

## ESTUDIO DE SEDIMENTACIÓN EN LA OBRA DE TOMA DE VALLE GRANDE

**Regenahs de Marín, Noemí<sup>(1)</sup>; Menajovsky, Sergio<sup>(2)</sup>; Pardini, Maria<sup>(3)</sup>; Werlen, María Eugenia<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> CAP - Comité Argentino de Presas; <sup>(2)</sup> EVARSA – Evaluación de Recursos S.A.; <sup>(3)</sup> Consultor Independiente; <sup>(4)</sup> EVARSA  
<sup>(1)</sup> [ingmarin1@yahoo.com.ar](mailto:ingmarin1@yahoo.com.ar) ; <sup>(2)</sup> [menajovs@evarsa.com.ar](mailto:menajovs@evarsa.com.ar) ; <sup>(3)</sup> [malisa\\_pardini@gigared.com](mailto:malisa_pardini@gigared.com) ; <sup>(4)</sup>  
[mewerlen@evarsa.com.ar](mailto:mewerlen@evarsa.com.ar)

Paraná 760 – (5500) Ciudad de Mendoza - ++54-261-4230005

### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo la verificación de la estabilidad de los taludes de sedimentos sumergidos frente a la reja de la obra de toma ante la eventualidad de un sismo equivalente a un  $C = 0.3$  g y se realizó por encargo de la empresa HINISA Hidroeléctrica Los Nihuiles S.A.

A través de inspecciones efectuadas, se había detectado en años anteriores la presencia de sedimentos acumulados frente a las rejas de la obra de toma, habiendo cubierto los mismos la reja 5 (inferior) en su totalidad y parte de la superficie de la reja 4. Estos hechos habían dado origen a trabajos de limpieza específicos y a diferentes análisis y verificaciones que fueron completados con el presente estudio.

La zona de estudio en el área de influencia de la obra de toma quedó delimitada al principio por una cuadrícula de perfiles longitudinales y transversales a la sección de rejas de 45.50 m y 39.00 m respectivamente.

Posteriormente el área del estudio fue ampliada hacia el centro del embalse, para verificar las cotas alcanzadas por los sedimentos en una zona más extensa que en las inmediaciones de la obra de toma.

La metodología de análisis comprendió la ejecución inicial de un relevamiento batimétrico de precisión que permitió determinar la conformación geométrica del material depositado (alturas, taludes, etc.) y, realizando comparaciones con batimetrías anteriores, determinar el volumen de material depositado, además de precisar su ubicación con respecto a estructuras, fondo y/o taludes naturales.

Paralelamente a los relevamientos batimétricos, se procedió a la extracción de muestras representativas de los sedimentos depositados para su posterior análisis en laboratorio.

Finalmente, se realizó una verificación de estabilidad de taludes estática y dinámica.

### ABSTRACT

The study had as objective the verification of the stability of the slopes of sediments submerged in front of the grate of the water intake structure before the eventuality of an earthquake equivalent to a  $C = 0,3$  g and it was made by order of the company HINISA Hidroeléctrica Los Nihuiles S.A..

Through inspection carried out in the past years, the presence of accumulated sediments had been detected in front to the grates, having covered grate 5 (topdown) in its totality and a portion of grate 4. These facts caused specific works of cleaning and different analyses and verifications that were completed with the present study.

The zone of study was delimited in the beginning by a grid of longitudinal and cross-sectional profiles in the area of the water intake structure of 45,50 m for 39,00 m.

Later the area of the study was extended towards the center of the reservoir, to verify the levels reached by sediments in a zone more extensive than in the environs of the water intake.

The methodology of the study included the initial execution of a bathymetrie of precision that allowed to determine the geometric conformation of the deposited sediment (heights, slopes, etc.) and, making comparisons with previous bathymetries, to determine the volume of deposited material, besides to define its location with respect to structures, bottom and/or natural slopes.

With the bathymetrie, representative samples of sediments were extracted for their later analysis in laboratory.

Finally, a verification of static and dynamic stability of slopes was made.

## INTRODUCCIÓN

El Río Atuel, nace en la cordillera mendocina, en su extenso recorrido atraviesa un profundo cauce de erosión que ha sido rellenado con aluviones durante lo que va del período del cuaternario, zona donde la ingeniería vista su topografía desarrolló obras hidráulicas que forman el denominado Sistema Nihuil.

La presa “Valle Grande” forma parte de uno de esos emprendimientos, fue construida como compensador del Sistema. Fue emplazada en la estrecha garganta, que permitió embalsar 160 hm<sup>3</sup>, lugar donde convergen dos cauces secos, el Rincón del Molle sobre su margen derecha y Cochi-Có en la izquierda, cauces que sufren una transformación de tipo torrencial cuando se producen las lluvias.



**Figura N° 1** – Presa y obra de toma (vista aérea)

Se comenzó a ejecutar en el año 1958, finalizando en 1963. A sus principales roles: atenuación de crecidas y regulación de caudales para riego se le sumó el uso hidroeléctrico del agua embalsada con la construcción, a pie de presa sobre su margen derecha, de la Central Hidráulica Nihuil IV, puesta en servicio en el año 1998.

La presa es tipo Noetzli-Alcorta de 115mts de altura máxima, según el esquema técnico, de gravedad a contrafuerte con cabezas redondas, sección horizontal doble-té, y estructura aligerada de hormigón simple. El coronamiento de 306,90 m de longitud y 7,40 m de ancho forma la calzada para tránsito vehicular y veredas laterales para la circulación peatonal.

En el cuerpo de la presa, se encuentra emplazado el vertedero, tipo libre perfil Creager de catorce vanos con capacidad de evacuación de crecidas de 600 m<sup>3</sup>/s, para cota máxima de embalse.

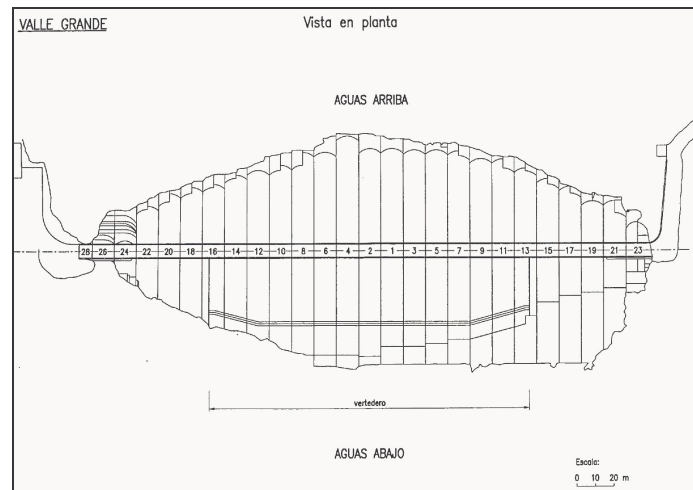


Figura N° 2 – Planta de la presa

Sobre margen derecha se encuentra la Obra de Toma para Riego y Central. Está compuesta por una casa de maniobras, un plano inclinado por donde se desplaza la compuerta vagón y una obra de toma con cinco paños de rejas de protección y compuertas de control con accionamiento electromecánico. La conducción, se trata de un túnel excavado en el macizo rocoso revestido en hormigón y un pantalón blindado con una tetrafurcación que da lugar a cuatro conductos, dos para riego y dos para generación.

