

ANÁLISIS GEOMECÁNICO Y ESTABILIDAD DE LOS ESTRIBOS EN LA PRESA SOBRE EL RÍO CUIRA DEL SISTEMA TUY IV, EN EL SECTOR EL DINERO, MUNICIPIO ACEVEDO, ESTADO MIRANDA

Miguel Antonio Castillejo Cans^{1*}, Vicente Johan Manuel Rico¹

¹ *Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*

*miguel.castillejo@ucv.ve

RESUMEN

Para la construcción de una obra hidráulica de envergadura como lo es la Presa sobre el Río Cuira del Sistema Tuy IV, que surte de agua potable a la ciudad de Caracas, se necesita que el macizo cumpla con ciertos parámetros de resistencia. Estos parámetros son importantes debido al empuje que ejercerá el agua tanto en la presa como en los estribos; por tal motivo es necesario que estos sean competentes. Debido a esto se realizaron diversos estudios de caracterización en la zona, al igual que una evaluación de cada uno de los taludes que conforman cada estribo de la presa, con la finalidad de conocer la calidad de cada uno de los macizos. Se llevaron a cabo los respectivos ensayos geomecánicos para definir los parámetros de resistencia y estabilidad, logrando caracterizar el macizo y conocer la existencia de algún tipo de inestabilidad en los taludes, para así tomar medidas de seguridad en caso de deslizamientos o caída de roca. Por otro lado, se clasificó el macizo y los distintos taludes para establecer patrones de referencia en función de la calidad de los mismos, de igual manera se analizaron las distintas deformaciones y esfuerzos que puede llegar a sufrir la masa rocosa en distintas etapas, tanto verticales como horizontales serán analizadas. Llegando a la conclusión de que los estribos están en la capacidad de soportar toda la carga que pueda llegar a ejercer la presa sobre ellos.

Palabras Clave: río Cuira, Miranda, Sistema Tuy IV, presa, geomecánica, mecánica de rocas, metaígneas, metavolcánicas, modelo geomecánico, elementos finitos-análisis, talud, RMR, DMR, SMR, GSI

ABSTRACT

For the construction of a large-scale hydraulic project such as the dam on the Cuira River of the Tuy IV System, which supplies drinking water to the city of Caracas, it is necessary for the rock mass to comply with certain parameters of strength. These parameters are important due to the pressure exerted by the water both in the dam and in the abutments; for this reason it is necessary that they be competent. Due to this, several characterization studies were carried out in the area, as well as an evaluation of each of the slopes that make up each abutment of the dam, in order to know the quality of each of the rock mass. The respective geomechanical tests were carried out to define the parameters of resistance and stability, managing to characterize the massif and to know the existence of some type of instability in the slopes, in order to take security measures in case of

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

landslides or rock fall. On the other hand, the massif and the different slopes were classified to establish reference patterns according to the quality of the same, in the same way the different deformations and efforts that the rock mass could suffer in different stages, both vertical, were as horizontal are analyzed. Arriving to the conclusion that the abutments are in the capacity to bear all the load that can reach to exert the prey on them.

Keywords: Cuira river, Miranda, Tuy IV system, dam, geomechanics, rock mechanics, metavolcanics, metavolcanics, geomechanical model, finite elements-analysis, slope, RMR, DMR, SMR, GSI.

INTRODUCCIÓN

El auge económico que ha surgido en la región capital desde comienzos del siglo pasado se ha venido incrementando deliberadamente, lo cual ha generado un alto movimiento poblacional hacia el Distrito Capital, principalmente de los campos y las regiones agrícolas. Esto debido a diferentes causas como mejor estabilidad, mejor empleo o simplemente una mejor calidad de vida. Todo esto hace que escasee cualquier tipo de servicio debido al aumento del consumo del mismo.

El consumo en el servicio de agua se ha tornado casi insostenible debido a la gran demanda y poca oferta que existe, por ende se llevara a cabo la construcción de una de las represas más grandes de Latinoamérica, con el fin de solventar el déficit que existe en el servicio y más aún en la temporada de sequía.

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo exponer a detalle todos los rasgos técnicos e ingenieriles que están presentes en el estudio de estabilidad para los estribos de la Presa sobre el Rio Cuira, ubicada en el poblado de “EL DINERO”, edo. Miranda, para ello se analizará tanto la información obtenida en campo, como la obtenida en el laboratorio a través de los diferentes ensayos geomecánicos, para establecer los parámetros característicos con los cuales se registrarán los taludes y la caracterización del macizo rocoso para determinar si es posible realizar la construcción del embalse.

Este proyecto suministrara al sistema de distribución aproximadamente 1.000.000.000 m³ de agua, equiparando la gran demanda de consumo que existe en la región capital, con un caudal de 21.000 lt/seg.

Esto con la finalidad de aportar un afluente más al sistema del servicio de agua y disminuir en lo máximo posible las suspensiones del mismo, y así suplir y favorecer a la gran población que va en aumento en la región y sus zonas aledañas.

El estudio de estabilización en discontinuidades facilita la construcción de un modelo para los estudios de taludes en los cual se identifican todas aquellas discontinuidades que puedan originar una condición desfavorable y así poder verificar si existe o existirá algún tipo de problema que pueda afectar la estabilidad de la presa en todas sus fases

Generando como consecuencia, diversas situaciones de alto riesgo, como deslaves, colapso de la represa, inundaciones, entre otras, debido a cualquier movimiento de roca que se pueda desarrollar tanto en los estribos, y desestabilice las fundaciones. Para lo cual también se deberá estudiar la calidad de la roca que conforman los macizos de cada una de los taludes y demostrar si son competentes a los esfuerzos a los cuales se verán sometidos tanto por el peso de la presa como el empuje del agua, y de lo contrario tomar medidas de mitigación a tiempo.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo en el sitio “El Dinero” en el Río Cuirá, localizado en el Municipio Acevedo del estado Miranda, a unos 9 km al suroeste de Panaquire (N 1.123.200 y E 796.000). Figura 1 y 2.

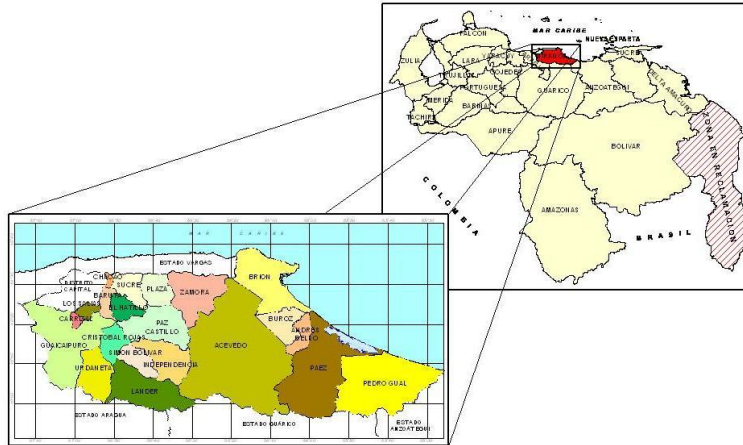


Figura 1. Mapa político territorial del Estado Miranda [1]

