

REPUBLICA



ARGENTINA

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIRECCION DE MINAS Y GEOLOGIA
PERU 566

REMIGIO RIGAL
Director

DR. LUIS R. LAMBERT
Subdirector de Geología

BOLETIN N° 63

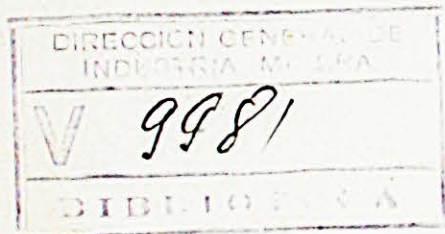
(N° 64 - S. I. C.)

INFORME GEOLOGICO RELACIONADO CON UN
PROYECTO DE DIQUE DE EMBALSE DEL
RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE

POR

LUIS R. LAMBERT

Con planos, perfiles y 8 láminas fotográficas



BUENOS AIRES

1948

INDICE

	<u>Página</u>
I. Antecedentes	5
II. Breves consideraciones sobre el río Uruguay	6
El Salto Grande	8
III. Constitución geológica de la región del Salto Grande	
A — El lecho del río Uruguay	8
B — La margen derecha del Uruguay	12
<i>a</i> — Los meláfiros	12
<i>b</i> — El "calcáreo brechoso"	13
<i>c</i> — Los aluviones antiguos	14
<i>d</i> — Los aluviones recientes	14
C — Ubicación de las perforaciones de estudio	15
APENDICE:	
Clasificación petrográfica y geológica de los terrenos atravesados por las perforaciones de estudio	17
LAMINAS:	
Planimetría general del Salto Grande del Uruguay	Lám. I
Perfil longitudinal del río Uruguay desde Concordia hasta Monte Caseros	Lám. II
Croquis geológico de la ribera argentina	Lám. IIIa
Ubicación de las perforaciones de estudio	Lám. IIIb
Fotografías	Lám. IV a XI
Perfil de las perforaciones de estudio	Lám. XII

INFORME GEOLOGICO RELACIONADO CON UN PROYECTO DE DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE

I

ANTECEDENTES

Desde hace muchos años se viene considerando la posibilidad de la utilización de la energía hidráulica de los caudales del río Uruguay en el Salto Grande, y varios proyectos han sido preparados para el aprovechamiento hidroeléctrico de esa inagotable reserva.

El primero fué presentado por el ingeniero francés Maurice Mollard al Honorable Congreso de la Nación el 23 de agosto de 1912, pero no llegó a sancionarse.

Después de esta iniciativa, se mantuvo casi constante el interés suscitado por los beneficios que reportaría al país el aprovechamiento del Salto Grande, aunque la obra quedó siempre al estado de sucesivos proyectos. Entre ellos conviene citar el de la "Mission d'étude pour l'aménagement du rio Uruguay" (1923-1924) y posteriormente los de los ingenieros Antonio Cardiel San Martín (1925), Humberto Gamberale y Francisco Mermoz (1928), Angel Omodeo (1928), Adolfo Ludín (1930), Adolfo Niebuhr (1941) y Angel Forti (1941). Si bien es cierto que todos tuvieron la misma suerte que el primero, se puede sin embargo asegurar que contribuyeron a formar el ambiente necesario para una próxima utilización de la energía del Salto Grande.

Con el tiempo, el lugar elegido para la obra fué desplazándose en dirección hacia aguas abajo. En efecto, en el proyecto Mollard, la presa estaba situada inmediatamente arriba del umbral del salto; en el de Gamberale y Mermoz, a unos 1.500 m más abajo y finalmente en el proyecto Forti (Lámina I) el dique ha sido ubicado al final de la zona de los rápidos, o sea más de 2.000 m abajo del salto. De este modo, a igualdad de cota de embalse, se puede aprovechar el máximo de la caída por medio de un dique-usina, evitándose asimismo la construcción de los canales de alimentación o descarga del proyecto primitivo.

El único estudio geológico realizado en el Salto Grande ha sido efectuado por varios miembros de la "Mission d'étude" (M. Singer, M. Lugeon, G. Rovereto) y, por consiguiente, todos los proyectos arriba mencionados han utilizado los datos y perfiles proporcionados por estos geólogos. Algunas observaciones de carácter general también han sido publicadas posteriormente por J. Frenguelli ⁽¹⁾, pero ellas no aportan ninguna observación de importancia.

(1) J. FRENGUELLI, *El río Uruguay entre "Salto Grande" y "Paso Hervidero"*. Apuntes geológicos y morfológicos, Anales de la Sociedad Científica Argentina, t. 128, diciembre de 1939.

En el presente estudio, realizado a pedido de la Dirección General de Centrales Eléctricas del Estado (hoy Dirección General de Agua y Energía Eléctrica), como colaboración de la Dirección de Minas y Geología al estudio del aprovechamiento del Salto Grande, mi cometido fué el siguiente:

- 1º Estudiar la conformación y naturaleza del lecho del río, aprovechando la excepcional bajante del mes de febrero de 1945.
- 2º Precisar la constitución de la margen derecha del valle y ubicar perforaciones de estudio en la región comprendida entre el cerro del Tigre y la desembocadura del arroyo Gualeguaycito.

Dichas tareas fueron realizadas en el terreno en los meses de febrero y noviembre de 1945, respectivamente.

II

BREVES CONSIDERACIONES SOBRE EL RIO URUGUAY

El Uruguay, cuya cuenca imbrífera ocupa una superficie de 230.000 km², se origina en la Serra do Mar, del Estado brasileño de Santa Catharina, y sirve de frontera natural, en sus dos tercios inferiores, entre la República Argentina (territorio nacional de Misiones y provincias de Corrientes y Entre Ríos) al oeste y los Estados Unidos del Brasil y la República Oriental del Uruguay, al este.

Su curso de unos 1.700 km, puede dividirse en varios tramos que presentan características muy distintas entre sí. El Salto Grande, situado 25 km arriba de la ciudad entrerriana de Concordia, marca precisamente el límite entre el tramo más inferior del río, en el cual repercuten las ondas de marea, y el situado más arriba, que se extiende hasta Paso de los Libres. Desde ya, deseo apuntar que, por no haber recorrido esta parte del valle, no me será posible dar indicaciones sobre las condiciones geológicas del vaso que ocupará el futuro embalse.

El régimen pluviométrico de la cuenca drenada por el Uruguay está muy poco conocido, pero el régimen del río ha sido controlado por medio de observaciones hidrométricas efectuadas en varios lugares durante muchos años, y se sabe que la fase de aguas altas, en los ciclos normales, se registra en invierno y primavera, con crecidas durante esta última estación, particularmente en los meses de setiembre y octubre, correspondiendo el verano al período de estiaje.

El caudal medio general ha sido apreciado en 4.875 m³/s, pero los caudales medios anuales varían entre límites comprendidos entre un máximo de 8.082 m³/s para 1899 y un mínimo extremo de 832 m³/s correspondiente al año 1917, durante el cual el río se mantuvo permanentemente bajo, por falta de precipitaciones en la cuenca. El carácter realmente excepcional de la sostenida bajante del año 1917 ha vuelto a manifestarse en el período 1944-1945, en el que se registraron bajantes extremas aun superiores, si bien el caudal medio puede ser apreciado, para el año 1945, en unos 1.700 m³/s.

El gráfico ilustrativo intercalado a continuación, en el cual los valores expresados en metros se refieren al 0 de la escala local, indica el valor de las máximas bajantes extraordinarias observadas en Concordia, puerto distante 329 km de la desembocadura del río. (Corresponde aclarar que la marca extrema registrada el día 3 de febrero de 1945 y que corresponde a un cau-

dal de unos $140 \text{ m}^3/\text{s}$, prácticamente, no ha sido influenciada por la marea, según averiguaciones efectuadas).