El Río Atuel tiene sus nacientes en los cordones cordilleranos, siendo la nieve acumulada durante el invierno fuente de alimentación de la corriente. En el resto del área de drenaje, desde Septiembre a Febrero se producen precipitaciones pluviales que oscilan entre 200 y 250 mm/año.

Aguas abajo de la zona de alimentación nival, los ríos se desarrollan en un nivel abrupto, presentado un alto poder erosivo. Esta característica se traduce en un significativo volumen de material sólido transportado por la corriente.

El embalse que se analiza se ubica en zonas donde los pendientes aun son pronunciadas, pero dadas las construcciones de presa en el río se modifican estas condiciones naturales. Se produce un proceso de colmatación de embalse ya que la capacidad de transporte de sedimentos del río y afluentes al entrar al lago se reduce, no permitiendo su transporte hacia los ambientes llanos ubicado mas abajo.

De esta forma el río tiene un régimen con crecidas en el verano como consecuencias de la fusión de la nieve, a las que se le adiciona picos de altos caudales producto de las lluvias.

Aguas abajo de la zona de alimentación nival, los ríos se desarrollan en un nivel abrupto, presentado un alto poder erosivo. Esta característica se traduce en un significativo volumen de material sólido transportado por la corriente.

Previo a la construcción de las obras hidráulicas cuando el río ingresa en áreas mas llanas, al disminuir las pendientes y ensanchar su cauce, se deposita el material conformando conos aluviales.

El embalse que se analiza se ubica en zonas donde los pendientes aun son pronunciadas, pero dadas las construcciones de presa en el río se modifican estas condiciones naturales. Se

produce un proceso de colmatación de embalse ya que la capacidad de transporte de sedimentos del río y afluentes al entrar al lago se reduce, no permitiendo su transporte hacia los ambientes llanos ubicado mas abajo.

La zona de estudio compendió un área que abarca la Obra de Toma para Riego y Aducción a Central perteneciente a la Presa Valle Grande.

## **OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

La encomienda recibida por parte de la empresa HINISA consistió en la verificación de la estabilidad de los taludes de sedimentos sumergidos frente a la reja ante la eventualidad de un sismo equivalente a un  $C = 0.3$  g.

La metodología de análisis oportunamente propuesta y aprobada por ORSEP, comprendió la ejecución inicial de un relevamiento batimétrico que permitiera, realizando comparaciones con batimetrías anteriores, determinar el volumen de material depositado y su conformación geométrica (altura, taludes, etc.), además de precisar su ubicación con respecto a estructuras, fondo y/o taludes naturales.

Paralelamente a los relevamientos batimétricos, se procedió a la extracción de muestras representativas de los sedimentos depositados para su posterior análisis en laboratorio.

Finalmente, se realizó una verificación de estabilidad de taludes estática y dinámica mediante el programa PC STABL5.

## **ANTECEDENTES DISPONIBLES**

A través de inspecciones efectuadas, se había detectado en años anteriores la presencia de sedimentos acumulados frente a las rejas de la obra de toma. Estos hechos habían dado origen a trabajos de limpieza específicos y a diferentes análisis y verificaciones que fueron completados con el presente estudio.

*Inspección año 2001:* El objetivo de las actividades desarrolladas consistió en una inspección fílmica subacuática y monitoreo visual autónomo, con el fin de constatar el grado de acumulación de material con relación a los trabajos realizados en años anteriores. La visibilidad fue escasa y por ello la filmación no resultó tan objetiva.

El resultado del relevamiento puede observarse en la Figura N° 3 y muestra el grado de acumulación de material sobre la 5° reja (inferior) que en los laterales alcanzaba a la mitad de altura del paño, siendo menor en el centro. Se estimó una superficie de taponamiento de un 30% a 40% en la reja, con material de poca consistencia.

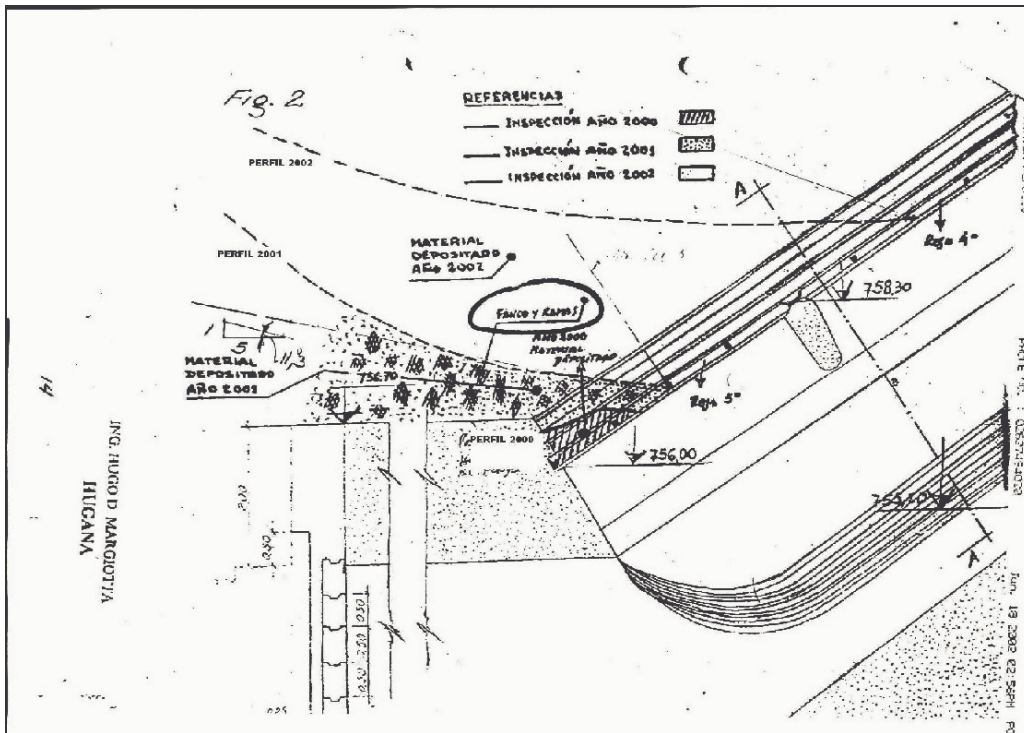


Figura N° 3 – Antecedentes HUGANA – Perfiles Años 2001-2002

*Inspección año 2002:* Se había encontrado la reja N° 5 totalmente cubierta por sedimentos y un 25% de la superficie de la reja N° 4 (Figura N° 3). El material se había depositado formando un talud con pendiente en la dirección del flujo. La pendiente del talud era relativamente suave en la dirección paralela al flujo, mientras que en el plano perpendicular, los taludes laterales presentaban una pendiente mayor.

El relevamiento fue hecho mediante una inspección fílmica subacuática y monitoreo visual autónomo.

*Relevamiento batimétrico manual 2003:* Este relevamiento se efectuó contemporáneamente a una inspección visual de las rejas efectuada mediante cámaras subacuáticas. El relevamiento consistió en la detección del fondo del embalse mediante una sonda manual. El resultado del relevamiento puede observarse en la Figura N° 4 y la Figura N° 5 muestra el perfil coincidente con el eje de la obra de toma.



