para una mejor interpretación del comportamiento. Se tomaron en cuenta dos condiciones de evaluación (fin de construcción de la presa y estado de régimen). Las modelaciones se efectuaron para tres alturas (30m, 60m y 100m).

PALAVRAS-CHAVE: Barrege CFRD; Barrage ACRD, Comportamento de estresse de tensão, Comportamento da barragem.

ABSTRACT: Concrete face rockfill dams (CFRD) are very common today. However, some variables; For example, topography, climate, control of seepage, or the possibility of using different materials, makes other types of the dam to be studied. One type is the asphalt core rockfill dam (ACRD). The geometry of the two types of dam follows recommendations derived from practice. The geometric parameters used are those that have shown good results. The concepts of stress-strain modeling of cross-sectional profiles have recently started to be used. In both cases, the “waterproof” element is a barrier with reduced transversal dimensions. A comparative analysis of the behavior of these two types of dams is presented. Typical sections have been used, along with a conventionally used finite element model in solving these geotechnical problems. The behavior of the dam at characteristic points has been evaluated. The materials of the rock dam have been simulated using soil stiffening models. Two load states were evaluated (end of dam construction and regime state). The modeling was carried out for three heights (30m, 60m, and 100m).

KEYWORDS: CFRD Dam; ACRD Dam, Stress- Strain Behaviour, Dam Behaviour

1 Introducción

Las presas de enrocado con pantalla de impermeabilización surgen como una solución de aplicación en zonas en las que los materiales de baja permeabilidad no son suficientes, en calidad y cantidad, o en regiones en las que las condiciones climáticas no son las adecuadas para la construcción de otro tipo de presa (ICOLD, 1982). Las presas de escollera con pantalla de hormigón (CFRD, Concrete Face Rockfill Dam) son una solución frecuente en muchas regiones del mundo. Este tipo de presa es de una construcción simple y económica, son resistentes a las solicitaciones sísmicas y su comportamiento de la estructura es muy bueno (Plichon, 1995). Cooke (1984) señala que el diseño de las presas CFRD dependen mayormente de la experiencia y el criterio ingenieril. Sin embargo, la bibliografía muestra que este tipo de presa tiene una alta sensibilidad en relación al correcto funcionamiento de la pantalla de hormigón. Este elemento debe adaptarse a los desplazamientos del enrocado del cuerpo de la presa. Este problema ha sido tratado en los últimos 30



años, mejorando la composición del enrocado y su forma de colocación, lo que ha permitido la construcción de presas de gran altura.

En zonas afectadas por condiciones climáticas de frío extremo, se han desarrollado soluciones en las que la pantalla está formada por mezcla asfáltica, normalmente ubicada en el interior del cuerpo de la presa (ACRD, Asphalt Core Rockfill Dam). Dentro de sus ventajas se indica que permiten generar embalses parciales durante la construcción, a diferencia de las presas con núcleo de arcilla (Pujol, 2010) (CIGB, 1995). En las presas con pantalla interna el núcleo debe soportar las deformaciones del cuerpo de la presa durante la construcción. Dentro de las debilidades de este tipo de presa se considera que son difíciles de reparar en su núcleo, mientras que en su fortalezas, se debe tener en cuenta que el núcleo está protegido contra influencias externas.

En definitiva las presas del tipo ACRD se presentan como una alternativa a las soluciones frecuente de tipo CFRD. Al respecto cabe preguntarse respecto de las variaciones de comportamiento de las pantallas de impermeabilización en ambos casos. El presente estudio muestra una análisis paramétrico entre ambos tipos de solución, a fin de evidenciar la variación en el comportamiento tenso – deformacional de ambos casos. La parametrización se concentra particularmente en la evaluación del efecto de la altura de la presa en su comportamiento bajo dos estados de carga específicos. Los valores obtenidos son comparados en puntos característicos del cuerpo de presa.

2 Estado del Conocimiento

Tanto las presas CFRD como las ACRD han tenido una evolución histórica hasta la situación de una tendencia actual. Las presas de CFRD han probado ser económicas, por ejemplo en las siguientes condiciones: abundancia de roca disponible en la proximidad del sitio de emplazamiento; restricciones climáticas con elevada humedad que limitan la utilización de relleno de suelos. Existen otros aspectos que favorecen a la selección de este tipo de presas como ser, la eliminación de factores como la erosión interna y las supresiones que no pueden acumularse en el material granular. Esto último da lugar a que, al no existir supresiones, y por tanto, el material tiende a mantenerse seco, los movimientos sísmicos no producen presiones de poro o presiones intersticiales. Debido a todo esto es que actualmente existen muchas presas en construcción en todo el mundo y su popularidad va en aumento día a día.