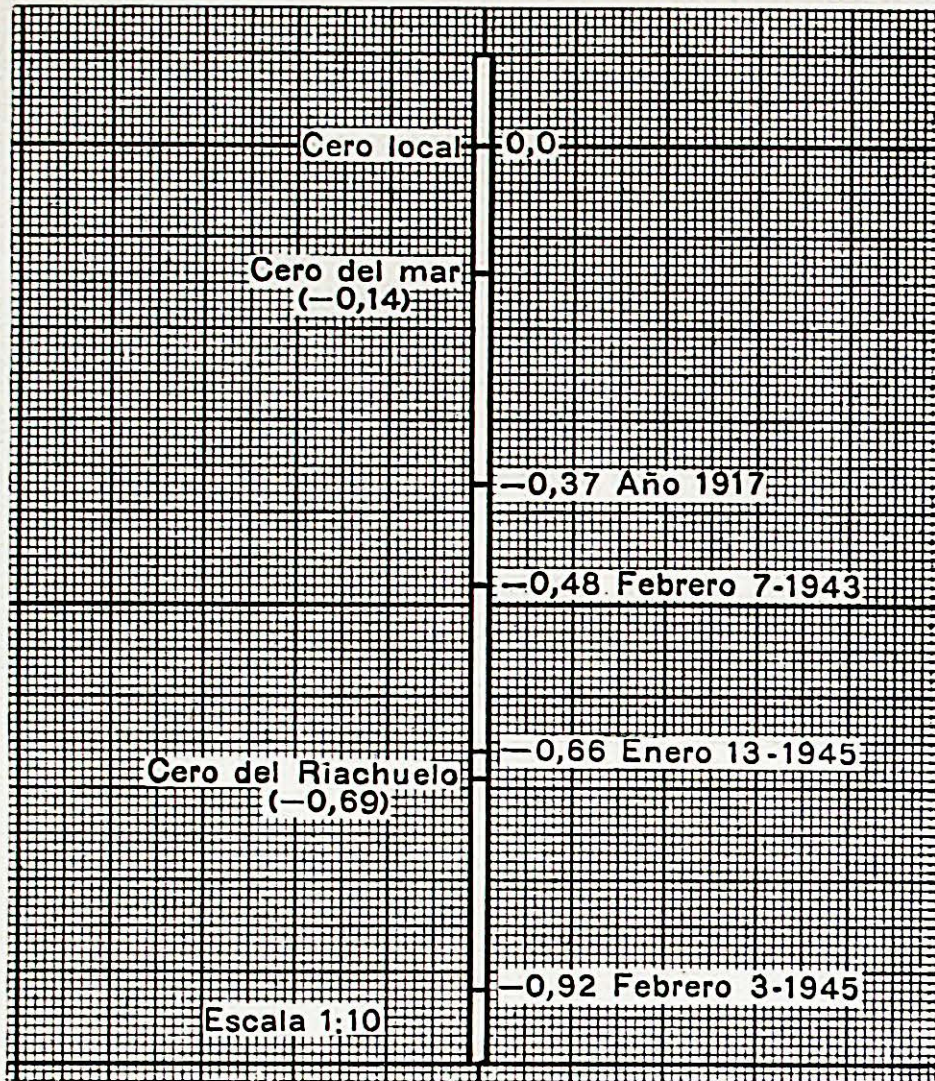


Fig. 1

Al igual que las bajantes, las crecidas pueden alcanzar alturas verdaderamente extraordinarias: conviene recordar las del año 1886 (quizás mayor que la de 1941), del año 1929 (caudal correspondiente al 23 de octubre: $26.231 \text{ m}^3/\text{s}$) y del año 1941, durante la cual la altura de las aguas alcanzó la marca extrema registrada de 15,83 m el 13 de mayo en la escala de Concordia, estimándose el caudal correspondiente en unos $27.500 \text{ m}^3/\text{s}$.

El Uruguay presenta en muchos puntos de su lecho, abajo de Paso de los Libres, afloramientos rocosos más o menos importantes que determinan resingares y saltos, puestos a descubierto por las bajantes del río. Entre los mismos se destacan los de Monte Caseros, Itacumbú, San Gregorio y los Saltos Grande y Chico, arriba de Concordia, así como los Pasos Corralito y Hervidero, abajo de esta misma ciudad (Lámina II).

Los trabajos de derrocamiento efectuados por el Ministerio de Obras Públicas en el Corralito y el Hervidero permiten a buques de cierto porte

llegar hasta Concordia, pero el Salto Grande no permite sino el paso de embarcaciones de poco calado y sólo durante cortos períodos de grandes crecidas.

EL SALTO GRANDE

El Salto Grande propiamente dicho, situado a 25 km de Concordia ó 365 de Buenos Aires en línea recta, corresponde a la parte inferior, que es también la de mayor caída, de una sucesión de restingares extendidos a lo largo de una distancia de unos 10 km, contados a partir de la isla Francia (Lámina II).

El salto principal se halla a la altura del cerro Grande en la cota + 10 m, aproximadamente, pero la serie de rápidos cuyo conjunto forma el Salto Grande en general, se extiende sobre algo más de 2 km de largo, por lo tanto hasta llegar cerca de la desembocadura del arroyo Gualeguaycito, y corresponde a un desnivel total de unos 5 m (Láms. I y XI).

La orilla argentina, entre el cerro Grande y la confluencia del Gualeguaycito, es elevada y en partes cortada en forma abrupta (Láms. IV,3 y V,1), mientras la ribera uruguaya es mucho más suave.

Varias islas emergen del cauce de aguas, cuyo ancho no baja de 1.500 m en la zona de los rápidos. Las mayores (Isla del Salto Grande, Isla del Medio, Isla de Abajo), situadas cerca de la margen izquierda, están formadas por limos aluviales, mientras la doble isla de los Lobos, a la altura del cerro del Tigre, en la parte occidental del lecho, es de naturaleza rocosa.

Entre el cerro Grande y el arroyo Gualeguaycito, el cauce de aguas presenta un surco longitudinal o canal principal que corre paralelo a la ribera argentina, a unos 500 m de distancia. Este canal se origina al pie del grupo de saltos principales y ofrece la particularidad de presentar, entre la isla del Medio y la de los Lobos, profundos ombligos cuyo fondo está a un nivel inferior en más de 20 m al del mar, como se puede ver en el plano acotado de la Lámina I⁽¹⁾. Estas peculiaridades del piso rocoso subfluvial se deben a fenómenos de super-exondación, probablemente producidos por movimientos turbillonarios y facilitados a su principio, por la menor coherencia de areniscas intercaladas en las rocas duras del piso.

III

CONSTITUCION GEOLOGICA DE LA REGION DEL SALTO GRANDE

A — El lecho del río Uruguay

La excepcional bajante del mes de febrero de 1945, permitió estudiar en forma óptima el cauce de aguas del río Uruguay en el Salto Grande, en una extensión de más de 2.000 m, contados desde la caída principal, hacia abajo. En aquella oportunidad pude recorrer a pie, durante los días 6 y 7, gran parte del lecho fluvial, cruzando en bote solamente el canal principal

(1) M. LUGEON. (*Sur le surcreusement fluvial. Exemple du rio Uruguay*, Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Paris, t. 179, 1924, p. 1.378) ya llamó la atención sobre este fenómeno.

y el situado entre la isla del Salto Grande y la ribera uruguaya. Las observaciones efectuadas, seguramente, no pueden realizarse sino contadas veces en el correr de un siglo.