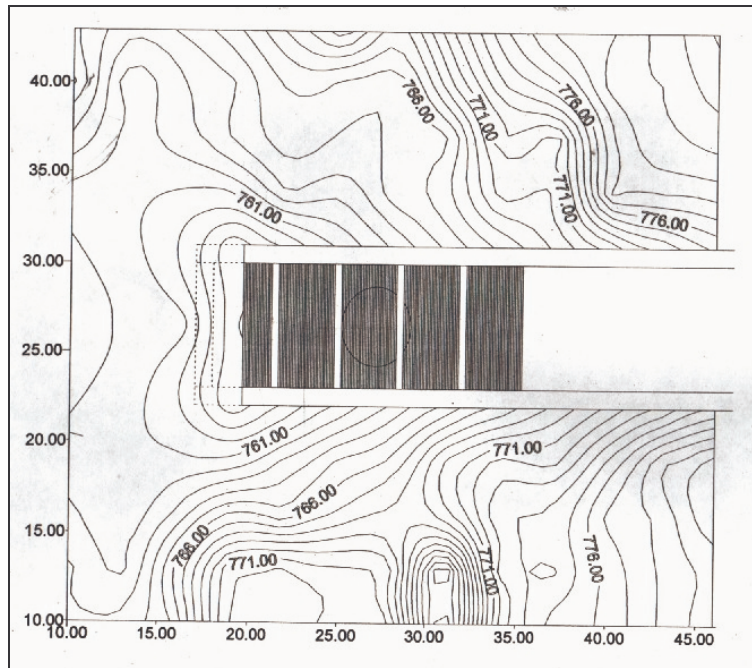


Figura N° 4 – Relevamiento Batimétrico Manual Año 2003

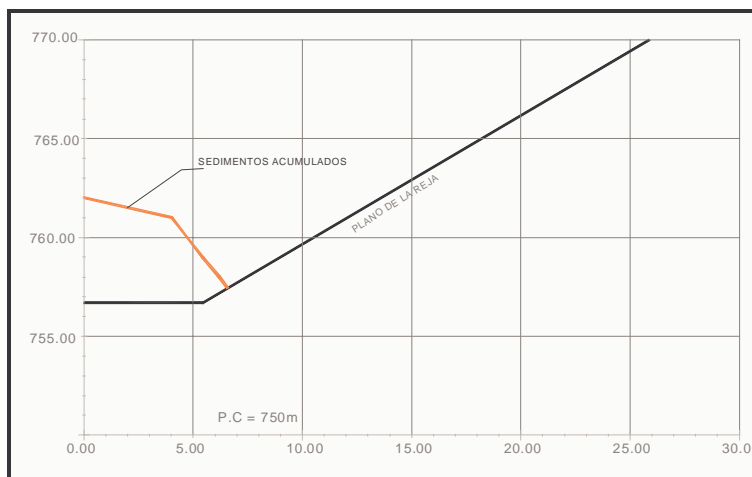


Figura N° 5 – Relevamiento Batimétrico Manual Año 2003 – Perfil en el eje de la obra de toma

## ESTUDIO BATIMÉTRICO Y TOMA DE MUESTRAS

El estudio se inició con un relevamiento batimétrico que permitiera, realizando comparaciones con las batimetrías anteriores, determinar el volumen de material depositado y su conformación geométrica (altura, taludes, etc.), además de precisar su ubicación con respecto a estructuras, fondo y/o taludes naturales.

El equipamiento empleado para la realización de la batimetría fue una Ecosonda Batimétrica SIMRAD modelo EA501P y dos equipos GPS diferenciales. Posteriormente, se trazaron las curvas de nivel con una equidistancia de 1 metro utilizando Autocad y Surfer. Los perfiles fueron dibujados a partir de las curvas de nivel obtenidas.

La zona de estudio en el área de influencia de la obra de toma quedó delimitada al principio

por una cuadrícula de perfiles longitudinales y transversales a la sección de rejas de 45.50 m y 39.00 m respectivamente (Figura N° 6).

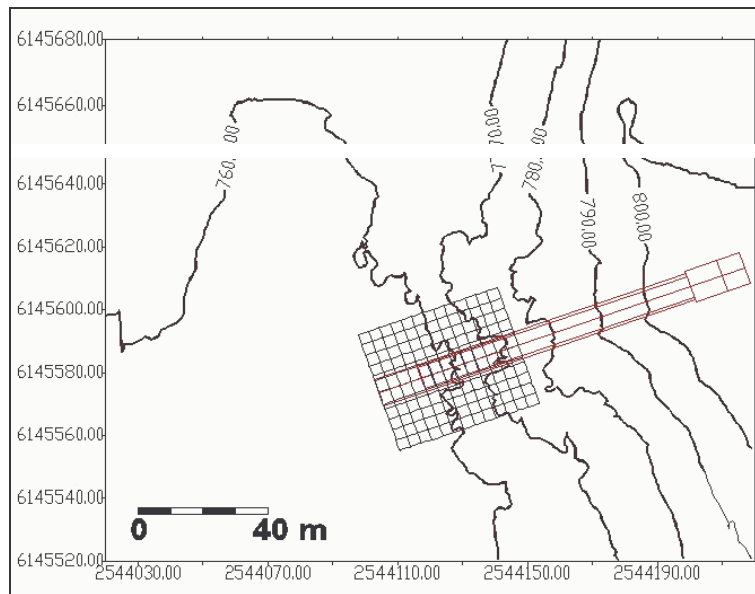


Figura N° 6 – Area del estudio

Se realizaron además tres perfiles adicionales que partiendo de la obra de toma alcanzaron la margen opuesta. Estos perfiles se muestran en planta en la Figura N° 7. Los resultados de estos tres perfiles confirmaron lo obtenido en la batimetría de precisión.

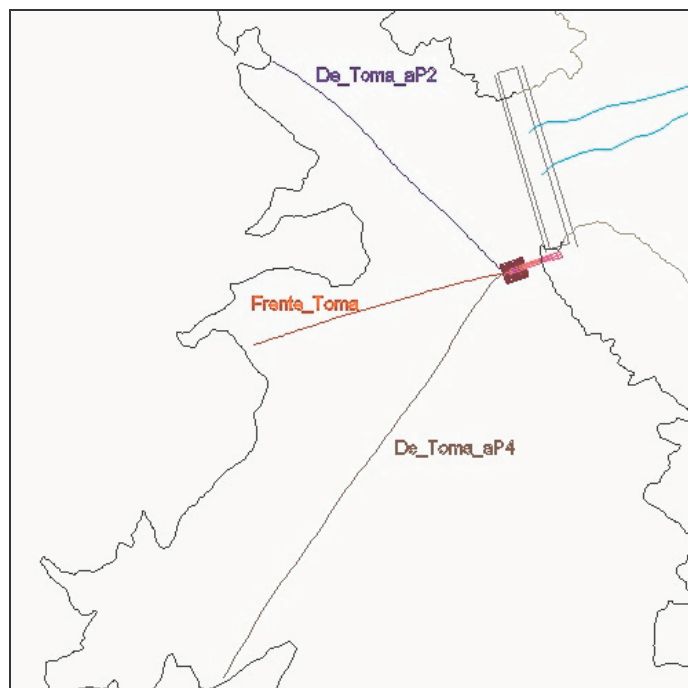


Figura N° 7 - Batimetría EVARSA Año 2004 – Perfiles desde la Toma

El relevamiento batimétrico de precisión arrojó los resultados indicados en la Figura N° 8.