La evolución de las presas de escollera puede ser considerada bajo tres principales categorías o etapas; estas son, el periodo inicial (1850-1940), el periodo de transición (1940-1965) y el periodo moderno desde el año 1965- adelante (Cooke, 1984). El diseño de estas presas fue completamente empírico y el procedimiento se lo utilizó hasta la década de 1950 en presas de hasta 70 y 80 metros de altura. Este tipo de proyecto tradicional funcionó muy bien para presas de hasta 75m de altura, en alturas mayores se han registrado problemas de fisuración y de fugas, ocasionadas por las deformaciones generales y movimientos en las juntas (CIGB-ICOLD, 1995). La concepción moderna de las presas del tipo CFRD se muestra en la Figura 1.

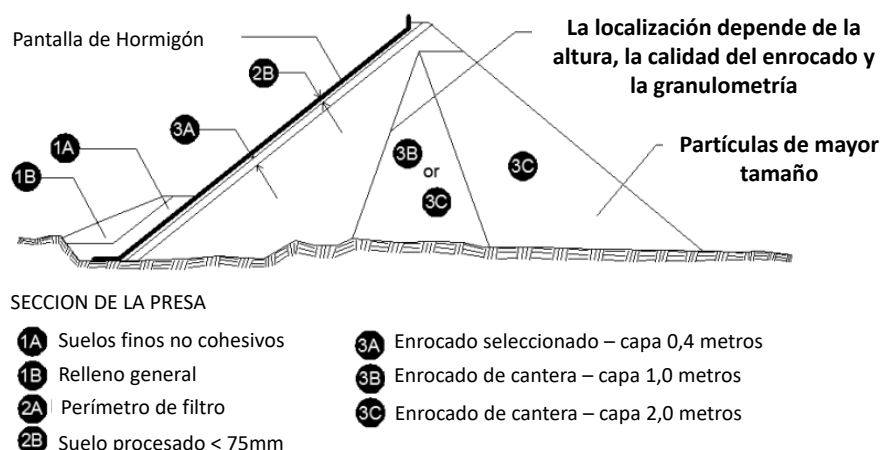


Figura 1. Características generales de una presa tipo CFRD (Fuente: ICOLD, 2010).

Mejoras en la fundación como son el desarrollo de plintos de hormigón con pantallas de inyección, el abandono de losas en cuadrícula muy articuladas y de juntas compresibles en la pantalla de hormigón, son las principales tendencias técnicas actuales. Por contraparte, existían filtraciones producidas a través de las juntas,



debido a movimientos excesivos de las losas durante la construcción y el primer llenado del embalse (ICOLD, 1995).

Dentro de los casos de contribución al conocimiento sobre la base de deterioros se destacan las presas de Campos Novos en el 1993 (202m de altura) y Barra Grande en 2005 (185m de altura) en Brasil (Sarmiento & Romo, 2011). El excelente comportamiento de la presa El Cajón finalizada (2006) y La Yesca (2012), han permitido afirmar que es posible este tipo de presas combinando la experiencia, estudios de campo y laboratorio y análisis numéricos de predicción del comportamiento esfuerzo deformación en este tipo de estructuras (Aleman Velasquez, 2013).

La concepción actual de las presas CFRD, tiene como componentes principales a la pantalla de hormigón armado, el plinto, capa de transición y enrocado compactado. La pantalla impermeable es el elemento crítico de estas presas. El principal condicionante de su funcionamiento se relaciona con los asentamientos en la presa, los que pueden determinar la aparición de fisuras y grietas, con subsecuentes filtraciones. La deformación de la pantalla está influenciada por la carga hidrostática del embalse. Junto con estas deben considerarse las deformaciones producidas por temperatura.

El plinto, básicamente, es una losa de hormigón armado anclada o incrustada en la roca, a lo largo de todo el pie del talud de aguas arriba del cuerpo de la presa. Sirve como apoyo de la pantalla impermeable (Gandarillas Antezana & Gandarillas Rodriguez, 2010). El diseño del plinto está básicamente fijado por un concepto de gradiente hidráulico y calidad de la roca de fundación (Cruz, et al., 2009).