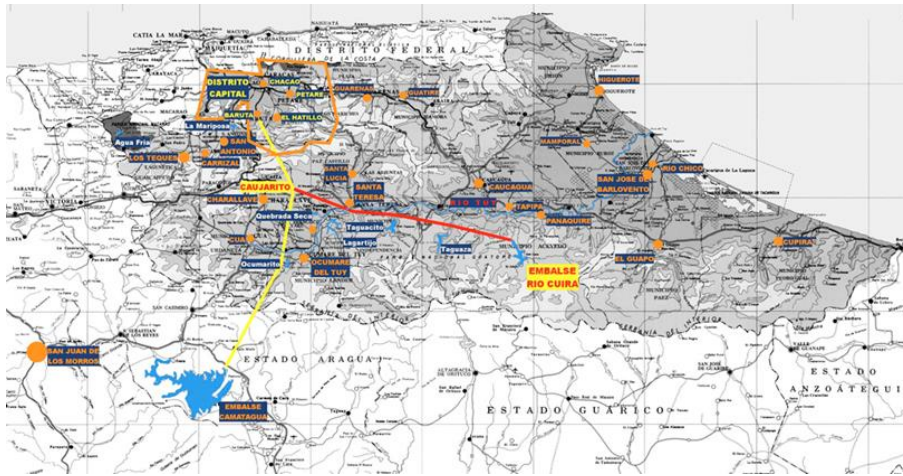


Figura 2. Ubicación del Embalse sobre el Río Cuirá [1]

Díaz y Ochoa [1], “Análisis y correlación entre el parámetro RQD y la permeabilidad Lugeón”. Investigaron la validez del uso del parámetro Rock Quality Designation (R.Q.D.) en la caracterización de macizos rocosos, específicamente para calificar la permeabilidad del mismo, su estanqueidad, y su uso para el estudio de fundaciones para presas. Para ello se realizaron análisis geológicos - geotécnicos a varias presas fundadas en distintos tipos de roca, haciendo énfasis en el Proyecto de Presa sobre el río Cuirá, en el Estado Miranda, donde el lecho rocoso son rocas metavolcánicas pertenecientes al Grupo Villa de Cura, y donde no existe verdadera correspondencia entre los resultados del RQD y los de las pruebas de permeabilidad allí realizadas. Con estos análisis se espera obtener las razones por las cuales existen esas discrepancias, y establecer si estas circunstancias se repite en otros tipos de roca.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Pérez [2], “Estudio geológico de la cuenca del río Cuira, Estado Miranda”. Es el resultado de un estudio geológico realizado en la porción media y baja de la cuenca del Río Cuira, cubriendo un área aproximada de 250 km², la cual se encuentra ubicada al este del Parque Nacional Guatopo en el estado Miranda. En el área de estudio fueron reconocidas seis asociaciones litológicas distintas, las cuales corresponden a una secuencia de rocas máficas y ultramáficas, una secuencia de serpentinitas, dos secuencias de rocas metavolcánicas y dos secuencias de rocas sedimentarias sin metamorfismo.

Cortiula [2], “Estudio geológico de un área ubicada al sur de Panaquire y este del río Cuira, Estado Miranda”. Realizo un estudio desde un punto de vista regional de la geología circunscrita en un área de aproximadamente 128 km², ubicada al sur de la población de Panaquire en el estado Miranda. Dicho estudio consistió en la definición de unidades litológicas informales cada una de ellas constituidas por tipos litológicos distintivos y en el establecimiento de las probables condiciones de presión y temperatura que prevalecieron durante el metamorfismo sufrido por gran parte de las rocas incluidas en la zona.

La litología expuesta tanto en el sitio de presa como en el vaso de almacenamiento de la presa El Dinero, sobre el Río Cuira, pertenece en términos generales a la Formación las Hermanas, la cual presenta un con complejo de rocas metaígneas con índices de metamorfismo bajo a medio, de origen Arco volcánico la cual podemos relacionar con la Faja del Grupo Villa de Cura (Figura 3)

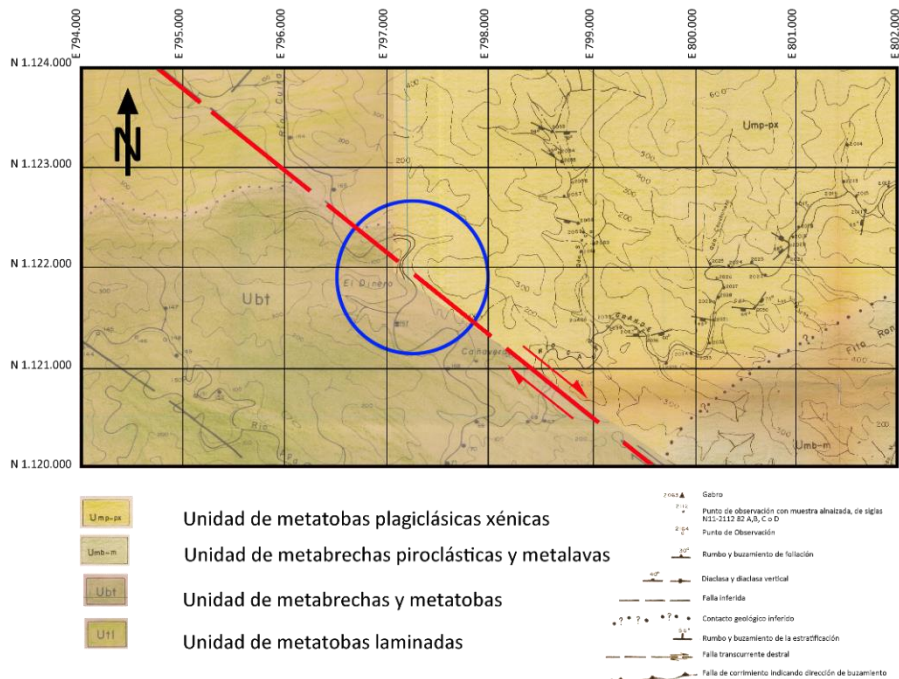


Figura 3. Mapa Geológico de la zona de El Dinero [3]

La metodología empleada en el presente trabajo, consistió en el levantamiento geológico de la zona en estudio, realizando el levantamiento de las discontinuidades presentes en la roca y la toma de las respectivas muestras para la posterior realización de los ensayos geomecánicos.

Una vez finalizado el levantamiento geológico se procedió a sectorizar los distintos taludes tanto

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

del estribo derecho como izquierdo, de manera de poder realizar los análisis de estabilidad de los taludes a lo largo y ancho de la zona principal de la presa.

Durante la etapa de laboratorio se procedió a clasificar las muestras, su preparación (corte y refrentado de las caras, si es necesario), determinación de las propiedades índices de la roca, análisis petrográficos, ejecución de los ensayos de mecánicos (compresión simple, triaxiales, corte directo, abrasividad).

Con los parámetros geomecánicos obtenidos se procedió a la realización los análisis cinemáticos de los distintos taludes de los estribos con los distintos estudios estructurales obtenidos, donde se plasmaron los distintos datos estructurales obtenidos en campo con el programa DIPS, para posteriormente realizar su análisis mecánico mediante la obtención de sus factores de seguridad en los distintos planos obtenidos del levantamiento geológico, mediante los programas SWEDGE y ROCPLANE.

Finalmente se analizaron los distintos esfuerzos, tanto laterales como verticales del macizo rocoso así como también el movimiento relativo que este podría sufrir ya sean horizontales o verticales, tanto con el macizo intacto, como con la colocación de la presa. Como también las líneas de esfuerzos y su dirección de aplicación al igual que su deformación. Para esto se utilizó el programa PHASE 2, que mediante el modelado de elementos finitos se obtuvo, los distintos comportamiento de los estribos con los parámetros geomecánicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La zona donde se construirá la presa se encuentra atravesada por una falla [3].