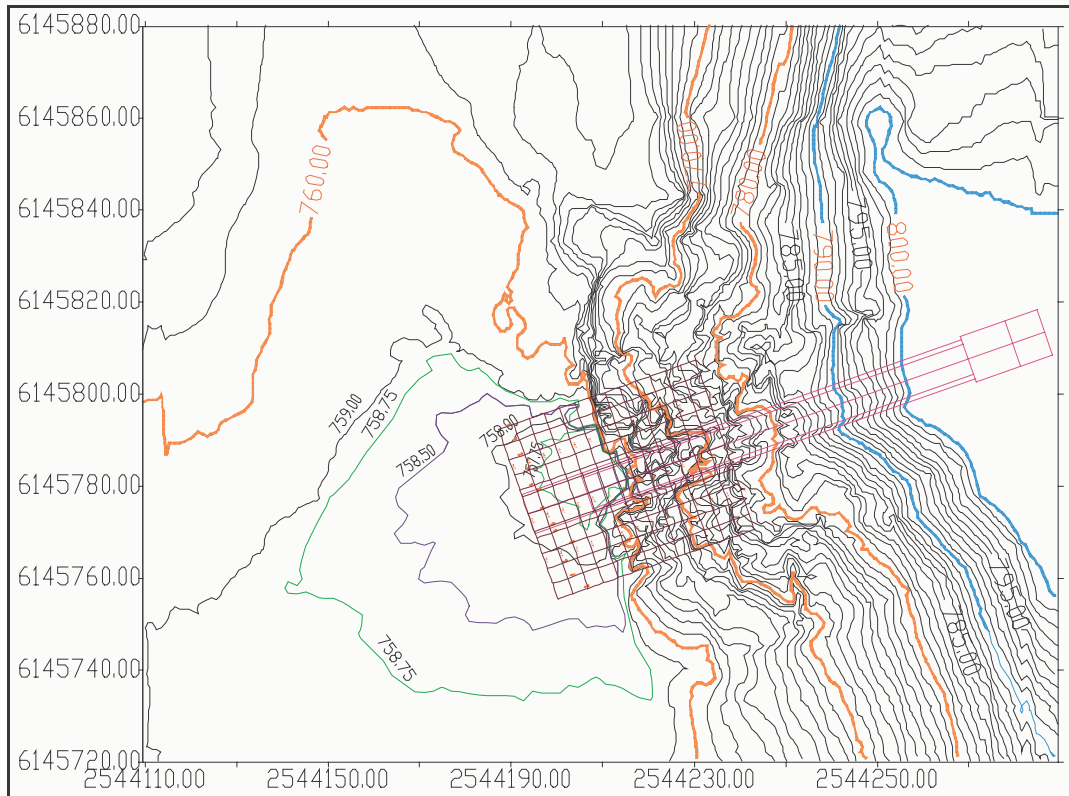


Figura Nº 8 – Batimetría de precisión EVARSA Año 2004 – Curvas de Nivel

Con el empleo de una draga puntal Tipo Van Veen, se extrajeron muestras superficiales del material del lecho en la zona próxima a la Obra de Toma, a los efectos de determinar la composición del fondo y la densidad de los mismos. Se trata en todos los casos de muestras alteradas y absolutamente saturadas.

Se recurrió a este tipo de muestreo de características superficiales y alteradas dado que por las profundidades involucradas y el tipo de material depositado no resulta posible la extracción de muestras inalteradas o la medición de sus parámetros in-situ con los métodos convencionales disponibles.

Los muestreos se realizaron en los puntos cuyas ubicaciones se muestran en la Figura Nº 9.

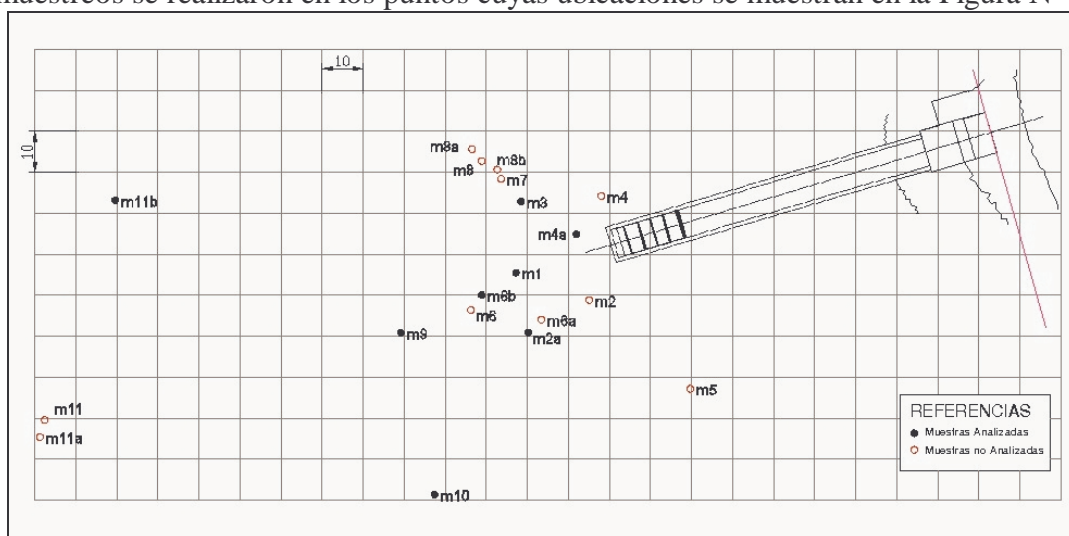


Figura Nº 9 – Puntos de Toma de Muestras



## **ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN LABORATORIO**

Las muestras se recuperaron conservando el líquido que durante el izado de la draga se retenía a fin de mantener su contenido de humedad natural.

Sólo en 11 de las posiciones donde se lanzó el captador se recogió material. En tres de ellas el contenido de material fue escaso y en una de esas tres se observó la presencia de pequeños trozos de rocas de tipo lajoso con dimensión máxima no superior a los 7.5 cm.

Cada una de las muestras, debidamente identificadas se enviaron al Laboratorio donde se realizaron los análisis siguientes:

- Determinación granulométrica
- Cálculo de la densidad
- Determinación de la textura
- Determinación de límites de Atterberg
- Determinación del contenido de humedad
- Determinación del contenido de materia orgánica
- Ensayos triaxiales

### **Determinación Granulométrica**

A fin de determinar la curva granulométrica que caracteriza los sedimentos, la granulometría correspondiente a la parte fina, se determinó mediante el Método del Hidrómetro y la que corresponde a la parte gruesa mediante de la técnica de Tamizado vía Húmeda. Hidrometría según norma IRAM 10512 – ASTM 421 – 58 –D422 – 63.