El enrocado se compone de material granular, con un tamaño promedio de, por lo menos, 2" (5 centímetros). Esta característica tiene especial influencia en la resistencia friccional de los suelos. La presencia de suelos con mayor contenido de finos influye sensiblemente en el comportamiento de los esfuerzos, deformaciones y permeabilidad. De esta forma, la presa se divide en 3 zonas. La Zona 1, que está conformada por un limo no plástico (no cohesivo) o arena fina limosa no plástica. La Zona 2, dividida en dos partes: la primera ubicada debajo de la junta perimetral losa-plinto y que sirve para limitar la deformación de la losa en el perímetro y reducir las filtraciones al ser de una permeabilidad relativamente baja, mientras que la segunda constituye el soporte directo de la cara de concreto. El material de esta zona es grava o arena poco limosa producto del procesamiento de aluvión o de trituración de roca. Finalmente, la Zona 3, constituida por aluvión o roca de cantera procesada. Son gravas que permitan el libre drenaje del enrocamiento y funcionan como filtro del material en el sector de mayor proximidad a la pantalla. El sector intermedio está conformado por roca de mayor tamaño y de mejor calidad. Mientras la calidad se reduce hacia el talud de aguas abajo, el tamaño de partículas igualmente se incrementa (CEGP, 1995).

Las presas de enrocado con pantalla o núcleo de mezcla asfáltica tienen su origen en Alemania como producto de una técnica de impermeabilización para presas. Han cobrado gran importancia en todo el mundo y en una gran variedad de zonas climáticas, debido a su alta capacidad de deformación, resistencia a la erosión, comportamiento a lo largo de la vida útil y el proceso constructivo sin juntas. La primera presa de enrocado con núcleo de asfalto tiene su origen y fue construida en Alemania entre los años 1961-1962. A diferencia de las presas con pantallas aguas arriba, el núcleo interno tiene menor longitud y menor área. Las construcciones de presas de enrocado con núcleo asfáltico han tenido experiencias exitosas, el núcleo asfáltico está concebido como una barrera impermeable, flexible y resistente a la erosión interna. Por otro lado, las características del asfalto relacionadas con la rigidez, ductilidad y viscosidad hacen que las presas muestren un buen comportamiento ante solicitaciones estáticas y dinámicas (Ossa et al., 2012).

La principal condición por satisfacer en un núcleo bituminoso es el mantenimiento de impermeabilidad bajo todas las condiciones concebibles de deformación, debido al comportamiento elastoplástico de la mezcla asfáltica. Esta condición ayuda a prevenir roturas en el núcleo como consecuencia de deformaciones de la presa. Se logra así, un núcleo flexible y altamente resistente a la erosión interna. Las características de ductilidad y visco-elastoplasticidad de la mezcla ha sido considerada por diversos autores (Ossa, et al., 2012; Wang & Höeg, 2009). Hasta la década de 1980, las zonas de transición variaban entre 1,0 m y 2,0 m a cada lado del núcleo asfáltico. Un ancho de transición de más de 1,50 m era lo más habitual para la época (CIGB ICOLD, 1982). La geometría de los núcleos de concreto asfáltico dependen, principalmente, de la altura de presa, condiciones de cimentación, sismicidad de la zona, calidad de la construcción y las propiedades mecánicas de los materiales del enrocado. El núcleo de concreto asfáltico se recomienda que sea vertical para presas con alturas menores a 60 metros, en caso de ser mayor la altura, el núcleo deberá inclinarse a partir del tercio superior de la altura de la presa. Todo esto con el fin de minimizar la posible separación entre el núcleo y el enrocado aguas arriba (ICOLD, 1992). Para poder cumplir con las condiciones de estabilidad de filtro para



presas de escollera y presas de tierra, es necesario zonas de transición especiales entre el terraplén y el núcleo asfáltico. Por tanto, el diseño de esta zona es muy importante, ayuda a mantener al núcleo asfáltico limpio de deformaciones desiguales provocadas por la piedra del terraplén; es decir, ayuda a suavizar esas deformaciones y que no sean bruscas como para afectar al núcleo. También las transiciones ayudan a conciliar los asentamientos diferenciales entre el terraplén y el núcleo. En la Figura 2, se puede apreciar una sección tipo de una presa de núcleo central vertical en toda su altura que corresponde a la tendencia actual de presas ACRD.