Petrografías

Mediante los estudios petrográficos (15) se obtuvo los parámetros básicos para definir la litología del área de estudio, como lo son la mineralogía (minerales predominantes y minerales accesorios), textura y estructura, tratándose de rocas metaígneas como metatobas, metalavas, metandesitas y metagabro, donde se observó minerales característicos de metamorfismo como la serpentina, el crisotilo, la prehnita y la actinolita, caracterizándolas dentro de las facies metamórficas de prehnita-pumpellita y esquistos verdes, asociándolas a un metamorfismo de bajo grado (baja temperatura, baja presión y baja profundidad), coincidiendo con el tipo de roca encontrado en la bibliografía preexistente y en el léxico estratigráfico.

Propiedades Índices

Como muestran los ensayos de propiedades índices, se obtuvo una densidad promedio de 2.7 ton/m^3 y un tipo de roca poco permeable, debido a que los valores de porosidad y absorción son muy bajos, no sobrepasando el 1 %. Esto indica que el macizo no tendrá problemas de estabilidad por efectos del agua, lo cual puede verse reflejado en el Trabajo de grado de Díaz & Ochoa [1], donde obtuvieron bajos niveles de permeabilidad aun cuando la roca presentaba bajos niveles de RQD.

Ensayos Geomecánicos

Ensayos de Corte Directo (Caras Rugosas)

Para el estribo derecho se realizaron 13 ensayos de corte directo (figura 4), obteniendo los siguientes valores de cohesión 2.359 MPa y fricción 34.247° , con una dilatación promedio de 1.4 mm.

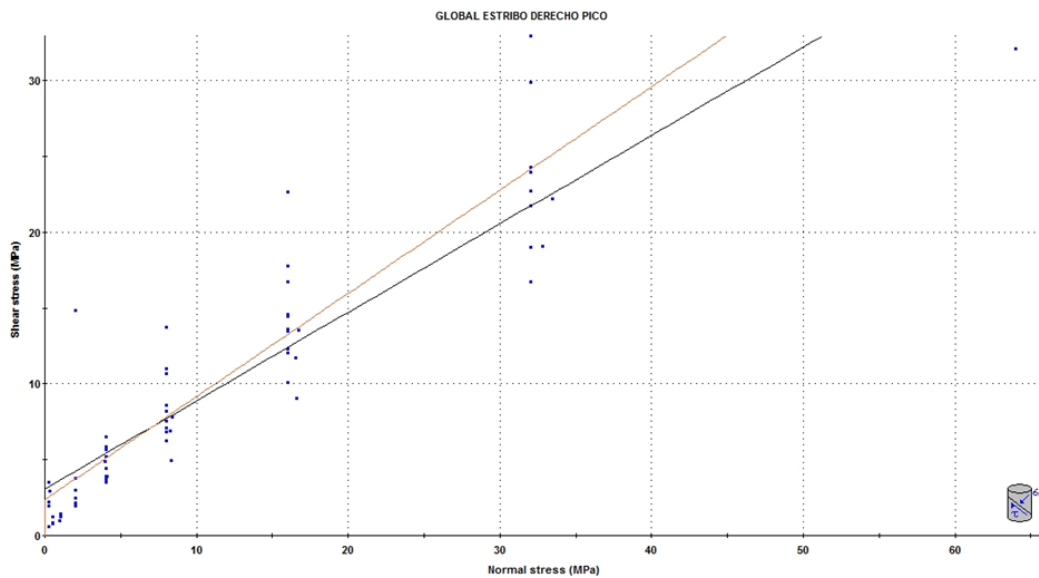


Figura 4. Ajuste geomecánico global del Estribo Derecho (valores pico) [1]

Para el estribo izquierdo se realizaron 13 ensayos de corte directo (figura 5), obteniendo los siguientes valores de cohesión 4.255 MPa y fricción 32.486°, con una dilatación promedio de 1.3 mm.

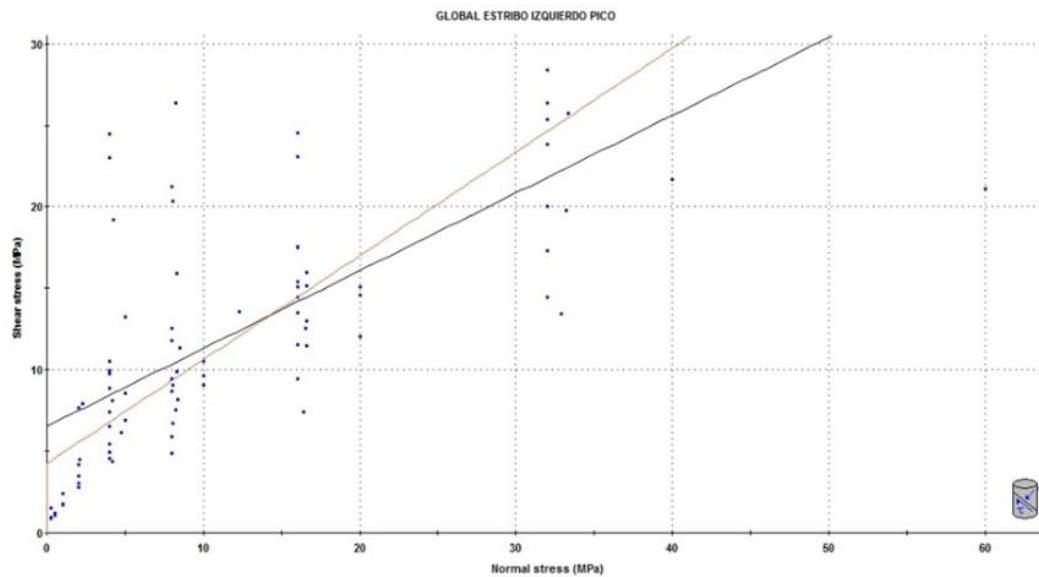


Figura 5. Ajuste geomecánico global del Estribo Izquierdo (valores pico) [1]

Como se pudo observar en los resultados, las dilataciones presentan una apertura muy prominente en la mayoría de los ensayos, con valores promedios de 1.3 mm para el estribo izquierdo y 1.4 mm para el estribo derecho, introduciéndolos dentro del tipo de rugosidad ondulada. Los valores mínimos que se obtuvieron, son poco indicativos de la rugosidad real que se encuentra en el macizo, esto pudo ser consecuencia de la gran meteorización que sufrió el espécimen ensayado al momento

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

de aplicarle la carga normal. Por tal motivo se decidió tomar el máximo como parámetro de rugosidad, ya que estos se adecuan con lo que se observó en el macizo, teniendo así como valores $JRC = 14$ para el estribo derecho y $JRC = 15$ para el estribo izquierdo, ubicándose dentro del tipo de rugosidad ondulada e intensificada respectivamente.

De igual manera se analizaron los resultados de corte de directo, realizados mediante la aplicación de carga normal y sometidos a diversas etapas con cargas altas para lograr romper la cohesión de las discontinuidades (véase reporte de ensayo de corte directo en Apéndice). Los datos fueron procesados mediante el criterio de Mohr-Coulomb, generando como resultado parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción competentes, alrededor de 2 MPa y 34° para el estribo Derecho y 4 MPa y 32° para el estribo izquierdo. Estos valores reflejan que el macizo requiere esfuerzos muy altos para poder ser cortado y provocar una caída de roca en los taludes.