Previamente se efectuó el lavado de las muestras entre tamices 200 (74  $\mu\text{m}$ ) y 230 (62.5  $\mu\text{m}$ ). Se adoptaron ambos tamices pues el primero corresponde a la serie Estándar empleada en Mecánica de Suelos y el segundo a la serie Wentworth empleada para determinaciones en Hidráulica Fluvial.

La clasificación de las partículas que componen el sedimento en función de su tamaño se realizó de acuerdo a los límites propuestos por la American Geophysical Union.

De los ensayos granulométricos para determinar el porcentaje de cada material presente se verificó que las muestras contienen:

- porcentaje de arena entre 4 y 13 %,
- porcentaje de limo entre 47 y 63 %
- porcentaje de arcilla entre 24 y 38 %

En la Figura N° 10 puede observarse la curva representativa de la muestra extraída de la posición ml.

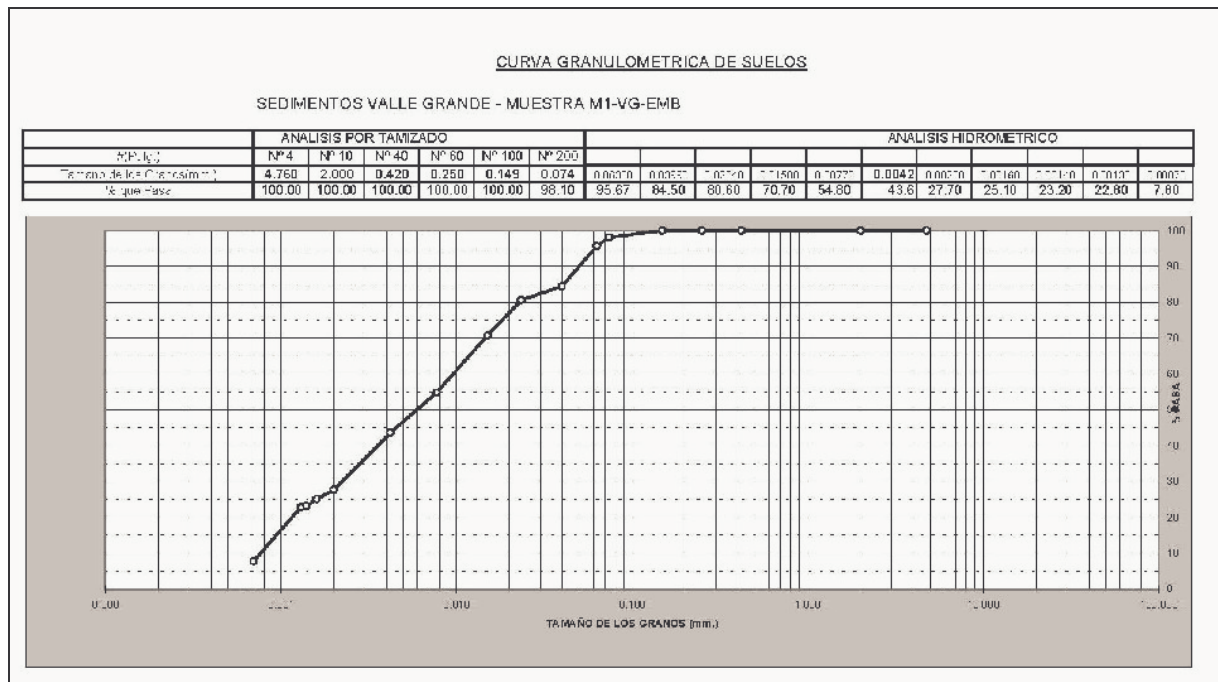


Figura Nº 10 – Curva granulométrica de la muestra M1

### Cálculo de la densidad

Para determinar la densidad de los sedimentos depositados en la zona de estudio se aplicaron las ecuaciones de Lane – Koelzer, Miller y Colby's.

Estas ecuaciones determinan la densidad expresada en peso volumétrico o peso específico en función del peso específico inicial del depósito, del tipo de consolidación que los depósitos presentan, el cual depende de tipo de operación del embalse y el tiempo de sedimentación.

La *ecuación de Lane y Koelzer* correlaciona el peso específico de la arena, el limo y la arcilla con la operación del embalse considerando el peso específico de los depósitos consolidados al final de un tiempo especificado.

La *ecuación de Miller* correlaciona el peso específico de la arena, el limo y la arcilla con la operación del embalse considerando el promedio de los depósitos consolidados durante un período especificado.

La *ecuación de Colby's* utilizada los datos obtenidos por la ecuación de Miller para calcular el peso específico del depósito consolidado.

Para la determinación de la densidad de las muestras analizadas se aplicó la metodología descrita anteriormente, para distintos años de consolidación (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 100 años) del depósito de sedimentos. Los resultados de densidades calculadas aplicando las ecuaciones Miller y Colby's fueron inferiores a las calculadas con las ecuaciones de Lane y Koelzer.

### Determinación de la textura

Se determinó la textura del material depositado utilizando los diagramas triangulares de

Shepard y el presentado por la United States Department Agriculture (USDA). Para utilizar estos diagramas, se trabajó con el porcentaje de arena, limo y arcilla según los rangos de tamaños obtenidos del análisis granulométrico.

Con relación a los resultados obtenidos para la determinación de la textura, se muestra la Tabla 1:

**Tabla 1.-** Determinación de la textura

MUESTRA	GRANULOMETRÍA			SHEPARD	USDA
	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)		
M1	11	47	42	Limo - Arcilloso	Arcilla - Limosa
M2a	4	51	45	Limo - Arcilloso	Arcilla - Limosa
M3	13	63	24	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso
M4a	9	53	38	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso
M6b	5	57	38	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso
M9	8	57	35	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso
M10	5	59	36	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso
M11b	5	63	32	Limo - Arcilloso	Barro Limo - Arcilloso

### Determinación de Límites de Atterberg

Se realizó según norma IRAM 10501/68, 10502/68 – ASTM D423, D424. Se incluyó en el trabajo, Carta de Plasticidades.

Los resultados obtenidos en la determinación de los límites de Atterberg, se muestran en la Tabla 2:

**Tabla 2.-** Determinación de los límites de Atterberg

MUESTR	LL (%)	IP (%)	Wn (%)	Clasif. USDA(*)
M1	84.6	31.2	101.2	MH
M2a	85.1	32.4	95.8	MH
M3	73.4	25.8	99.3	MH
M4a	80.4	30.6	77.4	MH
M6b	87.8	36.1	100.5	MH
M9	81.3	32.8	107.6	MH
M10	83.7	32.4	110.5	MH
M11b	77.6	28.9	102.2	MH

(\*) USDA: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

La Carta de Plasticidades de los sedimentos analizados se adjunta a continuación.