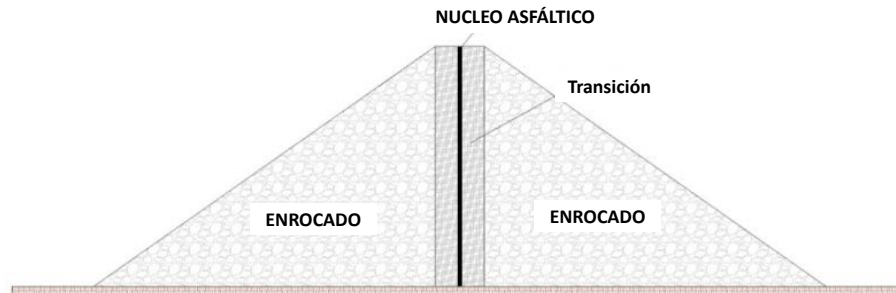


Figura 2. Sección transversal de una presa con núcleo de concreto asfáltico vertical.

La tendencia más reciente en la técnica de construcción es la que corresponde al sistema DACC (Dense Asphaltic Concrete Core, núcleo de hormigón asfáltico denso). El espesor del núcleo varía de 40 a 60 cm para presas de altura entre 15 y 30 metros, y el espesor llega a ser de 50 a 120 cm para presas con alturas mayores a los 30 metros.

3. Análisis Realizado.

Para la aplicación de la comparación del comportamiento de presas de escollera se ha realizado una evaluación numérica del comportamiento tenso deformacional de los dos tipos de presas antes indicado. El análisis paramétrico se ha realizado considerando variaciones en el estado de sollicitación y en la altura de la presa.

Para el desarrollo del análisis comparativo se han establecido parámetros resistentes y tenso – deformacionales característicos de los materiales componentes, tanto del cuerpo de presa, como de las propias pantallas de impermeabilización. En la definición de estos parámetros se han analizado valores registrados en la bibliografías para diferentes casos (Panique, 2018). La Tabla 1 muestra en forma resumida los parámetros característicos de los materiales componentes del cuerpo de presa. Se ha empleado un modelo de rigidización como forma de caracterización de suelos componentes.

Tabla 1.a. Parámetros característicos materiales en presa CFRD

Hardening Soil		FUNDACIÓN	ZONA 2A	ZONA 3A	ZONA 3B	ZONA 3C	PANT H ^{PA}
γ_{unsat}	[kN/m ³]	24	20	20	21	22	24
E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	1.000.000	25.000	30.000	40.000	55.000	60.000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	500.000	25.000	30.000	40.000	52.646	57.432
power (m)	[-]	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
c_{ref}	[kN/m ²]	20	1	1	1	1	350
ϕ	[°]	45	35	35	40	45	45
ψ	[°]	0	0	0	0	0	0
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	3.000.000	75.000	90.000	120.000	165.000	180.000
$\nu_{\text{ur}}^{(\text{nu})}$	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
p^{ref}	[kN/m ²]	100	100	100	100	100	100
R_f	[-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Se han comparado dos estados de carga: fin de construcción y embalse lleno. Las modelaciones realizadas han sido efectuadas a través de una simulación de la construcción en seis etapas de materialización del cuerpo de presa. En referencia a la alternativas de altura se han considerado tres valores que se estiman de referencia para presas de baja, media y gran altura, es decir: 30 m; 60 m y 100m. Las secciones típicas modeladas en cada caso, son las indicadas en la Figuras 3.



Tabla 1.b. Parámetros característicos materiales en presa ACRD

Hardening Soil		FUNDACIÓN	ENROCADO FINO	ENROCADO GRUESO	NÚCLEO ASFÁLTICO	TRANSICIÓN FINA	TRANSICIÓN GRUESA
γ_{unsat}	[kN/m ³]	24	20	22	24	19	21
E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	1.000.000	40.000	55.000	20.000	25.000	20.000
E_{oed}^{ref}	[kN/m ²]	500.000	40.000	52.646	20.000	25.000	20.000
power (m)	[-]	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
c_{ref}	[kN/m ²]	20	1	1	25	1	1
ϕ	[°]	45	40	45	35	30	35
ψ	[°]	0	0	0	0	0	0
E_{ur}^{ref}	[kN/m ²]	3.000.000	120.000	165.000	60.000	75.000	60.000
$\nu_{ur}^{(nu)}$	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
p^{ref}	[kN/m ²]	100	100	100	100	100	100
R_f	[-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

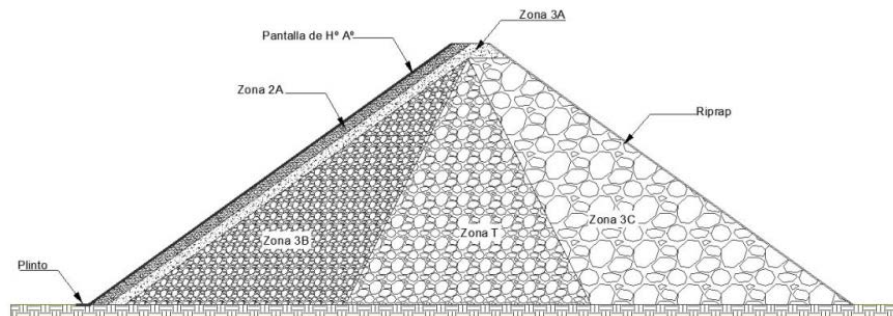


Figura 3.a. Sección tipo presa CFRD de 60 y 100 m de altura.