En la relación entre los resultados de corte y el índice de rugosidad quedan evidenciados los datos obtenidos en cada caso; ya que los valores de cohesión y fricción son elevados. Esto indica que la cohesión conseguida en las muestras se logró superar las rugosidades de las discontinuidades, donde las rugosidades son muy profundas, creando saltos muy grandes.

Tomando en cuenta lo analizado anteriormente, es posible afirmar que el macizo rocoso en cuestión es de muy buena calidad. Sin embargo, los valores indican mayor probabilidad de fracturamiento en el estribo derecho, ya que cuenta con menos cohesión y un índice de rugosidad menor. Además de contar con material mucho más meteorizado y fallado.

Ensayos de Corte Directo [Caras Lisas –(cortadas)]

Para el estribo derecho se realizaron 5 ensayos de corte directo (figura 6), obteniendo los siguientes valores de cohesión 0.549 MPa y fricción 24.554° .

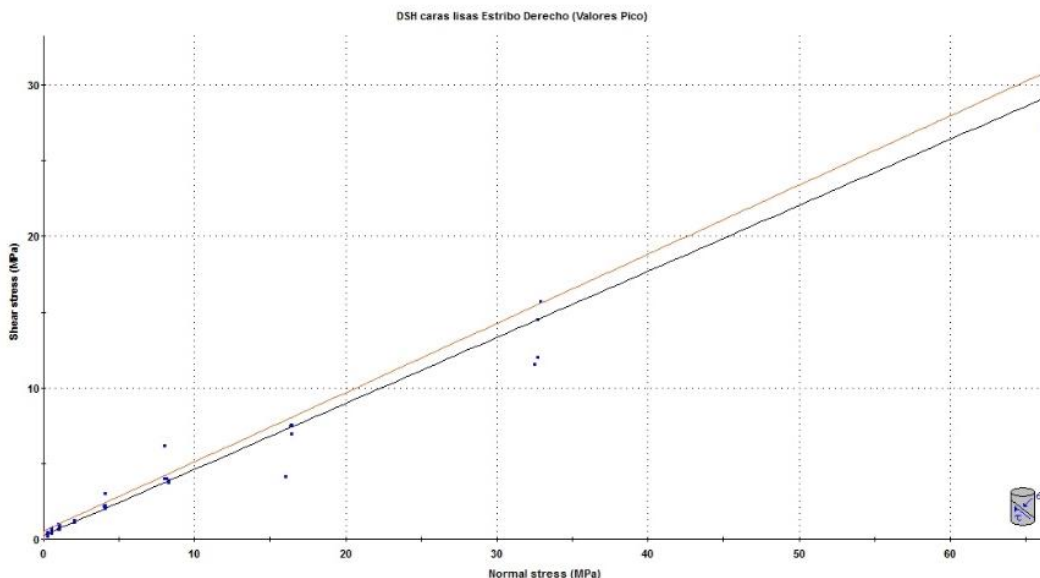


Figura 6. Ajuste geomecánico global del Estribo Derecho – caras lisas (valores pico) [1]

Para el estribo izquierdo se realizaron 4 ensayos de corte directo (figura 7), obteniendo los siguientes valores de cohesión 0.549 MPa y fricción 24.554° .

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Con los ensayos de corte directo con caras lisas realizados se comprobó la afectación de la rugosidad en las discontinuidades del macizo, además se logró definir la variación del ángulo de fricción con respecto a los ensayos de corte directo normales, que oscilan entre 25° en el estribo derecho y 28° en el estribo izquierdo, indicando que para ángulos mayores con valores de rugosidad muy bajos (por degradación de la roca por acción del agua o del aire), como algunos observados en los frentes de los taludes, las rocas estarán más propensas a deslizarse y caer. Por otro lado, se obtuvieron valores de cohesión poco competentes (0.5 MPa) aproximados a los correspondientes a un suelo, esto deleva que aunque los valores de rugosidad sean muy bajos, siempre se poseerá un valor de cohesión propenso al corte, reflejando así, una roca muy rugosa inclusive luego de sufrir altos grados de meteorización

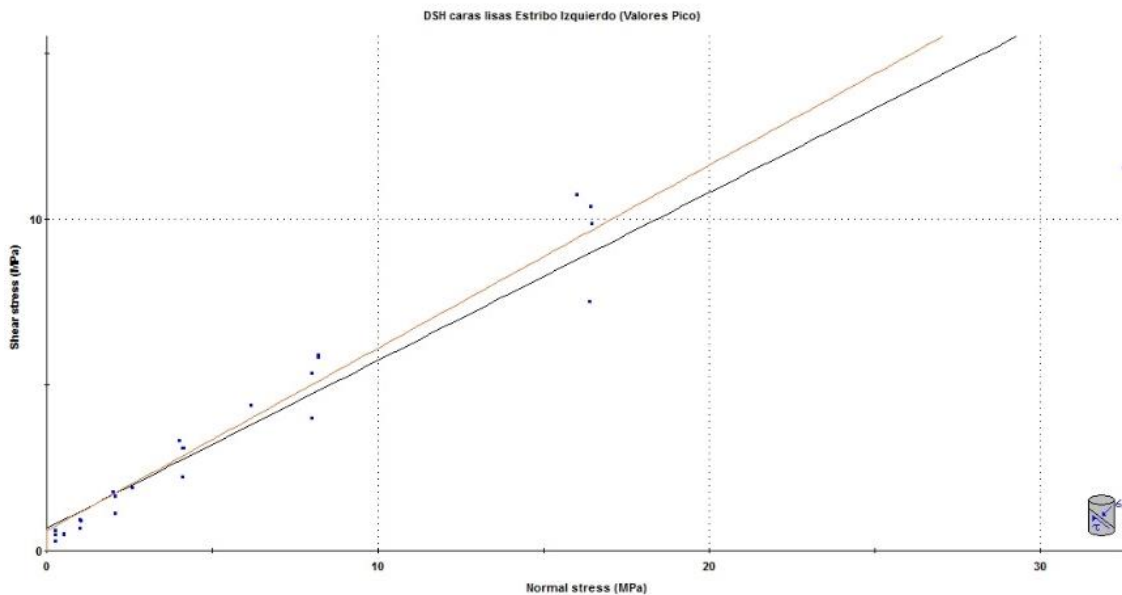


Figura 7. Ajuste geomecánico global del Estribo Izquierdo – caras lisas (valores pico) [1]

Ensayos Triaxiales

Se realizaron 8 ensayos triaxiales para cada estribo. Los resultados de los mismos son presentados en la figura 8.

Los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales, reportaron los valores de resistencia a profundidad que puede soportar el macizo de cada estribo, en donde se puede observar valores de esfuerzo axial efectivo en promedio de alrededor de 80MPa para el estribo izquierdo y 120Mpa para derecho, y con deformaciones que no sobrepasan el 2%. Las roturas de las gráficas esfuerzo vs deformación (ver figuras 6 y 7), de los ensayos indican un material sumamente resistente pero frágil, esto quiere decir que la falla en el mineral ocurre de forma violenta, ya que se necesita de mucha energía para poder deformarlo.