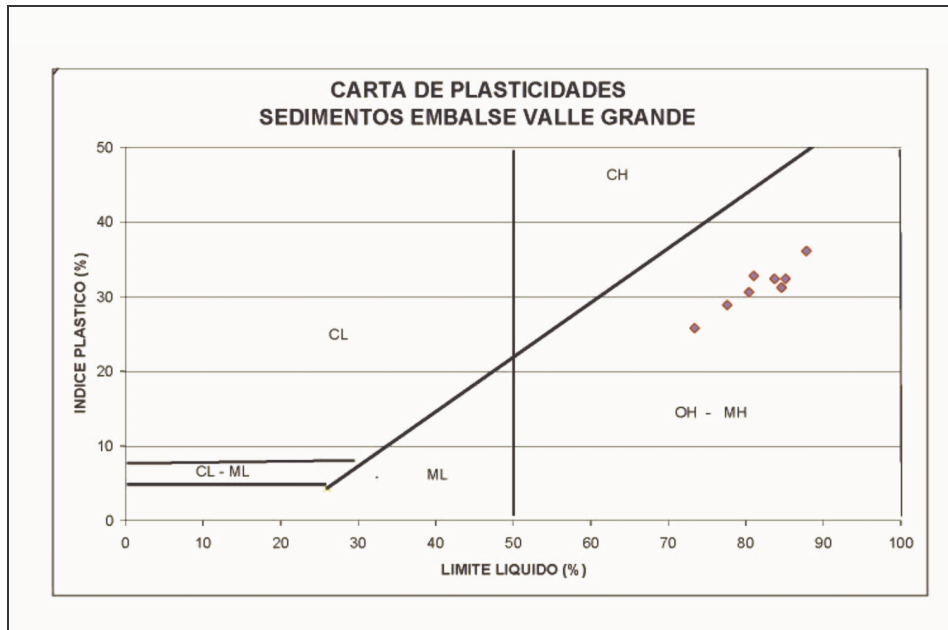


Figura 11.- Carta de plasticidades de los sedimentos

### Determinación de contenido de humedad

Se realizó según norma IRAM 10519/70 – ASTM D2216/71.

### Determinación del contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica se determinó por el método de reducción por peróxido de hidrógeno y por el método de calcinado. Los resultados se expresaron en porcentaje de materia transformada con respecto al peso seco.

De los ensayos para determinar el porcentaje de materia orgánica presente en las muestras se verificó que las mismas contienen entre 8 % y 16 %.

### Ensayos triaxiales

Se realizaron según norma AASTHO T234 – 70 – ASTM 2850 – 70. Se realizaron ensayos no consolidados - no drenados sobre muestras remoldeadas con  $\sigma_3 = 1-2$  y  $3 \text{ Kg/m}^2$ .

Se realizaron cuatro ensayos triaxiales del tipo no consolidado - no drenado (Q), sobre muestras remoldeadas: dos a las densidades estimadas mediante las fórmulas de Lane & Koelzer y las dos restantes, a manera comparativa, con densidades superiores (con  $\gamma_d$  del orden de  $1.4 \text{ t/m}^3$ ). Dado que las dos primeras resultan extremadamente bajas, fue necesario recurrir al armado de las probetas directamente sobre el pedestal de la prensa de ensayos. Se aclara que los valores obtenidos son sólo de tipo indicativos, pero resultan congruentes con las características de los materiales obtenidos en el muestreo realizado y los taludes que se informan en las batimetrías actuales. Los valores de los parámetros de corte no drenados, deben ser tomados sólo de modo indicativo, no tiene valor de exactitud en virtud de que se trata de suelos sin consistencia, de muestras remoldeadas en las cuales no es posible respetar la estructura natural del sedimento depositado.

**Tabla 3.-** Resultados de los ensayos triaxiales

MUESTRA	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	W <sub>n</sub> (%)	$\phi$ (°)	C (t/m <sup>2</sup> )
M 10	1.04	53.6	3	0.1
M 11b	1.03	58.9	2	0.2
M1	1.40	52.5	3	1.0
M3	1.39	50.3	3	0.8

### COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LOS SEDIMENTOS EXTRAÍDOS

Los sedimentos extraídos fueron son suelos finos, de tipo limos arcillosos de alta plasticidad que clasifican según la Clasificación Unificada (USDA) como tipo MH. Se trata de material color marrón pardusco, con vetas negras propias de cantidades importantes de materia orgánica, presentando olor característico. La presencia de materia orgánica aumenta, además, la plasticidad.

La fracción arenosa se encuentra prácticamente ausente o muy escasa entre 4 y 13%, con prevalencia de limos en porcentajes variables entre un 47 % y 63 % según la muestra y clasificación que se emplee. El porcentaje de arcilla varía entre 24 y 38 %

Los materiales se encuentran totalmente saturados, con porcentajes de humedad superior a su Límite Líquido, por lo que su resistencia al corte es prácticamente nula. Por la forma de deposición, las características del material y el hecho de haber permanecido totalmente sumergidos en forma permanente, las densidades que se obtienen son muy bajas y dan lugar a taludes muy tendidos. En caso de que el material hubiera quedado expuesto por encima del agua, se podría haber producido el drenaje del mismo y la eventual densificación de las muestras por desecación. Según los datos disponibles, este proceso no se ha producido.

Los ensayos triaxiales realizados con muestras remoldeadas, brindan un orden de valores de las cohesiones no drenadas que pueden esperarse en estos materiales. No obstante, estos valores deben ser tomados con precaución dado que no se trata de muestras inalteradas, sino remoldeadas en laboratorio, con todos los inconvenientes y limitaciones del caso.

En cuanto al comportamiento dinámico de estos materiales, se recuerda que desde la década del 60, en que comienzan a desarrollarse en forma sistemática estudios acerca de fenómenos de licuación, se reconoció a los suelos arenosos limpios con pocos finos, sueltos y saturados, como susceptibles a sufrir este fenómeno que trae aparejado pérdida de resistencia al corte y consecuentemente eventuales deslizamientos y/o deformaciones. No obstante, ha habido a lo largo de estos años, avances y controversias entre diferentes investigadores acerca del comportamiento dinámico de suelos más finos (arcillas y limos) y más gruesos (gravillas, gravas).

Actualmente, y merced a nueva información aportada por mediciones e investigaciones desarrolladas en lugares donde se han producido sismos, muchos de los criterios sustentados hasta el presente se han ido modificando, sobre todo en lo que respecta al comportamiento de suelos finos.

Clasificando a los sedimentos obtenidos del Embalse Valle Grande de acuerdo con las "Recommendations Regarding Assessment of Liquefiable Soil Types" se trata de suelos que generalmente no son susceptibles a desarrollar licuación "clásica", pero deberán ser



chequeados debido su potencial sensibilidad (pérdida de resistencia por remoldeo y/o deformación unidireccional de corte creciente).

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

### Metodología de análisis

Para modelar los mecanismos de falla se utilizó el software PCSTABL5, (Ronald Siegel, PURDUE UNIVERSITY). Este programa ha sido concebido para analizar la solución general de estabilidad de taludes a través de métodos de equilibrio límite. El cálculo del factor de seguridad al deslizamiento se resuelve empleando el Método de Bishop, aplicable a superficies de forma circular y el Método Simplificado de Jambú, aplicable a superficies de falla de forma general.

Como hipótesis de cálculo se plantearon las siguientes situaciones:

- \* *Estabilidad estática*: Situación actual, taludes sumergidos
- \* *Bajo excitación sísmica*: Durante un sismo, a las fuerzas actuantes permanentes se suman fuerzas de inercia alternantes debidas a la respuesta dinámica del cuerpo del talud. Para considerar la acción sísmica, se consideró un coeficiente sísmico de  $C = 0,3g$  (parámetro indicado por el comitente).