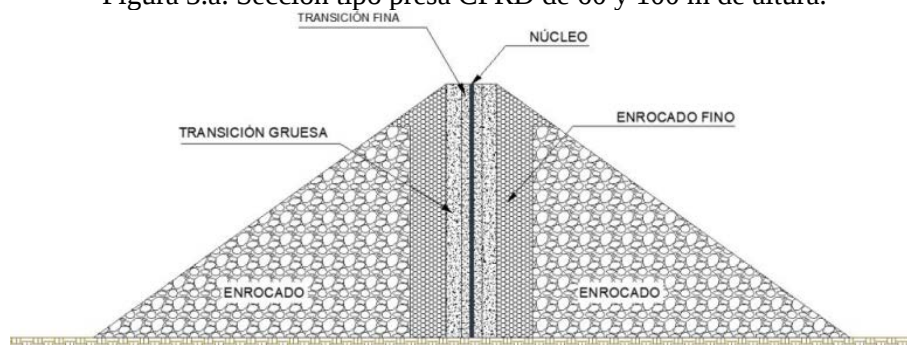


Figura 3.b. Sección tipo de la presa ACRD para alturas de 30, 60 y 100m..

4. Resultados

Para un mejor comprensión de los resultados obtenidos, estos han sido agrupados según las principales variables de interés: desplazamientos, presiones verticales, horizontales y de corte en puntos característicos de la presa.

4.1. Fase de Construcción.

Durante la construcción de la presa la evaluación de los desplazamientos se ha concentrado especialmente en los asentamientos. En la Figura 4 muestra en forma comparativa los resultados obtenidos en ambas presas. Estos se presentan en forma absoluta y normalizados para ambas variables en función de la altura de la presa. Los resultados obtenidos en este componente, permiten efectuar las siguientes observaciones: Como resulta característico para presas de materiales sueltos, los resultados muestran que los asentamientos dominantes ocurren en el tercio central de la presa. En el caso de las presas CFRD los asentamientos varían entre 0,24% de la altura, para una presa de 30m, y 0,40% para una presa de 100m. Para las presas ACRD los asentamientos están comprendidos entre 0,35%, para una presa de 30m, y 0,51% para

una presa de 100m. En consecuencia, en casos similares los asentamientos en valores absolutos son superiores en las presas ACRD respecto de las de tipo CFRD. En la comparación de valores relativos, se observa que los máximos asientos pertenecen a las presas ACRD (con alturas de entre 60m y 100m); mientras que los inferiores corresponden a las presas CFRD (con altura entre 30m y 60m).

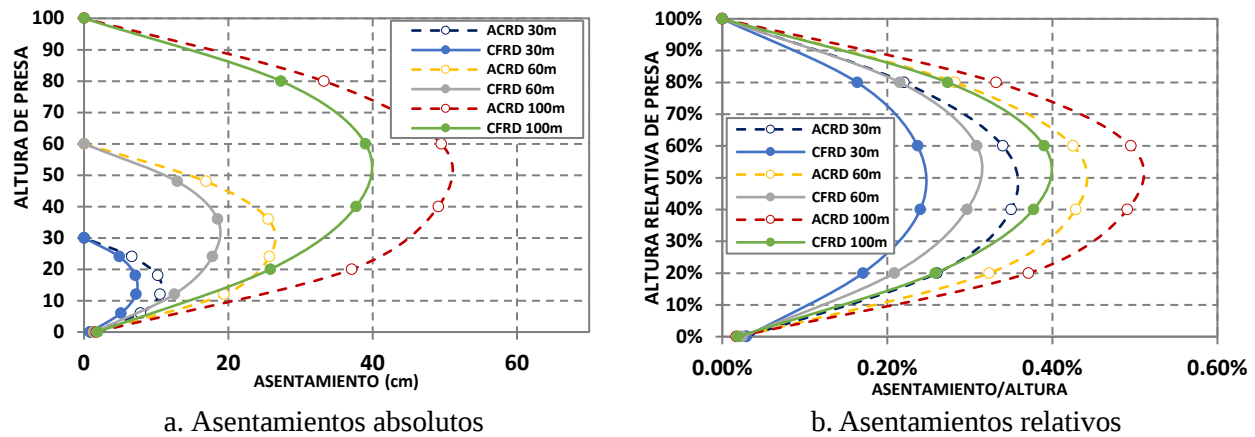


Figura 4. Asentamientos en el eje de la presa. Fase de construcción.