De igual manera podemos caracterizar estos esfuerzos efectivos dentro de las clasificaciones de ISRM y de la Geological Society of London (1970) en la categoría de Dura y según Bieniawski en Media para el estribo izquierdo, y para el estribo derecho que fue el que resistió más esfuerzo axial efectivo lo clasificamos como una roca muy dura para ISRM y la Geological Society of London

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

(1970) y Alta para Bieniawski. Los valores de esfuerzos tan elevados indican que la roca estará en la capacidad de soportar una gran cantidad de carga sobre ella.

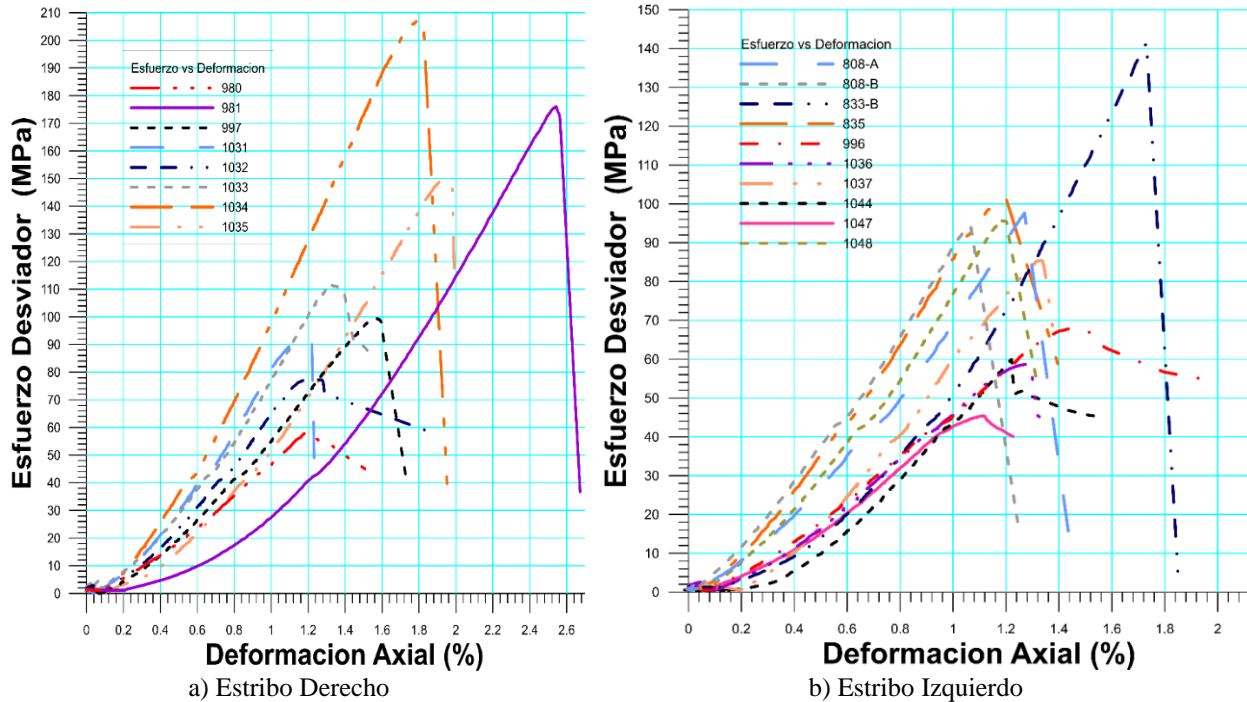


Figura 8. Ensayos triaxiales - Curvas esfuerzo vs deformación globales [1]

En dichos ensayos se puede reflejar que el estribo derecho tiene mayor resistencia que el izquierdo, pero esto no quiere decir que sea de menor calidad. Como se puede observar en la gráfica 73 de profundidad vs esfuerzo efectivo, los valores del estribo izquierdo están más concentrados en la recta promedio, en cambio los del estribo derecho se encuentran mucho más dispersos. Esto quiere decir que el comportamiento del macizo rocoso en el estribo izquierdo será más acertado que en el derecho. También se obtuvo que las deformaciones a medida que se profundizaba eran menores en el estribo izquierdo que para el derecho (ver figura 8a), de igual manera se observa que los datos del estribo izquierdo están más concentrados y los del derecho, muy dispersos.

Se pudo determinar de esta manera que estamos en presencia de una roca muy competente a profundidad, esto quiere decir que no tendremos problemas de resistencia ni deformaciones en el macizo y que la roca del estribo derecho es un poco más resistente que la del izquierdo pero tiende a sufrir más deformaciones.

De los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple se obtuvo, que la roca del estribo derecho es menos competente reportando un valor de 50 MPa, que la del estribo izquierdo que presenta un valor de 66 MPa, a la compresión no confinada promedio, sin embargo están dentro del mismo rango de referencia, dentro de la categoría de roca dura según el ISRM y la Geological Society of London y roca media según Bieniawsky. El comportamiento mecánico de las rocas de los estribos es similar y está comprendido en su mayoría por un material frágil-dúctil y algunas frágiles, con roturas violentas propias de un material competente y duro.

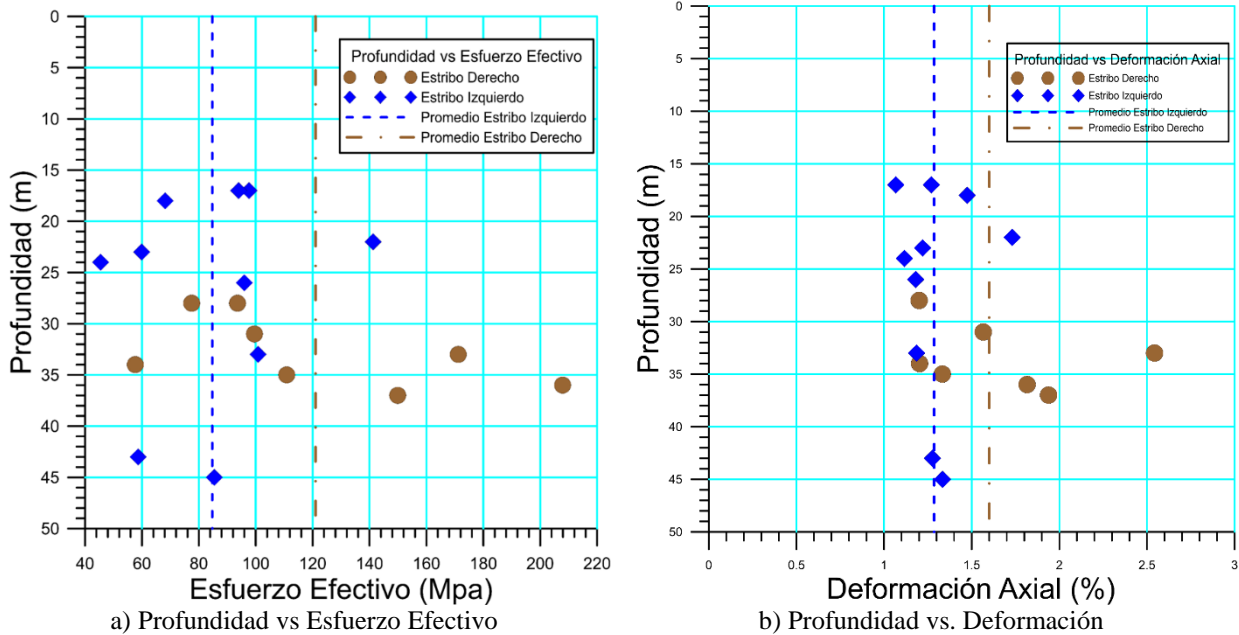


Figura 9. Profundidad vs Esfuerzo Efectivo y Profundidad vs. Deformación [1]