Excepción hecha del canal principal, puedo decir que me fué dable observar directamente todo el fondo rocoso del lecho, así como el escalón que determina el salto mayor (Láms. VI,1-2-3 y VII,1). Este se observa claramente desde lo alto del cerro Grande, en período de aguas bajas (Lám. V,2) y desde allí, hasta más abajo del cerro del Tigre, se ve asimismo un sinnúmero de restingas, en parte cubiertas por vegetación arbustiva (Lám. IV,1 y XI). Detrás de éstas, limitado por la doble línea de cota 105 en el plano de la Lámina I, el canal principal, por el cual se escurre entonces la mayor parte de las aguas, aparece como una cinta bordeada por las islas mayores cuya densa vegetación arborescente oculta la orilla izquierda.

En todas partes, el piso rocoso fluvial está labrado en meláfiro, roca volcánica perteneciente a la serie eruptiva triásica de Serra Geral que, en el sud del Brasil, cubre enormes extensiones. Sus afloramientos, desconocidos en la Argentina fuera del valle del Uruguay (con excepción de la zona de confluencia del arroyo Mocoretá), se observan siempre en el lecho del río, donde forman las restingas así como la parte inferior de las barrancas: Salto Grande, Salto Chico, Paso Hervidero.

En Concordia han sido alcanzados por las perforaciones Nros. 1 y 2 de la Dirección de Minas y Geología, a los 54 y 49,60 m de profundidad, o sea 34 y 9 m, en cifras redondas, respectivamente, debajo del nivel del mar, en la Escuela Normal y la Estación del Ferrocarril. Por otra parte, es casi seguro que los meláfiro constituyan el substrátum de las formaciones terciarias en una franja de ancho desconocido a lo largo de la margen derecha del río Uruguay ⁽¹⁾.

El meláfiro es una roca densa, compacta, resistente, de grano fino y color variable pero siempre oscuro, fácilmente identificable, formada por pasta de microlitos y fenocristales de plagioclasa y augita. Con este tipo se lo encuentra principalmente entre la isla del Medio y la de Abajo, particularmente en la prolongación de la punta sur de la isla del Medio, y también al pie del cerro del Tigre, lugares donde se observa una disyunción estratificada de la roca que hace que la misma se separe en lajas delgadas.

Frecuentemente, la roca se presenta como salpicada de pequeñas y numerosas manchas de color verdoso, constituídas por clorita.

En muchas partes el meláfiro presenta en su masa una gran cantidad de pequeñas cavidades que le dan un aspecto escoriáceo; se trata de burbujas de gas que han quedado aprisionadas cuando el enfriamiento de la lava, debido al aumento de la viscosidad. A pesar de ello, la roca presenta aún una elevada cohesión.

En determinadas zonas se observan intercalaciones lenticulares más o menos extensas de areniscas entre los meláfiro. Se trata de areniscas rojizas o pardo-rojizas, a veces bien estratificadas, micáceas, de grano fino hasta muy fino, bastante regular, a veces transformadas en el contacto con las lavas que las contienen, es decir endurecidas, cocidas, "hornfelsdizadas". Una lente particularmente importante de tales areniscas, finamente estratificadas, puede señalarse sobre la orilla derecha del canal principal, algo abajo de las caídas mayores (Lám. VIII,1). Pero más generalmente son lentes de reducida extensión,

(1) La presencia del meláfiro acaba de ser revelada a los 770 m de profundidad por la perforación que la Dirección de Minas y Geología está ejecutando actualmente en Ramírez, al SE de Paraná.

de aspecto amigdaloides, debido a la inclusión, dentro de la arenisca, de fragmentos irregulares y bochas de meláfiro esponjoso, según puede verse en la Lám. VIII, 2-3.

El examen microscópico revela en los fragmentos de arenisca una gran proporción de granos de cuarzo subangulosos, alcanzando los mayores 75μ . Se nota escasez de feldespato y cierta abundancia de láminas de mica de hasta 130μ de longitud pero, en general, las hojuelas son muy pequeñas ($7-15 \mu$). La roca sugiere un polvo de arrastre eólico que se hubiese mezclado con un silt, consolidándose posteriormente por cementación principalmente silícea.

En tales rocas, cuya resistencia es menor que la del meláfiro compacto, la destrucción por efecto erosivo de las aguas ha sido mayor y se observan numerosas ollas cuyas paredes suelen adquirir un pulido muy semejante al barniz de los objetos de alfarería (Lám. VIII, 3).

Este tipo de roca debe su origen a la deposición, probablemente por vía eólica y posterior diagénesis, de arenas finas en la superficie muy irregular de una colada de meláfiro. De ese modo una colada posterior ha podido arrastrar y envolver en su base trozos del piso sobre el cual se extendía, así como producir las modificaciones de origen térmico brevemente apuntadas. (1)

De cualquier modo, esta roca heterogénea no presenta diferencias apreciables con el meláfiro desde el punto de vista geotécnico, y se la puede tener como buena para asiento del dique proyectado cuando se presenta como reducidas intercalaciones desprovistas de fracturación, a pesar de que no ofrece condiciones tecnológicas uniformes, en particular una resistencia al desgaste y las presiones, variable según sus distintos constituyentes.

La disposición de los meláfiros, así como sus relaciones con las areniscas, no siempre han sido interpretadas como corresponde. No hay duda de que los meláfiros pertenecen a coladas superpuestas que se han derramado sobre grandes extensiones, observándose los niveles escoriáceos con areniscas asociadas a lo largo de los planos que separan entre sí mantos sucesivos, los que han quedado horizontales o han sido levemente inclinados por movimientos de báscula. Las areniscas, por otra parte, representan depósitos de importancia limitada, efectuados entre dos emisiones consecutivas de lava, pero de ningún modo puede pensarse en una potente serie de sedimentos intruídos y metamorfoseados por intrusiones de meláfiro dispuestas en forma de diques verticales orientados transversalmente al valle, como ha sido descrito en una publicación arriba referida.

(1) De acuerdo con las deducciones de P. GROEBER (*Informe sobre las condiciones geológicas de un dique de embalse en Rincón de Bonete y de la cuenca abarcada por el lago*, Boletín N° 17 del Instituto Geológico del Uruguay, Montevideo, 1932) los niveles fuertemente esponjosos corresponderían esencialmente a la región superior de las coladas, mientras que los horizontes lajosos y compactos determinados por fenómenos internos de deslizamiento diferencial, representarían las partes basales, donde el enfriamiento, necesariamente más lento, determinó una permanencia del estado viscoso que facilitó el escape de los gases.

Esta disposición lógica, sin embargo, no permite explicar satisfactoriamente los hechos observados en cuanto se refiere a la asociación muy generalizada de las areniscas con meláfiros de tipo esponjoso, ya que no es raro observar que, cuando las areniscas envuelven a trozos de lava vacuolar, éstos han determinado una modificación de la arenisca a su alrededor. Esto indica que la lava aún no se había enfriado cuando fué incluido el sedimento. Esta observación, por lo tanto, conduce a pensar que nos hallamos en la parte basal del escorial y no en su zona superficial.

Puedo agregar que este punto de vista está confirmado por una observación que he hecho en el territorio del Neuquén, a unos 30 km al oeste del pueblo de Las Lajas, en la confluencia de los arroyos Maitenes y de los Pinos, afluentes del Haichol, donde puede verse que, sobre tobas arenosas silicificadas, la parte basal de una potente colada basáltica ofrece una estructura netamente vacuolar.

Igual textura la he observado asimismo en la base de una colada del Auca Mahuida, Neuquén, en el pequeño cañadón de la aleta de Alvarez, estando el substratum formado por una toba arenosa levemente cementada por arcilla y enriquecida por abundante material calcáreo. Hay que recordar también al respecto que las condiciones de enfriamiento y la proporción variable de minerales fluidificantes contenidos en la lava hacen variar considerablemente su viscosidad e influyen grandemente sobre el escape de los gases.