Las tensiones horizontales y verticales durante la construcción para ambas presas se pueden ver en la Figura 5.

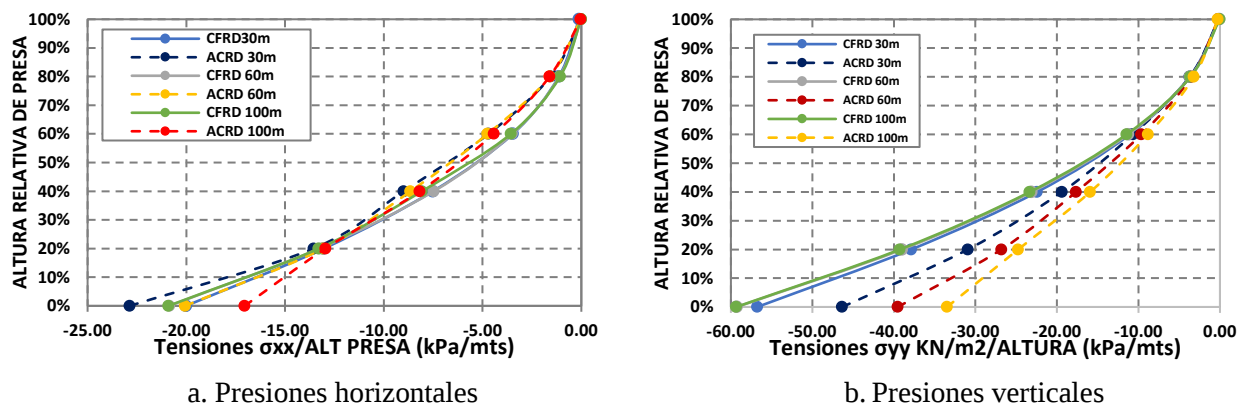


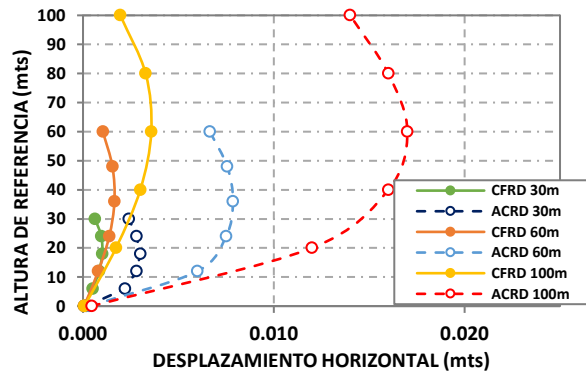
Figura 5. Presiones relativas en el eje de la presa (Fase construcción presa).

En el análisis comparativo entre las presas CFRD se aprecia un comportamiento uniforme para el tipo, en relación con la altura de las presas, con un valor máximo de 20 kPa/m en la presión horizontal y 60 kPa/m en las verticales. En el caso de las ACRD la influencia de la altura de la presa resulta más notable, con un efecto de decrecimiento de la presión relativa a la altura en la medida que esta se incrementa.

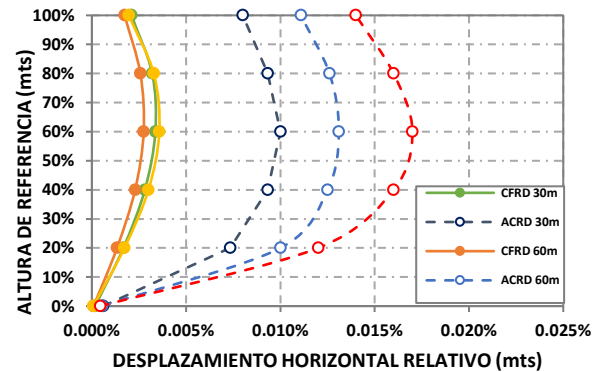
4.2. Embalse Lleno.