Ensayo de Compresión Uniaxial

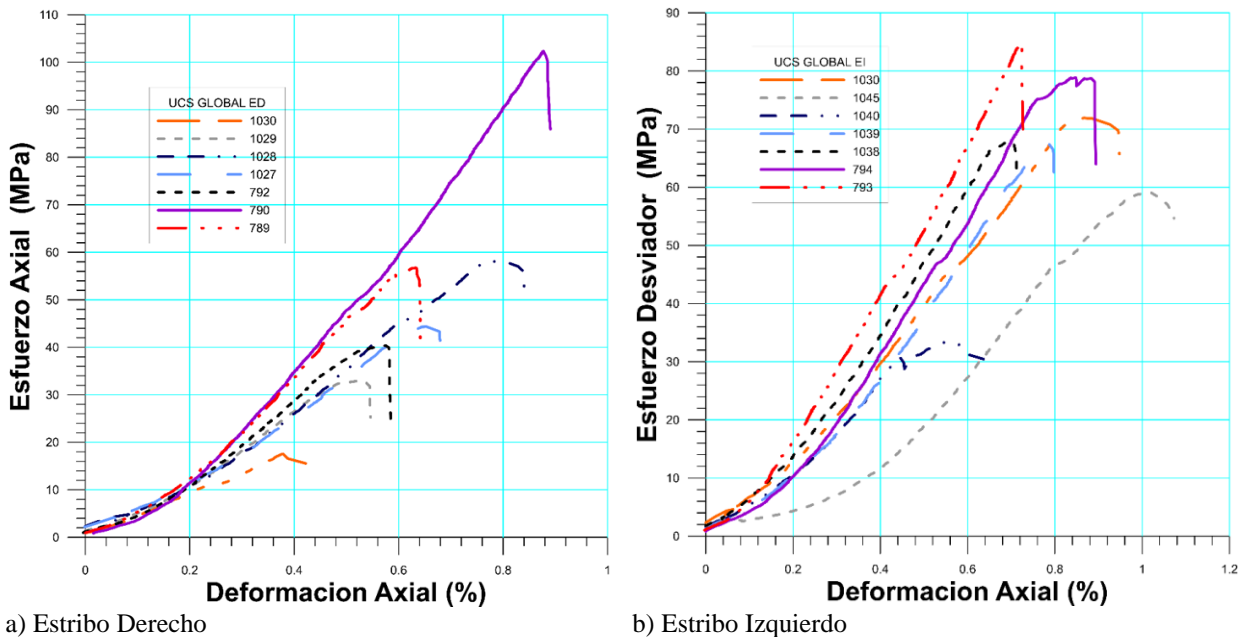


Figura 10. Ensayos de Compresión Uniaxial - Curvas esfuerzo vs deformación globales [1]

De igual manera se observó que los resultados de los esfuerzos fueron considerables con valores máximos entre 80 y 100 MPa con deformaciones muy pequeñas. También se clasificó según sus parámetros mecánicos, como el módulo de elasticidad tangente, donde se obtuvo módulos promedios para el estribo derecho y el izquierdo, de entre 10 y 9 GPa respectivamente, obteniendo

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

así rocas de muy alta rigidez, y un comportamiento cuasi-elástico, lo cual queda evidenciado con las gráficas de esfuerzos vs deformación globales y los valores de E_m obtenidos. Dentro de la clasificación de Deere & Miller la cual a partir del módulo de elasticidad tangente al 50 % y la resistencia a la compresión simple, arroja como resultado el tipo de roca (Figura 11), en este ámbito se consiguió tener valores para el estribo derecho de resistencia media y baja rigidez, obteniendo un tipo de roca basáltica, y para el estribo izquierdo una resistencia alta y baja rigidez, donde el tipo de roca se aproxima a un esquisto de foliación gruesa.

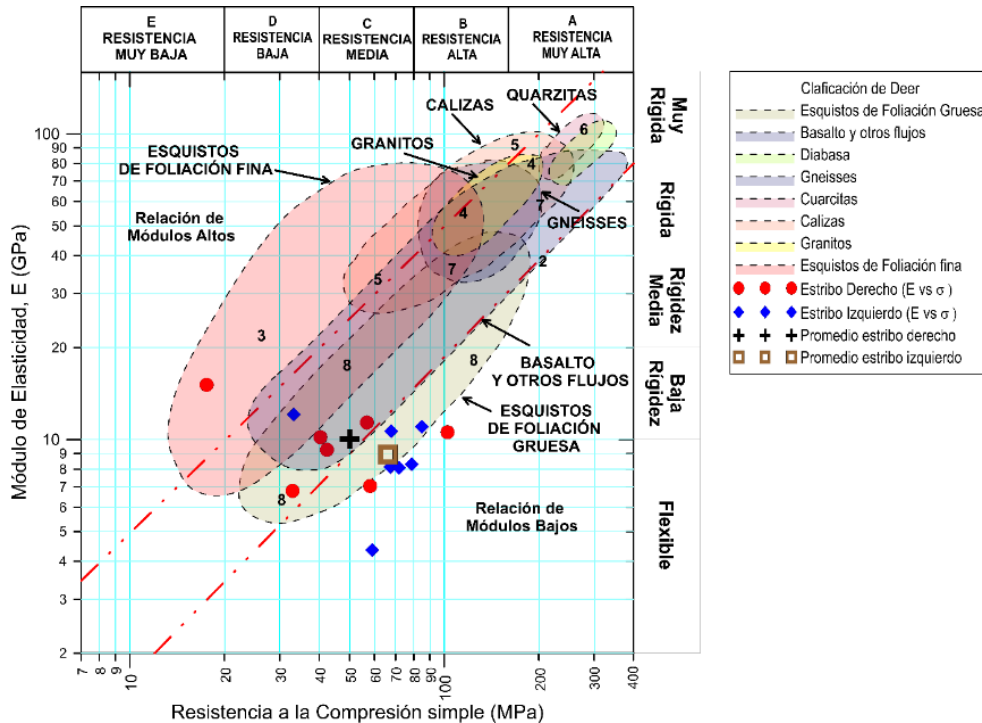


Figura 11. Clasificación de Deere según la relación entre el módulo de elasticidad tangente al 50% y la resistencia uniaxial [1]

Análisis de Estabilidad de Taludes

Para realizar el estudio de estabilidad en la presa, se tomó el criterio de zonificar cada uno de los estribos, dividiendo el área en distintas zonas con sus respectivos taludes. Debido a lo dificultoso para la toma de datos estructurales y a problemas de logística o derrumbes de algunos taludes, más que todo en el estribo derecho, existen zonas donde no se pudo obtener información, pero en su mayoría si se logró la toma de valores.