### Verificación estática

Se realizaron verificaciones de estabilidad de taludes en forma estática y pseudoestática, empleando  $C = 0.3 g$ . En ambos casos se analizaron las situaciones de los taludes de las batimetrías disponibles frente a la reja.

Para cada caso, se realizó un análisis de sensibilidad con valores de cohesión no drenada de 0.2 – 0.4 – 0.5 – y – 1t/m<sup>2</sup>. Se efectuaron verificaciones adicionales suponiendo la existencia de un suelo ligeramente friccionante ( $\phi = 25^\circ$ ), con cohesiones de  $c = 0.5$  y 1 t/m<sup>2</sup>. Se considera que se han analizado las situaciones siguientes:

Los perfiles de sedimentos frente a las rejillas correspondientes a los años 2001 – 2002 no fueron obtenidos de un trabajo de medición, sino inferidos de la información aportada por buzos (HINISA). Los datos disponibles del año 2001 presentan un talud prácticamente 1V:1H en los primeros 8 metros de desarrollo a partir de su encuentro con la reja. A partir de ese punto, se ha considerado en forma hipotética para los cálculos un talud 1V:4H, ya que se carece de información más allá de los 8 m mencionados.

El perfil del año 2002 presenta un talud 1V:5H en la cercanía de la reja y de 1V:2.8H a partir de los 5 metros de su encuentro. Se ha prolongado este último talud, ya que se carece de información para distancia superiores.

El relevamiento batimétrico manual 2003 presenta un talud 1V:0.7H en la cercanía de la reja y de 1V:4H a partir de aproximadamente 2.2 metros de su encuentro. Se ha prolongado este último talud, ya que se carece de mayor información.

La batimetría EVARSA 2004 presenta un talud de 1H:20V, prácticamente regular a partir de

su encuentro con la reja, a cota 757.25 IGM.

A continuación se presentan en la Tabla 4 los resultados de la verificación estática con los parámetros geotécnicos adoptados para los sedimentos y los coeficientes de seguridad obtenidos en cada verificación.

**Tabla 4.-** Resultados de la verificación estática

ESTUDIOS	C (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)	CIRCULO DE ROTURA			Fs
			RADIO (m)	Xc (m)	Yc (m)	
PERFIL ESTIMADO Año 2001	0,20	3	9,5	6,1	27,2	<b>0,23</b>
	0,40	3	14,4	6,7	32,0	<b>0,36</b>
	1,00	3	14,4	6,7	32,0	<b>0,73</b>
	0,50	25	15,8	1,2	32,9	1,10
	1,00	25	15,8	1,2	32,9	1,50
PERFIL ESTIMADO Año 2002	0,20	3	7,6	7,8	25,9	<b>0,53</b>
	0,40	3	6,6	8,4	24,5	<b>0,86</b>
	0,50	3	6,6	8,4	24,5	1,00
	1,00	3	7,3	7,8	24,9	1,83
	0,50	25	8,5	7,4	27,6	2,48
	0,20	25	8,5	7,4	27,6	1,87
RELEVAMIENTO BATIMETRICO MANUAL Año 2003	0,20	3	4,1	3,0	21,8	<b>0,30</b>
	0,40	3	14,4	3,7	31,9	<b>0,49</b>
	0,50	3	14,4	3,7	31,9	<b>0,59</b>
	0,50	25	5,3	1,6	22,6	1,16
	1,00	3	14,4	3,7	31,9	1,03

El tipo de análisis de estabilidad realizado, brinda coeficientes de seguridad debido exclusivamente a la acción de cargas gravitacionales, y símicas (en el caso del análisis pseudoestático), pero no refleja fenómenos que pudieran desencadenarse a causa de otros orígenes que el programa no puede modelar, por ejemplo: corrientes de flujo o fenómenos reológicos inherentes al material.

Las conclusiones a que se puede arribar son las siguientes:

*Perfil año 2001:* Aún con la corrección de talud efectuada, los sedimentos hallados actualmente, en las condiciones de densificación que se obtienen a través de las fórmulas mencionadas en el punto “Cálculo de la densidad”, no desarrollan resistencia adecuada para mantener este talud en forma estática ( $F_s < 0.73$ ). No corresponde a la situación detectada actualmente.

*Perfil año 2002:* La conformación de este talud en situación estática se logra en el caso de que los sedimentos alcancen un valor de cohesión superior a  $c = 0.5 \text{ t/m}^2$  ( $F_s = 1$ ), o con el aporte de fricción ( $F_s > 1.5$ ). Ninguno de los dos casos responde a la situación detectada actualmente, aunque el primero de ellos ( $c = 0.5 \text{ t/m}^2$ ) podría producirse si se densificara ligeramente el material.

*Perfil año 2003:* La conformación de estos taludes y su estabilidad estática resulta compatible con valores de cohesión superiores  $c = 1 \text{ t/m}^2$  ó de  $c = 0.5 \text{ t/m}^2$  y aporte de fricción ( $\phi = 25^\circ$ ).

Ninguno de los dos casos responde a la situación detectada actualmente.

*Batimetría EVARSA 2004:* Se detectaron taludes muy tendidos (1V:20H), compatibles con el tipo de comportamiento del material hallado (MH) y su grado de densificación. No se realizaron verificaciones de estabilidad dado que los taludes resultan extremadamente tendidos.

### Verificación dinámica

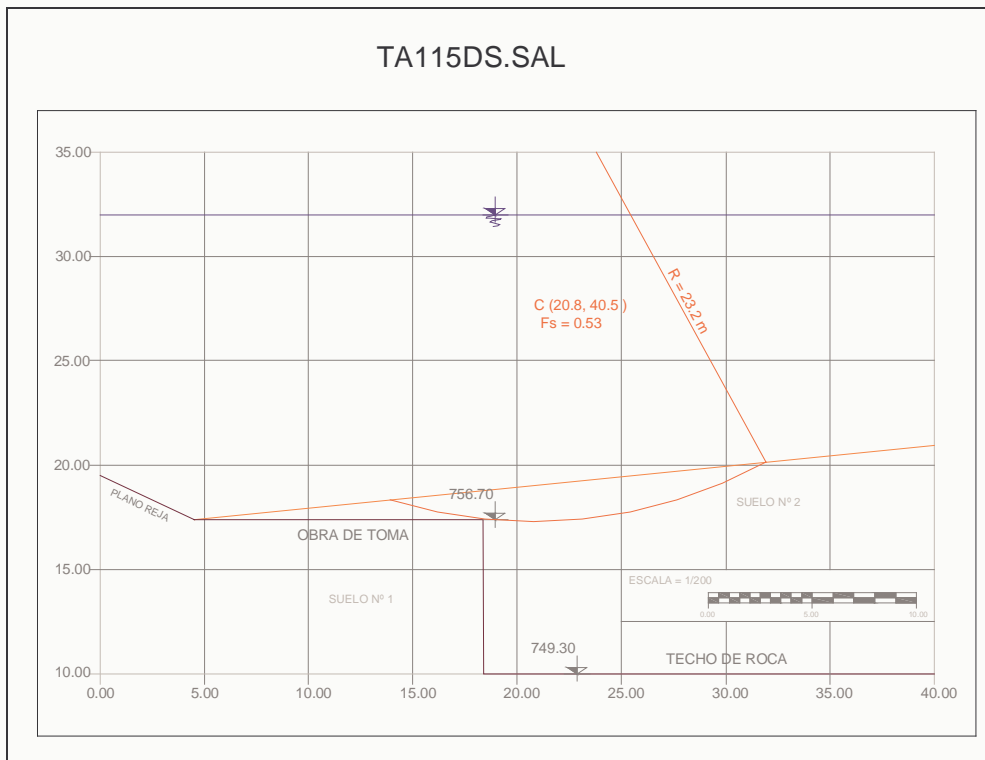
Consiste en valorar el coeficiente de seguridad al deslizamiento, en la hipótesis de equilibrio límite, suponiendo que la aceleración debida al sismo es uniforme en toda la altura del talud. Esta aceleración se traduce como una fuerza estática, en dirección horizontal, proporcional al peso de la masa deslizante. El coeficiente de proporcionalidad, o coeficiente sísmico C, está relacionado con la intensidad posible del evento sísmico. En este caso particular, se indicó como  $C = 0.3 g$ .