Para las modelaciones del comportamiento en la condición de embalse lleno, la modelación del efecto del empuje ha sido aplicada en forma particular para cada tipo de presa. En las de tipo CFRD el empuje ha sido modelado a través de una carga distribuida sobre la pantalla de hormigón. En las presas de tipo ACRD la simulación se efectúa considerando la carga hidrostática generada por el nivel de la presa.

La Figura 6 muestra los desplazamientos totales absolutos de las presas ACRD y CFRD. Los máximos valores corresponden a las presas ACRD, con valores sensiblemente superiores a los registrados en forma comparativa con respecto a la CFRD. En ambos tipos de presa los máximos desplazamientos se muestran en el tercio central. Esta situación se presenta en forma evidente en la Figura 6.b. Cuando se comparan estos desplazamientos con los correspondientes a movimientos verticales, se observa que este componentes es marcadamente menor a los valores observados en los desplazamientos horizontales.



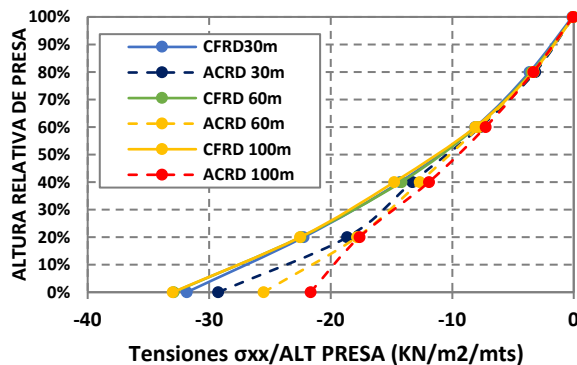
a. Desplazamiento en valores absolutos



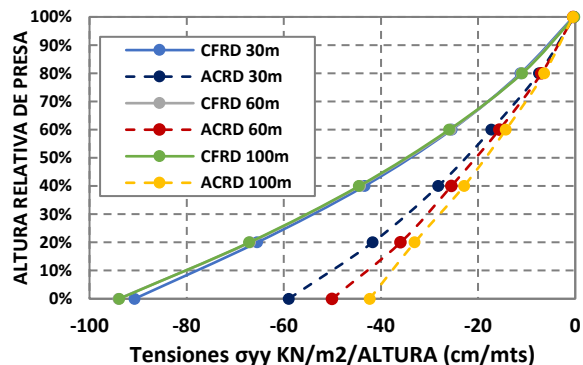
b. Desplazamientos relativos

Figura 6. Desplazamiento horizontal en el eje de la presa en condición de embalse lleno.

Las tensiones horizontales y verticales, en el eje de la presa y bajo la condición de embalse lleno se muestran en la Figura 7. Las tensiones horizontales de las presas CFRD muestran un comportamiento muy similar para las tres alturas de presa, con valores máximos en la base y valor nulo en el coronamiento. Por otro lado, las presas ACRD tienen distintos valores en función a la altura de la presa. Sin embargo, los valores máximos de las tres presas son menores que el valor máximo obtenido para una presa CFRD. En ambos tipos de presas, a partir de una altura relativa del 40%, el comportamiento de la tensión horizontal hasta el coronamiento es similar. Las tensiones verticales relativas un comportamiento similar. Las presas CFRD tienen una misma tendencia sin importar la altura de la presa a diferencias de las presas ACRD que si influye la altura.



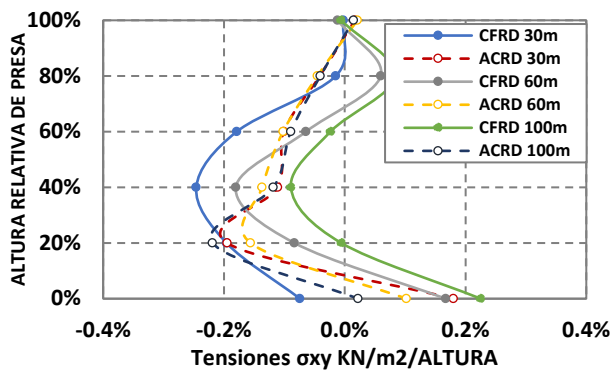
Presiones horizontales



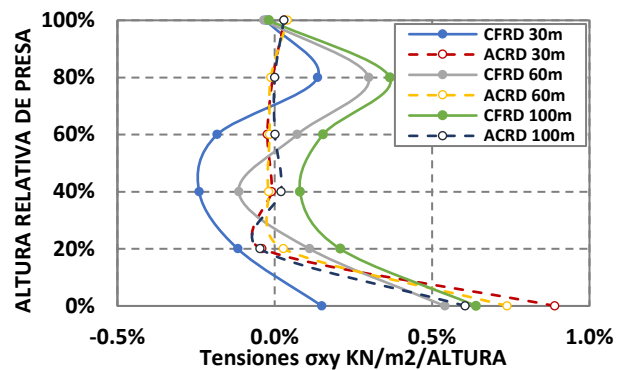
Presiones verticales

Figura 7. Presiones horizontales y verticales en eje de presa. Final de construcción.