Por lo tanto, si bien no se conoce la potencia del meláfiro en la región del Salto Grande, es posible no obstante, en base al conocimiento que se tiene de la disposición y potencia del conjunto de los mantos y los varios lugares más o menos alejados en que han sido observados, tanto en la República Argentina como en la del Uruguay ⁽¹⁾, afirmar que su espesor en el Salto Grande ha de ser bastante grande y en todo caso suficiente como para asegurar que constituye un excelente piso para asentar el dique proyectado.

En su informe geológico, el Ing^o M. Singer ha supuesto, y así lo ha dibujado en un perfil longitudinal a lo largo de la costa, así como el perfil transversal VII, que los meláfiros se hunden bastante rápidamente al S, en la vecindad del arroyo Gualaguaycito, estimando por lo tanto, que el dique no debía ubicarse más abajo del cerro del Tigre. Esta consideración explica el trazado del proyecto Forti. Sin embargo, hallé sobre la margen izquierda del mencionado arroyo, a unos 200 m al oeste de su confluencia, más o menos en la cota (115), un afloramiento que, junto con otro situado aproximadamente al mismo nivel, a 600 m abajo del cerro del Tigre y distante unos 150 m de la orilla del río, permite asegurar que el piso rocoso se mantiene en la vecindad de la cota referida en toda la zona. En base a esta indicación, ya proporcionada en el terreno al Ing^o Soler, pudo ubicarse el nuevo trazado, según figura en Lámina I.

No obstante, si se adoptara definitivamente el proyecto Soler y si el coronamiento de la obra fuera mantenido en la cota (+ 133), sería necesario extender el dique muy lejos de la orilla, debido al bajo nivel del terreno en la zona elegida.

Por lo que se refiere a la extensión del meláfiro, no dudo de su continuidad hacia el oeste, y creo también que las perforaciones han de confirmar mi presunción en cuanto a la ausencia de desniveles apreciables en su superficie, la cual parece mantenerse en la vecindad de la cota (115), aunque no debe descartarse la posibilidad de un suave declive hacia el oeste.

La morfología del piso fluvial en la región de los rápidos del Salto Grande es sumamente irregular, pues la diferencia de resistencia de las rocas a la fuerza erosiva de la corriente ha determinado numerosas restingas y peñas que emergen en período de estiaje y pueden observarse sobre varias de las fotografías que acompaño y particularmente sobre la vista aérea del Salto Grande (Lám. XI).

Además, aparte de los profundos ombligos ya mencionados en el canal principal, la excepcional bajante del mes de febrero de 1945 me permitió comprobar la existencia de hoyos, depresiones, cubetas o bateas sumamente irregulares, con fondo rocoso, de varios metros de profundidad, con bordes abruptos, según muestran las Láms. IX,1 y X,3. En otras partes, como ser entre la isla del Salto Grande y la del Medio, el fondo del lecho es casi plano, solamente sembrado de algunos bloques y trozos menores de meláfiro (Lám. X,1).

Por otra parte, cerca de la orilla uruguaya y sobre todo entre la isla del Salto Grande y la margen derecha, el piso rocoso está surcado por un gran número de angostos y profundos canales irregularmente anastomosados, en los que las aguas se precipitan con extraordinaria impetuosidad (Lám. IX,2-3). En esos canales frecuentes son las ollas o calderas que van profundizándose por efecto de los conocidos movimientos turbillonarios. Por lo tanto, si se eligiera para el dique proyectado un trazado a lo largo del cual el lecho presentara tales carac-

(1) Con respecto al Uruguay, donde las efusivas de Serra Geral ocupan grandes extensiones, ver en particular:

R. LAMBERT, Memoria explicativa de un mapa geológico de reconocimiento del departamento de Paysandú y de los alrededores de Salto, Instituto Geológico del Uruguay, Boletín N^o. 27b, Montevideo, 1940.

R. LAMBERT, Estado actual de nuestros conocimientos sobre la geología de la República Oriental del Uruguay, Ibid., N^o. 29, 1941.

terísticas, sería necesario eliminar las paredes entre los canales cuando estuvieran demasiado cercanos unos de otros, dado que las calderas, a menudo ensanchadas en profundidad, constituirían puntos débiles del asiento.

Digna de mencionarse, además, es la ausencia de aluviones en el fondo del lecho, lo cual tiene su explicación en el hecho que el Uruguay es un río en busca de su perfil de equilibrio, es decir en pleno proceso de rejuvenecimiento erosivo, por cuanto el territorio que surca va levantándose paulatinamente, según se desprende de la observación de su perfil longitudinal y del estudio del corte geológico comparado de sus márgenes.

B — La margen derecha del Uruguay

La constitución geológica de la margen argentina del río Uruguay en el Salto Grande es sumamente sencilla (Lámina IIIa); sobre los meláfiros (a) descansan en posición subhorizontal, desde abajo hacia arriba (Fig. 2):

b) "Calcáreos brechosos"

c) Aluviones antiguos del río, de edad pliocena, y, sobre cualquiera de las formaciones mencionadas y sin regularidad:

d) Aluviones recientes y detritos de falda.

a) Los meláfiros ya han sido descriptos en el lecho del río, donde la erosión ha eliminado las partes alteradas por acciones subaéreas. Sólo agregaré la presencia en los mismos de algunas diaclasas rellenas por calcita, mineral que también suele ocupar las vacuolas de la roca, al igual que las ceolitas.

Al pie de las barrancas, del cerro Grande y cerro del Tigre en particular, donde se observa una disyunción de tipo sedimentario del meláfiro en lajas delgadas, las fisuras, dispuestas en todas direcciones, han sido rellenas por carbonato de calcio, observándose que éste ha podido penetrar a una profundidad de hasta más de 1 metro a favor de pequeñas rajaduras.

Hacia arriba aumenta la proporción del calcáreo cementante, que incluye trozos irregulares y cada vez más pequeños de meláfiro, de modo que el conjunto se asemeja a una brecha ("brèche de tuf à ciment calcaire" p.p. de M. Singer), cuyo color más oscuro o más claro se debe a la predominancia de los fragmentos de meláfiro en la base, del calcáreo en lo alto. El espesor de este nivel de transición entre la roca efusiva y el calcáreo brechoso superpuesto, verdadero eluvión consolidado *in situ* por cementación calcárea, varía desde uno hasta varios me-

tros (horizonte a' de la fig. 2). Es un horizonte formado por una roca de resistencia e impermeabilidad limitadas.