La verificación se llevó a cabo para las situaciones analizadas en el punto anterior en las cuales se obtuvo  $F_s > 1$  considerando la presencia de sedimentos sin aporte de granulares (fricción). La situación en la que se consideró fricción no puede modelarse dado que se carece de precisiones acerca del material que hipotéticamente hubiera conformado el talud, pudiendo haber sido éste arena o trozos dispersos de material rocoso con matriz de material fino. Dado que el comportamiento de los materiales es muy diferente según el material de que se trate, no se realizaron hipótesis o cálculos adicionales. Los cálculos desarrollados en la hipótesis de evento sísmico con  $C = 0.3 g$ , se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.- Resultados de la verificación dinámica

PERFIL BATIMETRIA	C (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)	CIRCULO DE ROTURA			F <sub>s</sub>
			RADIO (m)	X <sub>c</sub> (m)	Y <sub>c</sub> (m)	
Año 2002	1.00	3	7.3	7.8	24.9	0.73
	0.50	3	7.3	7.8	24.9	0.40
Talud 1V:15H	0.50	3	23.2	20.8	40.5	1.22
Talud 1V:10H	0.50	3	16.3	20.8	33.5	0.90
Talud 1V:15H	0.20	3	23.2	20.8	40.5	0.53
Talud 1V:10H	0.20	3	17.5	20.0	34.9	0.40

El gráfico de las Figura 12 muestra como ejemplo la superficie de falla en el quinto caso analizado.



**Figura 12.-** Verificaciones de Estabilidad Dinámica (PCSTBL5)

Se verificó también la estabilidad dinámica del talud de sedimentos con  $c = 0.2$  y  $0.5 \text{ t/m}^2$  y  $\phi = 3^\circ$  para pendientes 1V:10H y 1V:15H. El talud 1V:10H resultó inestables en ambos caso, y el talud 1V:15H sólo es estable en el segundo caso de los analizados.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un relevamiento batimétrico en las inmediaciones de la obra de toma, el que dio como resultado la presencia de taludes tendidos tanto en el sentido del eje de la misma (1V:20H) como transversal (1V: 20H a 1V:30H). Comparando los perfiles actuales con anteriores disponibles, surge que los taludes actuales son mucho más suaves. El nivel de sedimentos sobre la reja alcanza las cotas 757.75 a 758 sobre la misma.

Al respecto se señala que si bien se ha realizado un estudio batimétrico exhaustivo y preciso, no se pueden establecer variaciones en los volúmenes acumulados por los sedimentos sobre la base de comparaciones con batimetrías anteriores ya que sólo se cuenta con estos antecedentes en forma parcial en torno al frente de la reja y además no responden a la precisión que se ha obtenido para el presente análisis.

Se tomaron muestras de sedimentos con muestreador Tipo Van Veen. Los sedimentos obtenidos son de carácter superficial. Se trata de cohesivos de alta plasticidad, limos y arcillas plásticos con cantidades significativas de materia orgánica. Depositados en ambiente de permanente inmersión, y relativamente jóvenes, no se han densificado. El tipo de suelo y los valores de densidad obtenidos por las fórmulas de Lane y Koelzer y Miller y Colby's, resultan compatibles con los taludes medidos.

Sedimentos del tipo de los detectados actualmente, podrían adquirir un talud máximo del orden de 1V:6H en condiciones estáticas, en el caso de que antes no se produzca flujo del mismo. Este talud no podría ser soportado ante un evento sísmico. Para el caso de un sismo como el de proyecto ( $C = 0.3 g$ ) solo se observan taludes estables para pendientes del orden de 1V:15H. El comportamiento geotécnico de los sedimentos detectados es marginal en condiciones estáticas, con grandes deformaciones aún para cargas pequeñas. El material resulta fácilmente arrastrable por la corriente.

Es recomendable llevar a cabo un plan de monitoreo de los sedimentos del embalse con la finalidad de controlar la evolución de los mismos en el tiempo y en espacio.

## **PROPUESTA**

Los embalses son infraestructuras que suponen una clara discontinuidad en el gradiente longitudinal de procesos hidráulicos propios de los ríos. Cuando se construye una presa sobre un río, se produce un corte abrupto de la capacidad de transporte de sedimento, de forma tal que las condiciones hidráulicas conducen a la deposición.

Junto con el agua, los embalses regulan también los aportes de materiales en suspensión y los arrastres de sólidos transportados por los ríos. El balance de esta regulación tiene como resultado una retención neta de todos estos materiales en forma de sedimentos.

Existen medidas tanto preventivas como correctoras que pueden contribuir a minimizar los procesos de colmatación del embalse y/o a reducir los efectos ambientales derivados.

Los sedimentos procedentes de las cuencas de drenajes, son retenidos en su gran mayoría en los vasos de los embalses dando lugar a un número de consecuencias limnológicas y de sedimentación.

Dada la incidencia del problema de sedimentación, asociado a la seguridad de la obra, dado que el paso de sedimentos por conductos y maquinarias, así como el taponamiento de los mismos significa una pérdida de operatividad e impide una evacuación efectiva de las aguas en el momento que sea demandado.

Se propone la siguiente metodología de estudio a fin de evaluar la evolución morfológica del embalse de Valle Grande:

- Recopilar datos básicos y estudios antecedentes y análisis de la información.
- Registrar información sobre intervenciones realizadas en el embalse, para conocer cuándo y cómo se hicieron.
- Estimar la frecuencia de crecida en función del análisis de los registros históricos de nivel/ caudal.
- Régimen hidrológico del aporte y operación del nivel de embalse.
- Tomar el presente relevamiento batimétrico como base.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Rafael Cobo Rayán.** "Sedimentación en embalses" - *Curso Internacional de Hidrología General y Aplicada.*

**Seed, Cetin, Moss y otros.** "Recent Advances in soil Liquefaction engineering a unified and consistent framework". *26° Annual ASCE, Los Angeles, Geotechnical Spring Seminar* - California April 30 – 2003.

**EM – 1110 – 2 – 4000,** 15/dic/89.

**EM – 1110 – 2 – 1420,** 31/oct/97.