Se realizaron los análisis cinemáticos y mecánicos de estabilidad en roca, con fallas tipo plana y de cuña, las cuales fueron las observadas en los frentes de los taludes. En los casos de falla plana se estudió a través de los polos de las discontinuidades, donde todos aquellos que estaban dentro de la zona de falla presentaron inestabilidad y las de cuña con las familias principales que se obtuvieron, donde los puntos de intersección de las familias que cayeran sobre la zona de falla presentaban inestabilidad, cabe acotar que hay taludes donde se obtuvieron una sola familia y se tomó los puntos de intersección de las discontinuidades particularmente. Se utilizó la nomenclatura R para referirse al estribo derecho y L para el estribo izquierdo.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

Los resultados obtenidos demostraron las distintas configuraciones de falla que presentan los taludes, de las cuales ninguna resulto ser inestable, con factores de seguridad mayores a 1. Los distintos bloques que se forman en su mayoría las cuñas son de un grosor muy delgado, y con configuraciones muy agudas dentro del talud, impidiendo que estas puedan fallar. A parte de la geometría también está presente la resistencia de los macizos de los estribos, los cuales tienen una cohesión muy alta al igual que el ángulo de fricción. Cabe acotar que se exceptuó el valor del coeficiente sísmico en los estudios.

También se realizó la variación del Factor de seguridad en función de la cohesión, lo cual indicó que en la totalidad de los análisis, el valor para que resulte inestable las configuraciones, se obtuvo en las curvas de cohesión 0 MPa. Esto revelo que la condición más desfavorable, es aquella en donde las discontinuidades pierden su adherencia. Según Broch [4], muchas rocas muestran una disminución significativa en su resistencia a medida que aumenta su contenido de humedad. Es más típico aun, que muchas rocas sufran pérdidas de resistencia de un 30 a un 100% como resultado del deterioro químico del cemento o de la arcilla cementante. De acuerdo a Brace & Martin [5], en el caso de los macizos rocosos fracturados, se puede suponer que en las discontinuidades las presiones de agua aumentarán y se disiparán más rápidamente que en los poros de los bloques de roca intacta. De esta manera se observó que el agua podría influir de manera perjudicial en las discontinuidades de los taludes logrando una caída de rocas.

Se obtuvo asimismo, distintas familias globales en cada estribo, ninguna de sus orientaciones afectarían la estabilidad de la presa en ninguno de sus lados, ya que todas son opuestas a la direcciones del eje de la presa, de igual manera sus buzamientos tampoco producirían una inestabilidad, ya que sus ángulos son mayores al de los estribos. Las familias que afectan los estribos son F1 y F2 para el derecho con un ángulo aproximado de 70° y F2 para el izquierdo con un ángulo aproximado de 50° de inclinación.

Caracterización Geomecánica de los Estribos

Se realizaron las clasificaciones geomecánicas, tales como RMR (Rock Mass Rating), GSI (Geological Strength Index), SMR (Slope Mass Rating), y DMR (Dam Mass Rating), con fin de determinar la calidad de los macizos rocos de cada estribo, mencionados anteriormente en el apartado del Marco Teórico. El método de excavación utilizado en los estribos es por medio de voladuras o excavaciones mecánicas. Las zonas que no presentan clasificación RMR, es debido a que no se pudo estudiar los taludes, el SMR se estudió solo en aquellas zonas que presentaban inestabilidad, el GSI por medio de la formula $GSI=RMR-5$ [6] y el factor RQD por medio de $RQD=115-3.3*J_v$ [7], ya que los valores de RMR son mayores a 23 en su totalidad.

Modelo Geomecánico de los Estribos

Los resultados obtenidos mediante las distintas clasificaciones geomecánicas nos arrojan valores sumamente competentes en cada una de ellas, clasificando al macizo según el RMR en buena para el estribo derecho y en regular para el estribo izquierdo, se considera que no habrá problemas de deformaciones en los macizos debido a que su DMR es alto, sin embargo se debe tomar con precaución el estribo derecho ya que se encuentra en una zona limite, además existen ciertas partes donde puede llegar a generar complicaciones leves como es el caso del estribo izquierdo en su parte más alta con el CCR 3. Tenemos que tomar en cuenta un factor sumamente primordial como es el agua, tanto en la construcción de la presa sobre todo en épocas de lluvia y culminada esta, tener

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

suma cautela con la que estará contenida en el vaso de presa, ya que puede llegar a ocasionar deslizamientos. Esto se demuestra en los valores de SMR obtenidos en los cuales todos son bajos y necesitan un refuerzo como medida preventiva, aparte el GSI es indicativo de estamos en presencia de un macizo muy fracturado, formado por varias familias de discontinuidades y esto queda evidenciado en el RQD donde la se clasifica a la roca intacta de mala a regular.

Modelo de Elementos Finitos

A continuación se presenta un estudio de elementos finitos, con el cual se estudiara las deformaciones que pudiesen ocurrir en los estribos, durante los procesos, antes, durante y después de construcción de la presa, esto con el fin de analizar que dimensiones se podrían alterar a lo largo de la ejecución de la obra. Según Schrader [8] para los valores de cohesión de los distintos tipos de concretos de concreto compactado con rodillo, se tomó el 5 % de la resistencia a la compresión simple y se usa como patrón de referencia 45° para el ángulo de fricción.

Se realizó un mallado gradado, con nodos triangulares, con un factor de iteración de 0.1 y se dividió el estudio en 7 etapas, donde se estudió el macizo sin ningún tipo de carga, y se separaron los distintos concretos en varias alturas dependiendo de su forma de vaciado. En la figura 12, se presenta el modelo geomecánico empleado y en la Tabla 1, las características de los materiales. Realizandose el modelado en cada una de las etapas constructivas de la presa, solo se presentará la etapa con la presa totalmente construida (figura 13).

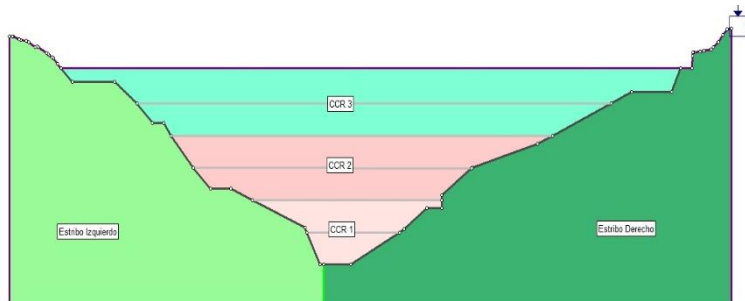







Figura 12. Perfil estudiado de la presa con los distintos tipos de materiales (Vista desde aguas arriba) [1]

Tabla 1. Características de los materiales utilizados en el Modelo de Elementos Finitos [1]

Material	Legenda	Peso Unitario (ton/m ³)	Módulo Elástico (MPa)	Coefficiente de Poisson	Esfuerzo a la Tracción (MPa)	Angulo de Fricción (deg)	Cohesión (MPa)
CCR 1		2.473	26000	0.22	-1.4	45	0.5
CCR 2		2.5	29000	0.18	-1.6	45	1
CCR 3		2.55	36000	0.15	-2	45	1.25
Estribo Derecho		2.8	10000	0.45	-13.736	34.705	2.064
Estribo izquierdo		2.7	9000	0.4	-7.452	35.453	3.954