En la parte final de la comparación se presenta la Figura 8, que muestra en forma comparativa las tensiones de corte sobre el eje de la presa, para la fase de construcción y para el estado de embalse lleno.



Fin de construcción



Embalse lleno

Figura 8. Tensiones de corte en el eje de la presa.



Las presas CFRD presentan los mayores valores de tensiones de corte en el tercio central de la presa; por su parte, las presas ACRD presentan los valores máximos en el tercio inferior. En las presas CFRD con alturas de 60 y 10m, tienen valores de tensiones de corte oscilan entre valores positivos y negativos. Las presas ACRD tienen en la base un valor positivo y posteriormente pasan a valores negativos en toda la altura de la presa. El efecto del llenado de la presa produce un incremento de las magnitudes de tensiones observadas, manteniendo la tendencia de distribución a lo largo del eje de la presa.

5. Conclusiones

En referencia a los asentamientos en construcción de la presa, La configuración propuesta para la presa de tipo ACRD muestra valores superiores a los encontrados en la presa. En ambos tipos de presa y sin importar la altura de estas, los mayores asentamientos se producen en el tercio central de la presa. En presas CFRD se ha encontrado un rango de variación entre el 0,25% a 0,40% de la altura, mientras que en las ACRD el rango está comprendido entre 0,35% a 0,50%.

Los desplazamientos debido al empuje del agua (embalse) son mayores en presas ACRD ya que la presión de agua se ejerce directamente sobre la pantalla que está dentro del cuerpo de la presa; a diferencia de la presa CFRD que tiene la pantalla externa y la presión en el eje de la presa es baja.

Las tensiones horizontales relativas debidas a la construcción de la presa para una CFRD no tienen variación con la altura; lo que no ocurre con las presas ACRD que, en función de la altura. La máxima tensión horizontal se presenta en la base de la presa y tienen a disminuir hasta el coronamiento. Las tensiones verticales debidas a la construcción de la presa son mayores para una presa CFRD que para una ACRD. Las presas CFRD presentan los mayores valores de tensiones de corte en el tercio central de la presa a diferencia de las presas ACRD que presentan el valor máximo en el tercio inferior.

6. Referencias

- Alemán Velasquez, J. D. (2013). *Diseño geotécnico de presas de gran altura de enrocamiento con cara de concreto*.
- CEGP, I. (1995). *Presas de escollera con pantalla de hormigón (Estado del arte)*.
- CIGB, I. (1982). *Bituminous concrete facings for earth and rockfill dams*.
- CIGB, I. (1995). *Núcleos bituminosos para presas de materiales sueltos (Técnica actual)*.
- Cooke, J. B. (1984). Progress in rockfill dams. *J Geotech Eng, ASCE*, 110(10), 1381–1414.
- Cruz, P. T., Materón, B., & Freitas, M. (2009). *Concrete face rockfill dams*.
- Gandarillas Antezana, H., & Gandarillas Rodríguez, L. (2010). *Enfoques de diseño de presas de enrocado con membrana impermeable*.
- ICOLD, C. (1992). *Bituminous cores for fill dams: State of the art*.
- ICOLD, C. (2010). Concrete face rockfill dam, concepts for design and construction. *Bulletin 141*.
- Ossa, A., Botero, E., & Santa, L. (2012). *Presas de enrocamiento con núcleo de concreto asfáltico: Influencia de la geometría del núcleo en el comportamiento mecánico de la estructura*.
- Panique Lazcano, D. R. (2018). *Análisis Comparativo de Presas de Enrocado con Pantalla de Variada Tipología*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Plichon, J. N. (1995). *Presas de escollera con pantalla de hormigón*.
- Pujol, A. (2006). Presas con núcleo de asfalto. *VI CAPYAH La Seguridad de Presas En Argentina*.
- Sarmiento, N., & Romo, M. P. (2011). Esfuerzos de compresión en la cara de concreto en presas de enrocamiento de gran altura. *Geotechnical Conference*.
- Wang, W., & Höeg, K. (2009). *The asphalt core embankment dam a very competitive alternative*.