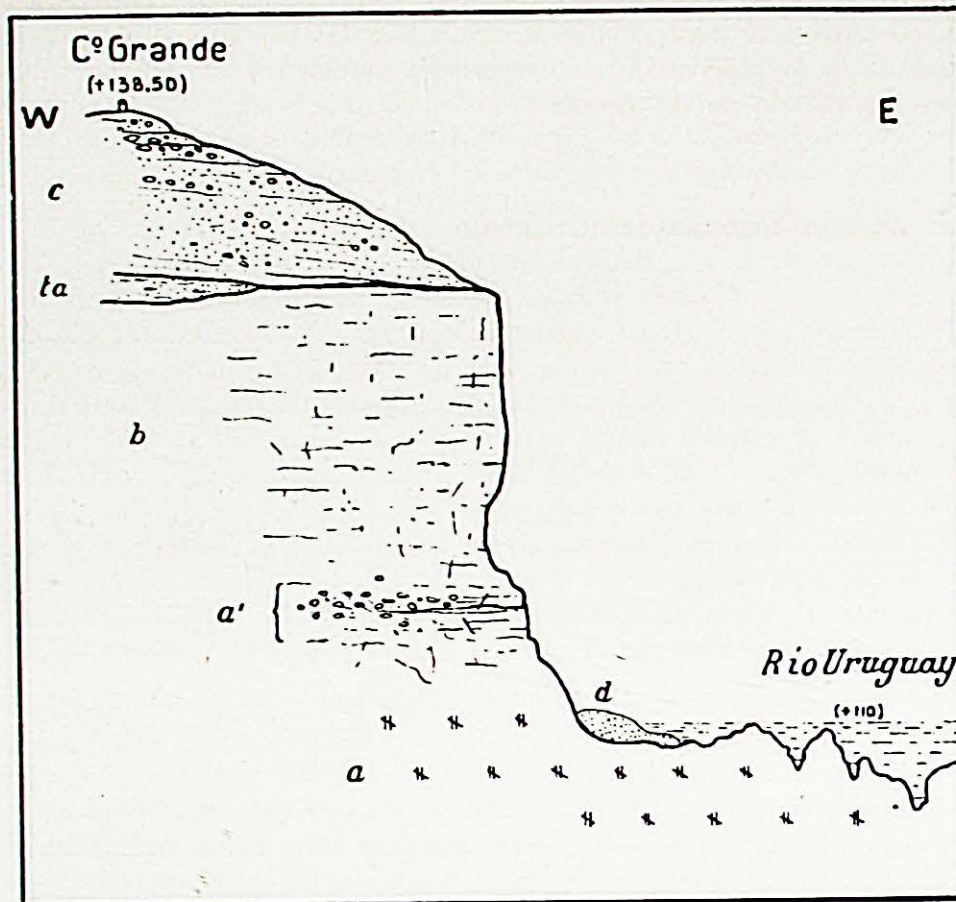


Fig. 2

b) El llamado “*calcáreo brechoso*” (Kittl, Cordini) constituye un banco potente de hasta más de 12 m en el cerro Grande, formado por un sedimento con aspecto de aglomerado, de color predominantemente rojizo. Este color, por otra parte, no es uniforme; la roca muestra numerosos núcleos o nódulos irregulares, subangulares hasta redondeados, de tamaño variable, más rojizos, envueltos en un material más pálido, ligeramente pardusco, con partes blanquecinas dispuestas principalmente alrededor de los nódulos rojizos. Otras veces, se observa una alternancia irregular de los componentes, distribuidos en bandas casi paralelas y subhorizontales. Esta formación ha sido referida al Mioceno superior.

Los elementos de color más rojizo, litológicamente, pertenecen a una arenisca de grano fino aunque algo irregular, en tanto que la pasta que los engloba, predominantemente tobácea, ha sido invadida por soluciones carbonatadas que han abandonado el carbonato de calcio que sirve de cemento y determina el color blanquecino del mismo, especialmente alrededor de los fragmentos de arenisca. El carbonato de calcio también puede presentarse en forma de vetas de pocos milímetros de espesor, pero su proporción nunca llega a ser tal como para que la roca merezca el nombre de calcáreo, de modo que, en todo rigor, la roca, localmente conocida como “tosca”, debería designarse como “*material tobáceo*”.

con fragmentos de arenisca, muy cementado por calcáreo" (Cordini). Debido a su constitución, esta roca ofrece una irregular resistencia a la destrucción sub-aérea, de modo que es frecuente observar en sus superficies de afloramiento que los nódulos de arenisca rojiza, han quedado en relieve, por eliminación de las partes tobáceo-calcáreas.

Desde el punto de vista tecnológico, es una roca de baja resistencia a la compresión, poca tenacidad y elevado coeficiente de desgaste y porosidad, de modo que no se la puede utilizar como piedra partida ni tampoco para asiento de alguna obra de importancia. En el caso que nos ocupa, las obras deberán fundarse únicamente sobre el meláfiro, cuyo techo será determinado por las perforaciones que ubiqué según puede verse en el plano adjunto (Lámina III b).

En la loma baja situada a mitad de distancia entre el cerro Grande y el del Tigre, existe en lo alto del calcáreo brechoso un afloramiento reducido de *toba arenosa* grisácea ("argile lacustre" del Ing^o M. Singer) cementada por un mineral arcilloso (beidelita), en la cual se observa una abundante proporción de granos de cuarzo (nivel *1a* de la Fig. 2). Es un material alóctono, ya seleccionado por el agua y depositado en ambiente líquido, de poco desarrollo. Todo parece indicar que se trata de una lente de extensión limitada y no de una capa regular como aparece en el mapa y perfiles del citado geólogo, por cuanto es ése el único afloramiento observado.

Su presencia en ese lugar no afecta en nada las obras que se proyectan en el cerro del Tigre o más abajo. No obstante, debido al carácter del depósito, pueden encontrarse lentes análogas en idéntica posición estratigráfica en lugares vecinos, actualmente ocultas por la cubierta aluvial pliocena o depósitos recientes.

c) Los *aluviones antiguos* del Uruguay, bajo forma de arenas limoníticas y rodados silíceos dispersos en forma de lentes o irregularmente distribuidos, se hallan parcialmente cementados en areniscas silíceas, en partes conglomerádicas y constituyen una manto superficial de espesor variable que recubre las lomadas, habitualmente a partir de la cota (124), aunque no es posible atribuir un valor absoluto a esta indicación.

Esta formación corresponde al aluvionamiento del río Uruguay en un período de los tiempos pliocenos (ingresión entrerriana) durante el cual el nivel de base del río se encontraba a una cota más elevada que la actual. Por descenso posterior de ese nivel, como consecuencia de una nueva oscilación epirogénica, el río ha vuelto a excavar su cauce, fenómeno que sigue persistiendo hoy en día, según ya lo expresara más arriba, al mencionar la ausencia de aluviones en el lecho fluvial.

Cuando el depósito se presenta aglutinado en forma de arenisca silícea, con o sin rodados, su compacidad y resistencia son elevadas, pero en su conjunto, debido a la existencia de partes poco consolidadas, esta formación debe tenerse por muy permeable.

En ciertos niveles, especialmente cerca de la superficie, suelen hallarse bancos de rodados sueltos que podrían utilizarse para hormigón.

d) Los *aluviones recientes* ocupan la parte baja y laderas de varias depresiones normales al curso del río, observándose en la superficie, por lo común, solamente tierra areno-arcillosa fina, cuyo color negruzco se debe a su contenido de materias húmicas.

Sedimentos idénticos ocupan la ancha depresión situada en el ángulo inferior izquierdo de la Lámina III, es decir al SW del cerro del Tigre, que desagua en el arroyo Gualaguaycito.

Depósitos arenosos marginales finos obsérvanse en varios puntos de la misma orilla del río, como ser al pie del cerro Grande, de la loma que le sigue aguas abajo y particularmente entre el cerro del Tigre y la desembocadura del Gualaguaycito, lugar donde ocupan una faja de más de 100 m de ancho, cubierta de densa vegetación, fácilmente identificable en la Lám. XI.

Las islas mayores quedan constituidas, como queda dicho más arriba, por limos aluviales que descansan directamente sobre los meláfiros.

Los detritos de falda, a su vez, por no constituir más que fajas de poca importancia en lo alto de las laderas de las depresiones, no merecen particular atención.

C — Ubicación de las Perforaciones de Estudio

De acuerdo con las indicaciones recibidas, la zona que reviste particular interés para la Dirección General de Centrales Eléctricas del Estado es la comprendida entre la desembocadura del arroyo Gualaguaycito y la vertiente norte del cerro del Tigre.

El croquis geológico adjunto (Lámina IIIa) permite apreciar la gran extensión de zonas sin afloramientos en esta parte, cuya investigación forzosamente debía realizarse con un número apropiado de sondeos poco profundos, destinados en especial a establecer la conformación del piso rocoso melafírico.