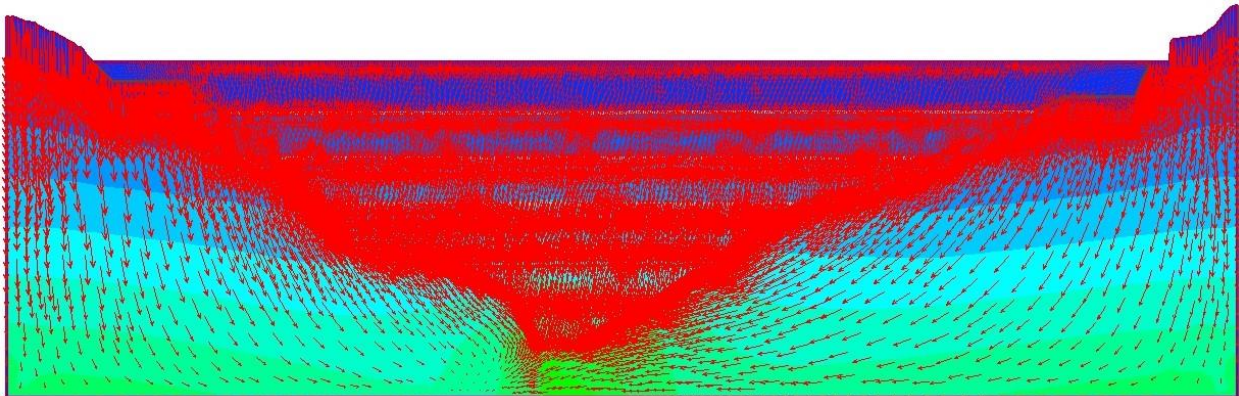


Figura 12. Representación de la direcciones de los esfuerzos en la etapa 7 [1]

Para la etapa 7 se completa el vaciado de toda la presa, podemos observar que las deformaciones que ocurren en comparación a la etapa 1 son de apenas 4 mm en vertical y 2 mm en horizontal, esto es debido a la que la roca tiene buena respuesta esfuerzos compresivos.

CONCLUSIONES

La roca posee metamorfismo de nivel bajo a medio, ubicándola dentro de la facies metamórfica de los esquistos verdes, afectando su estructura cristalina y mineralógica, modificando las propiedades mecánicas de su protolito ígneo y haciéndola menos competente.

El tipo de roca encontrado en los estribos de la presa es impermeable y poco porosa, con una cantidad de absorción muy baja. Por tal razón la posibilidad de que exista presencia de agua en el macizo es muy poco probable, y si fuera el caso, tendría que ser por permeabilidad secundaria, a través de fallas o discontinuidades abiertas.

Se comprobó que las discontinuidades de los macizos presentan un coeficiente de rugosidad muy alto, aumentando la cohesión e imposibilitando el movimiento de las mismas en los taludes.

Los datos de cohesión y fricción obtenidos mediante ensayos de corte son valores de una roca de alta competencia, indicando que su resistencia al corte será muy elevada, por tanto es muy poco probable que falle cualquier tipo de plano inestable en el macizo.

Debido a la buena calidad del macizo rocoso podemos ratificar que podrá soportar todo el peso de la presa, y no sufrirá deformaciones en sus bases ya que a profundidades mayores, la roca tendrá un mejor comportamiento. De igual manera la roca tampoco sufrirá grandes deformaciones en la parte superficial debido a que su resistencia a la compresión simple es alta.

Las inestabilidades en los taludes que puedan ocurrir, serán causadas por la disolución del material cementante (óxido), que se encuentra entre las juntas, a causa de la percolación del agua que pueda generar factores externos como la lluvia. Ya que su adherencia será disminuida en mayor proporción, trayendo como consecuencia el desprendimiento de bloque.

Las fallas en cuña y planas que se forman en los taludes son delgadas y acostadas, debido a que los buzamientos de las discontinuidades son muy inclinados, haciendo que los bloques no se deslicen,

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

sino que se fracturen y caigan.

Las familias de discontinuidades resultantes no afectan la estabilidad de los estribos, ni en orientación ya que son casi perpendiculares a la dirección de los ejes de la presa y tampoco en buzamientos ya que todas son mucho más inclinadas los estribos.

Quedo evidenciado que la calidad de los macizo rocoso es buena incluso teniendo un RQD muy malo y taludes muy roca muy fracturada. Esto es indicativo de que nos encontramos en una roca competente que asimilara de manera óptima cualquier tipo de esfuerzo a la que pueda ser sometida

Debido a que los valores de SMR obtenidos en los taludes estudiados fueron muy bajos, se deberá de colocar un sostenimiento temporal como concreto proyecto o shotcreet, para garantizar que el desprendimiento de roca no sea posible, en los bloques donde su configuración sea muy grande se deberá de colocar anclajes pasivos, para inmovilizarlo, asegurando las medidas de seguridad para el personal que esté trabajando, hasta que sea fundada la presa.

Los valores de DMR demuestran que no se tendrá ningún tipo de problemas con los estribos en relación con sus orientaciones. También se garantiza la estabilidad completa de la presa y que presentara pocos problemas locales. Esto asegura que el macizo rocoso es apto para ser utilizado como zona de fundación para la presa, gracias que su material es muy resistente.

Por medio del análisis de elementos finitos se obtuvo que las deformaciones que podría sufrir el macizo rocoso son mínimas pudiendo ser de unos poco milímetros, esto significa que el material asimilara muy bien el todo el peso de la presa. No se obtuvo deformaciones significantes entre las secciones de la presa y los esfuerzos resultantes estarán dirigidos a al terreno.

REFERENCIAS

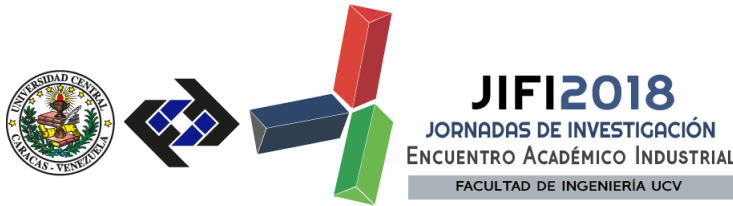
- [1] V. J. Manuel Rico, «Análisis Geomecánico y Estabilidad de los Estribos en la Presa sobre el Río Cuira del Sistema Tuy IV, en el Sector El Dinero, Municipio Acevedo, estado Miranda,» Universidad Central de Venezuela - Facultad de Ingeniería, Caracas, 2015.
- [2] C. Diaz y G. Ochoa, «Análisis y correlación entre el parámetro RQD y la permeabilidad Lugeón,» Caracas, 2009.
- [3] A. Perez D'Gregorio, «Estudio geológico de la cuenca del rio Cuira, Estado Miranda,» Caracas, 1986.
- [4] B. Cortiula , «Estudio geológico de un area ubicada al sur de Panaquire y este del rio Cuira.Estado Miranda,» Caracas, 1983.
- [5] E. Broch, «The influence of water on some rock properties,» de *Proc. 3rd ISRM Congress*, Denver, 1974.
- [6] W. F. Brace y M. R. J, «Test of the law of efective stress for crystalline rocks of low porosity,» *Int. J. rock Mech. Min. Sci.*, vol. 5, pp. 415-426, 1968.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>



- [7] P. Ramirez Oyanguren, *Estabilidad de Taludes en Rocas Competentes*, Madrid: Fundacion Gomez-Pardo, 1980, p. 337.
- [8] D. U. Deere y D. W. Deere , «The Rock Quality Designation (RQD) Index in the practice,» de *Rock Classification Systems for Engineering Purposes ASTM STP 984*, Philadelphia, Louis Kirkaldie, 1988, pp. 91-101.
- [9] E. K. Schrader, «RCC Dam Design: Analyzing Stress and Stability,» *HRW-HYDRO REVIEW WORLDWIDE*, 2008.

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Telf.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>