Nueve perforaciones han sido previstas para alcanzar dicha finalidad.

Ellas han sido distribuidas a lo largo de 3 líneas aproximadamente paralelas entre sí y algo oblicuas con relación al río. Su ubicación, tal como está indicada en la Lámina IIIb, ha sido obtenida por medio de un relevamiento rápido a brújula y pasos, a partir de los dos mojones existentes en el cerro del Tigre y la lomita que domina la desembocadura del arroyo Gualaguaycito.

Conviene aclarar al respecto que la posición de las perforaciones en el terreno, según resulta de la superposición del croquis de ubicación (Lámina IIIb) sobre el mapa geológico (Lámina IIIa), no corresponde a la realidad topográfica, por cuanto el relevamiento de que disponía no reproduce fielmente la conformación física de la zona (ya que difícilmente podría admitirse que el substratum volcánico haya producido una fuerte perturbación de la aguja de la brújula).

Las líneas de sondeos I-III y IV-VI, que aparecen siguiendo el thalweg de las dos depresiones al sud del cerro del Tigre, se hallan ubicadas en la ladera izquierda de las mismas, en tanto que la perforación IX se sitúa sobre el costado ceste de la suave depresión que desagua en el Gualaguaycito.

APENDICE

Informe relacionado con la clasificación petrográfica y geológica de los terrenos atravesados por las perforaciones de estudio en la margen derecha del río Uruguay, abajo del Cerro del Tigre.

De acuerdo al estudio de los testigos recogidos, efectuado en la Subdirección de Geología, las perforaciones realizadas por la Dirección de Minas y Geología en 1946 revelan una gran homogeneidad de los terrenos atravesados, habiéndose reconocido en general la presencia de una serie integrada por Cuaternario, Mioceno y Triásico.

Unicamente en el sondeo n° 3 se encontraron depósitos pliocénicos típicos (arena amarillenta limonítica y arenisca silicificada, con rodados de cuarzo y ágata) pero considero que hay que atribuir la misma edad a los sedimentos arcillo-tobáceos hallados entre 1 y 1,95 m y 1,45 y 2,20 m de profundidad, en las perforaciones n° 6 y 8, respectivamente. Dichos sedimentos, por su posición encima del "Calcáreo brechoso" y por su naturaleza, pueden homologarse con la toba arenosa grisácea aflorando en la lomita situada entre el cerro Grande y el del Tigre. Por lo tanto, creo que este depósito tobáceo (véase pág. 14), que coloqué en la parte más alta del "Calcáreo brechoso" en la leyenda del mapa de la Lám. IIIa, debe, asimismo, pertenecer al plioceno.

El Cuaternario está representado esencialmente por una capa de espesor variable de tierra arcillo-arenosa negruzca con detritos vegetales que contiene a veces rodados emegrecidos, de superficie oxidada, procedentes del plioceno.

Se perforó además, en algunos sondeos (n° 4 al 8) un nivel arcilloso de color pardo-rojizo oscuro, algo endurecido.

Debajo del cuaternario o del plioceno en los casos ya indicados, sigue el "Calcáreo brechoso" ya descripto (pág. 13), atribuido al Mioceno superior. Su potencia varía entre 7 y 18 m (perforaciones n° 8 y 3, respectivamente). Presenta ligeras variantes en el color y la consistencia, por el mayor o menor contenido de cemento calcáreo. En su parte basal, siempre se nota una cierta abundancia de elementos melafíricos.

Los meláfiro triásicos infrapuestos, tienen comúnmente un color gris verdoso, aunque en el sondeo n° 7 se encontró una roca alveolar de tinte rojizo-violáceo. La zona superior se halla muy fracturada, relleno de las fisuras un material carbonatado blanquecino. Asimismo, son frecuentes las impregnaciones de limonita, manganeso y las superficies alteradas en clorita. Los alveolos de la roca están a menudo rellenos por calcita o ceolitas.

A mayor profundidad el manto melafírico es más denso y las fisuras cada vez menores; el color varía en forma apreciable debido sobre todo a la mayor o menor abundancia de óxido de hierro o de clorita.

Como podrá observarse en los perfiles de la Lámina XII, la superficie del meláfiro, debajo de los sedimentos superpuestos, se inclina levemente hacia el W, confirmando así la presunción expresada en el Informe que antecede (véase lo dicho pág. 11); por otra parte, la comparación de los perfiles obtenidos en las líneas nort-sur, o sea 1-4-7 y 2-5-8, revela asimismo un ligero declive en dirección al N.

Las cotas indicadas en la Lám. XII, obtenidas recientemente por el Servicio Geográfico de la Dirección de Minas y Geología, difieren bastante de las que surgen de los planos acotados relevados hace más de 25 años (Láminas I y IIIa) reproducidos de los que figuran en el proyecto del Ing° A. Forti. De ese modo, y por lo dicho arriba (pág. 15) se deduce que el plano definitivo, en curso de relevamiento, diferirá bastante de los que ilustran el presente informe.

EXPLICACION DE LAS LAMINAS DE FOTOGRAFIAS

Lámina IV

Fig. 1. *Vista panorámica del Salto Grande del Uruguay, tomada desde lo alto del cerro Grande, el 14 de noviembre de 1945.* La altura de las aguas (+ 2,65 m en la escala de Concordia) no permite distinguir claramente las caídas principales, las que se identifican sin embargo con relativa facilidad, gracias al color blanquecino de las aguas espumosas en el lugar correspondiente, o sea en la parte izquierda de la foto.

Se notará, además, la zona de rápidos determinados por los meláfiro sobre la orilla argentina (compárese con la Lám. XI). Al fondo, a la izquierda, sobre la costa uruguaya, desembocadura del arroyo Itapebí.

Fig. 2. *Panorama del Salto Grande tomado desde el cerro del Tigre, el 13 de noviembre de 1945, abarcando desde algo arriba del Salto (a la izquierda) hasta la mitad de la isla del Medio.*

Se reconocen las caídas principales en el centro del lecho, algo a la izquierda de los restingares que cruzan oblicuamente el cauce hacia arriba, a partir del pie del cerro del Tigre.

En el segundo plano, en la mitad derecha de la foto, obsérvese la doble isla de los Lobos.

Fig. 3. *El cauce del río Uruguay, aguas abajo del Salto Grande.* Foto tomada desde el borde occidental de la isla de Abajo, en dirección hacia arriba.

En la orilla derecha (al fondo), se reconocen el cerro del Tigre, coronado por un grupo de árboles, y el cerro Grande, encima de la extremidad de la galería de árboles de la costa argentina. Más a la derecha, la isla de los Lobos. A extrema izquierda, desembocadura del arroyo Gualaguaycito.

Lámina V

Fig. 1. *Vista transversal del cauce del río tomada en dirección al cerro Grande (al fondo), desde un punto situado cerca de la orilla uruguaya, el 7 de febrero de 1945.*

El salto principal, en segundo plano, a la derecha, puede ser localizado fácilmente gracias a las nubes de espuma que se elevan del mismo (los números corresponden a los de la foto aérea, Lám. XI). A la izquierda puede apreciarse la altura del escalón rocoso que determina las caídas.

Fig. 2. *El Salto Grande del Uruguay, visto desde el cerro Grande (14 de noviembre de 1945).* En esta foto se distinguen nítidamente las caídas principales, algo a la izquierda del centro de la misma. En la parte derecha, isla del Salto Grande. Al fondo, la costa uruguaya.

Fig. 3. *El canal principal del río, inmediatamente aguas abajo del Salto Grande (6 de febrero de 1945).* Al fondo, a la izquierda, isla del Salto Grande; en el centro, isla del Medio; a la derecha, isla de los Lobos, de mayor elevación.

Lámina VI

Fig. 1. *El Salto Grande del Uruguay (parte oriental del salto principal, correspondiente al punto 5 de la Lám. XI).* Al fondo, margen uruguaya.

Fig. 2. *El Salto Grande (parte central, correspondiente al punto 6 de la Lám. XI).* Al fondo, orilla argentina, sobre la cual se destaca mal la isla Infiernillo, situada detrás del salto.

Fig. 3. *El Salto Grande (parte occidental, correspondiente al punto 7 de la Lám. XI).* A extrema derecha se reconoce la isla Infiernillo.

En las tres fotos de esta lámina, tomadas el 6 de febrero durante la bajante excepcional del año 1945, se observa perfectamente el escalón melafírico ya mencionado.

Lámina VII

Fig. 1. *El Salto Grande, tramo occidental.* Esta foto corresponde a la parte derecha de la anterior, vista de más cerca, desde otro ángulo y con un caudal algo mayor. Al fondo, el Cerro Grande.

Fig. 2. *El Salto Grande, parte central.* Foto tomada el 7 de febrero (compárese con la Fig. 2 de la Lám. VI, tomada el día anterior en que el caudal era todavía menor).

Fig. 3. *Detalle de los rápidos en la parte oriental del Salto Grande.* Foto tomada el 6 de febrero.

Lámina VIII

Fig. 1. *Importante lente de areniscas rojizas interestratificadas en los meláfiro,* sobre la margen derecha del canal principal, algo abajo del punto 7 de la Lám. XI.

La roca está densamente surcada por angostos y profundos canales, sobre cuyas paredes se destacan los planos de estratificación de la arenisca, subrayados por los relieves lineales paralelos puestos en evidencia sobre su canto por la erosión fluvial.

En segundo plano, el canal principal; detrás, isla del Salto Grande.

Fig. 2. *Parte de la superficie del piso fluvial en la punta de abajo de la isla del Medio,* puesta al descubierto por la bajante excepcional del mes de febrero de 1945, mostrando fragmentos irregulares de meláfiro esponjoso envueltos en arenisca rojiza "hornfelsdizada". Obsérvese la reducida cantidad de rodados aluviales.

Fig. 3. *Puente de arenisca de superficie pulida, conservado entre dos ollas de erosión excavadas por las aguas en el piso rocoso del río Uruguay,* algo abajo del Salto Grande, en la región de canales situada entre el canal principal y la margen argentina. Se observan varias bochas de meláfiro escoriáceo dentro de la arenisca.

Lámina IX

Fig. 1. *Aucha zanja, profunda de varios metros, excavada en el lecho del río.* Al fondo, a la izquierda, isla del Salto Grande; en el centro, isla del Medio; a la derecha, isla de los Lobos. Foto tomada el 6 de febrero de 1945, a escasa distancia abajo del Salto Grande, sobre la margen izquierda del canal principal, en dirección hacia abajo.

Figs. 2 y 3. *Meláfiro del lecho del río, cerca de la orilla argentina, fuertemente atacados por la erosión fluvial y recortados por angostos y profundos canales en los que las aguas se precipitan con mucha violencia.*

Lámina X

Fig. 1. *Canal separando la isla del Salto Grande (a la izquierda) de la del Medio (a la derecha).* Foto tomada el 6 de febrero de 1945 en dirección hacia el E o sea transversalmente al río. La bajante excepcional permite apreciar la morfología del piso fluvial en ese lugar.

Fig. 2. *Valle del río Uruguay, visto transversalmente hacia la ribera uruguaya, desde el cerro del Tigre, según eje del dique del proyecto Forti.*

Puede reconocerse, en el centro de la foto, la salida del canal que corre entre la isla del Medio (a la izquierda) y la de Abajo. Vista tomada el 7 de febrero de 1945.

Fig. 3. *Aspecto que presenta el lecho del río, en el borde occidental de la isla del Medio.* Foto tomada hacia aguas arriba el 6 de febrero. En el centro, isla de los Lobos; en el fondo, a la izquierda, costa argentina.

Debido a la bajante excepcional, pudo observarse esta amplia excavación irregular, sembrada de grandes bloques de meláfiro.

Lámina XI

Reproducción de una vista aérea del río Uruguay en la región de los rápidos del Salto Grande.

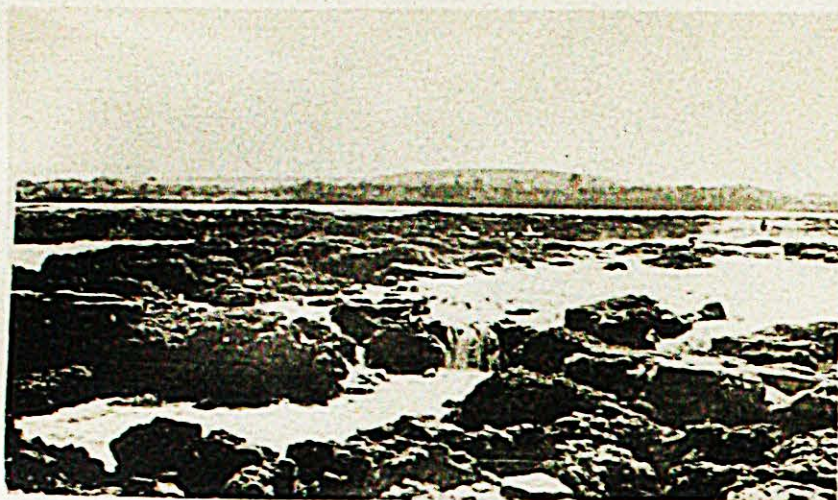
- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. — Cerro Grande | 4 - 4a. — Isla de los Lobos |
| 2. — Cerro del Tigre | 5 - 6 - 7. — Salto principal |
| 3 — Arroyo Gualeguaycito | Línea de flechas: Canal principal |

Nota.— Todas las fotografías, con excepción de la vista aérea del Salto Grande (Lám. XI), proporcionada por el Instituto Geográfico Militar, han sido obtenidas por el autor.

*Es propiedad de la Dirección de Minas
y Geología de la Nación.
Prohibida su reproducción.*

Terminó la impresión de esta obra el 31 de marzo de 1948.

INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE



1. *Vista transversal del cauce del río tomada en dirección al cerro Grande.*



2. *El Salto Grande del Uruguay, visto desde el cerro Grande.*



3. *El canal principal del río, inmediatamente aguas abajo del Salto Grande.*

INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE



1. *El Salto Grande, del Uruguay, parte oriental.*



2. *El Salto Grande, parte central.*



3. *El Salto Grande, parte occidental.*

LUIS R. LAMBERT

INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE



1. *El Salto Grande, tramo occidental.*

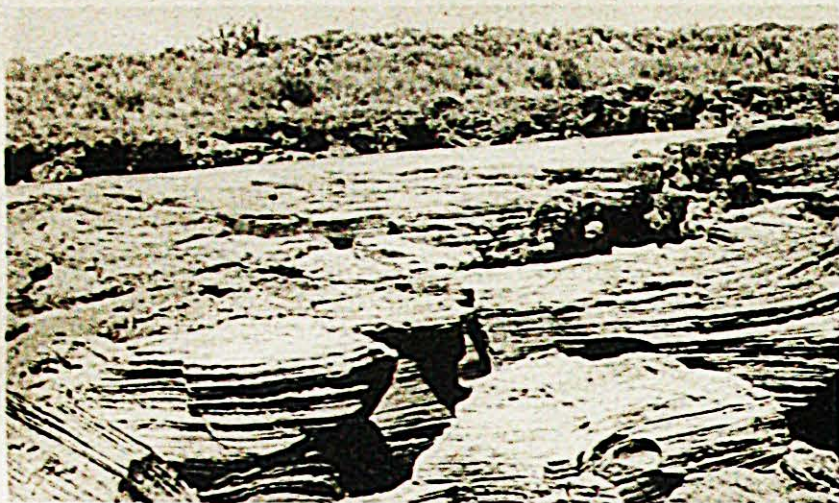


2. *El Salto Grande, parte central.*



3. *Detalle de los rápidos en la parte oriental del Salto Grande.*

INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RÍO URUGUAY EN SALTO GRANDE



1. *Importante lente de areniscas rojizas interestratificadas en los meláfiros.*



2. *Parte de la superficie del piso fluvial.*



3. *Puente de arenisca de superficie pulida, conservado entre dos ollas de erosión excavadas por las aguas en el piso rocoso del río Uruguay.*



1. Ancha zanja, profunda de varios metros excavada en el lecho del río.



3. Otro ejemplo de los molinos del lecho del río, profundamente atacados por la erosión fluvial.



2. Molinos del lecho del río, cerca de la orilla argentina, fuertemente atacados por la erosión fluvial.

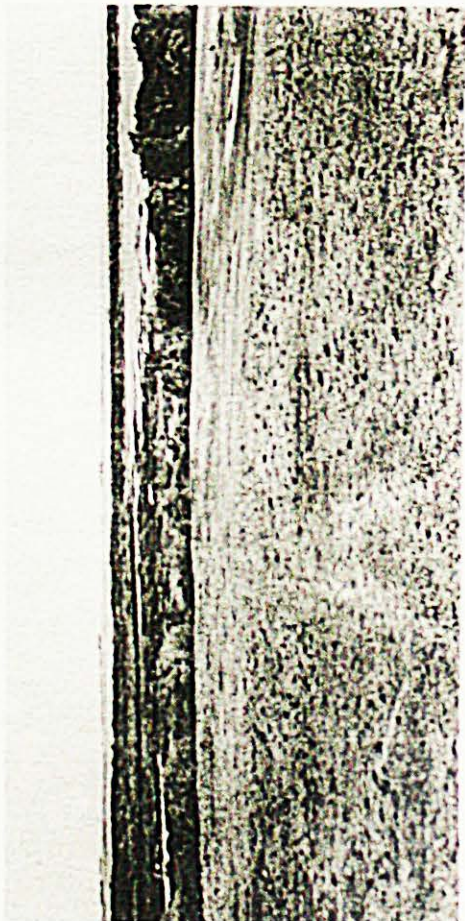
INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE



1. Canal separando la isla del Salto Grande de la del Medio.



3. Aspecto que presenta el lecho del río, en el borde occidental de la isla del Medio.



2. Valle del río Uruguay, visto transversalmente hacia la ribera uruguayana, desde el cerro del Tigre.

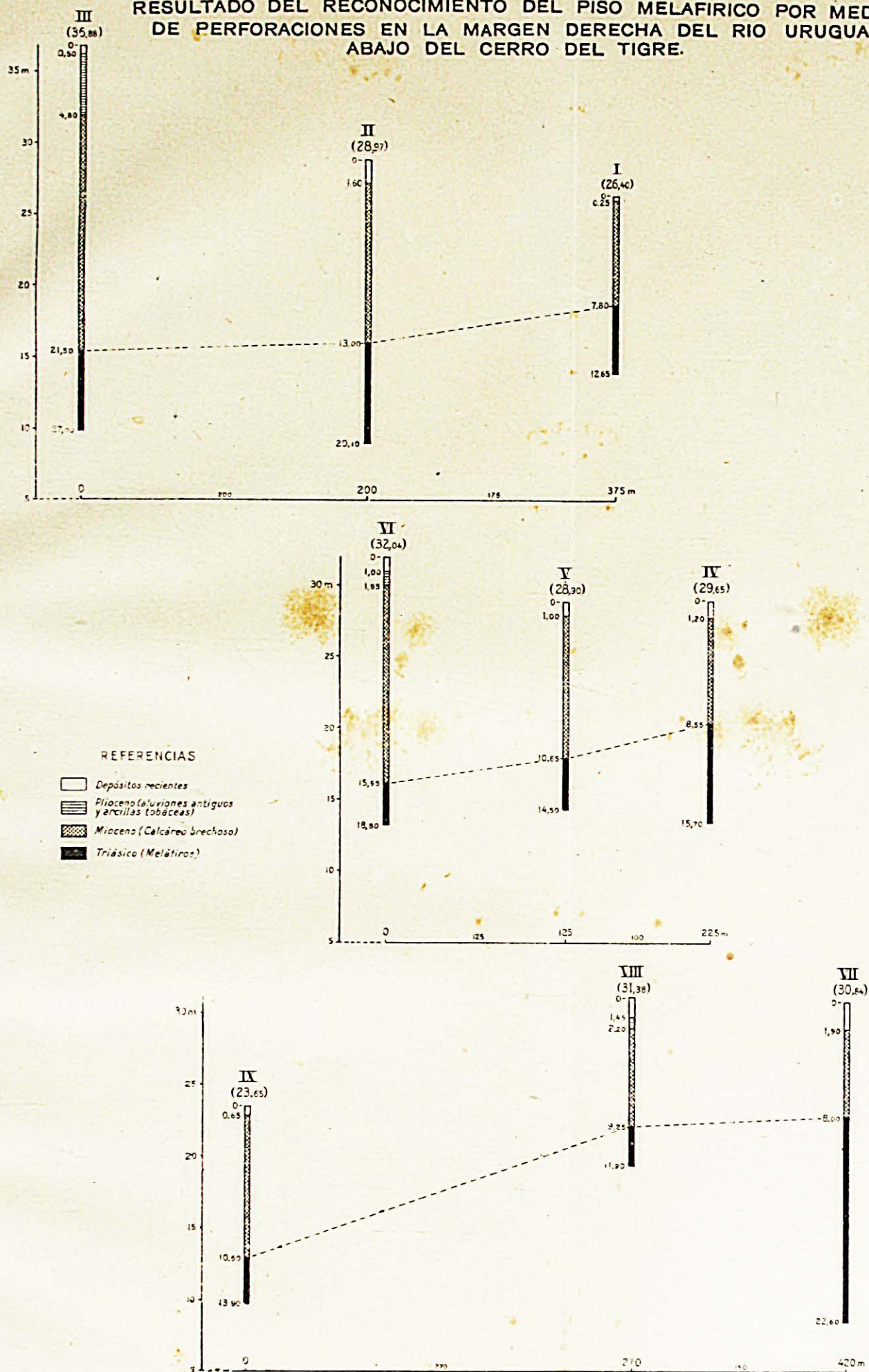
INFORME GEOLOGICO, DIQUE DE EMBALSE DEL RIO URUGUAY EN SALTO GRANDE



Reproducción de una vista aérea del río Uruguay en la región de los rápidos del Salto Grande.
(La mancha negra irregular, a la izquierda, se debe a una nube).

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| 1. Cerro Grande | 4 - 4w - Isla de los Lobos |
| 2. Cerro del Tigre | 5-6-7 - Salto principal |
| 3. Arroyo Gualaguaycito | Línea de flechas: Canal principal |

**RESULTADO DEL RECONOCIMIENTO DEL PISO MELAFIRICO POR MEDIO
DE PERFORACIONES EN LA MARGEN DERECHA DEL RIO URUGUAY
ABAJO DEL CERRO DEL TIGRE.**



Los números romanos se refieren a la numeración de las perforaciones, de acuerdo a la lámina III b. La cota de la boca de cada perforación está indicada entre paréntesis. Los intervalos entre los sondeos de una misma línea, sólo son aproximados. Se observará el leve declive del piso rocoso en dirección hacia el W.