

INTREPID MINERALS CORPORATION

**PROYECTO CASPOSO
INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL
ETAPA DE EXPLOTACIÓN**

**ANÁLISIS DE SLUG TESTS
(Ref. No. SA202-0133/1-4)**

Preparado para:

Intrepid Minerals Corporation

Knight Piésold Argentina Consultores S.A.

25 de Mayo 234 (Oeste)-Capital San Juan, Argentina

Fono: 0054-262-421 0014

E-mail: sanjuan@knightpiesold.com

Knight Piésold
CONSULTING

**INTREPID MINERALS CORPORATION
PROYECTO CASPOSO
INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL
ETAPA DE EXPLOTACIÓN**

**ANÁLISIS DE SLUG TESTS
(Ref. No. SA202-0133/1-4)**

CONTENIDO

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	METODOLOGÍA	1
1.3	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS	2
1.4	RESULTADOS	3

TABLAS

Tabla 2.3-1	Forward Slug Test Piezómetro KP-1
Tabla 2.3-2	Reverse Slug Test Piezómetro KP-1
Tabla 2.3-3	Forward Slug Test Piezómetro KP-3
Tabla 2.3-4	Reverse Slug Test Piezómetro KP-3
Tabla 2.3-5	Forward Slug Test Piezómetro KP-4
Tabla 2.3-6	Reverse Slug Test Piezómetro KP-4
Tabla 2.3-7	Forward Slug Test Piezómetro KP-1 (Primera Prueba)
Tabla 2.3-8	Reverse Slug Test en Piezómetro KP-1 (Primera Prueba)
Tabla 2.3-9	Forward Slug Test en Piezómetro KP-3 (Segunda Prueba)
Tabla 2.3-10	Reverse Slug Test en Piezómetro KP-3 (Segunda Prueba)

FIGURAS

Figura 2.3-1	Esquema de Ensayo Forward Slug Test
Figura 2.3-2	Esquema de Ensayo Reverse Slug Test
Figura 2.3-3	Mediciones de Ensayo Slug Test
Figura 2.3-4	Diagrama Ensayo Slug Test
Figura 2.3-5	Forward Slug Test Piezómetro KP-01
Figura 2.3-6	Regresión Logarítmica Forward Slug Test Piezómetro KP-01
Figura 2.3-7	Reverse Slug Test Piezómetro KP-01
Figura 2.3-8	Regresión Logarítmica Reverse Slug Test Piezómetro KP-01
Figura 2.3-9	Forward Slug Test Piezómetro KP-03

Figura 2.3-10	Regresión Logarítmica Forward Slug Test Piezómetro KP-03
Figura 2.3-11	Reverse Slug Test Piezómetro KP-03
Figura 2.3-12	Regresión Logarítmica Reverse Slug Test Piezómetro KP-03
Figura 2.3-13	Forward Slug Test Piezómetro KP-04
Figura 2.3-14	Regresión Logarítmica Forward Slug Test Piezómetro KP-04
Figura 2.3-15	Reverse Slug Test Piezómetro KP-04
Figura 2.3-16	Regresión Logarítmica Reverse Slug Test Piezómetro KP-04
Figura 2.3-17	Forward Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 1
Figura 2.3-18	Regresión Logarítmica Forward Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 1
Figura 2.3-19	Reverse Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 1
Figura 2.3-20	Regresión Logarítmica Reverse Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 1
Figura 2.3-21	Forward Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 2
Figura 2.3-22	Regresión Logarítmica Forward Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 2
Figura 2.3-23	Reverse Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 2
Figura 2.3-24	Regresión Logarítmica Reverse Slug Test Piezómetro KP-05 Prueba 2

**INTREPID MINERALS CORPORATION
PROYECTO CASPOSO
INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL
ETAPA DE EXPLOTACIÓN**

ANÁLISIS DE SLUG TESTS

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas se han desarrollado este tipo de ensayos para determinar la conductividad hidráulica en el entorno de piezómetros de agua, debido a que por una parte no requieren de equipos de bombeo y por lo tanto son de bajo costo y de rápida ejecución y por otra parte no requieren de inyectar agua, y por lo tanto se pueden aplicar en piezómetros contruidos para monitoreo ambiental de aguas subterráneas, sin alterar los resultados de los análisis químicos que se realizan en estos.

Son métodos bastante sencillos de ejecutar e interpretar, pero tienen la restricción que los resultados de conductividad hidráulica obtenidos sólo dan un orden de magnitud de la conductividad hidráulica, y por lo tanto sus resultados se deben interpretar de esta manera.

1.2 METODOLOGÍA

Los ensayos consisten en tratar de generar una variación instantánea del nivel del agua dentro del piezómetro, con el fin de producir un desequilibrio entre el nivel dentro del piezómetro y en la formación que lo rodea. Producto de este desequilibrio se produce un flujo desde o hacia el piezómetro, dependiendo si la variación del nivel que se produce es positiva o negativa, y luego de un tiempo determinado el nivel de agua tiende a estabilizarse con respecto a su nivel inicial.

En este caso, para hacer variar el nivel del piezómetro, se introdujo un pistón cilíndrico de 1,5 m de longitud y 3” de diámetro nominal, que al introducirse rápidamente produce que el nivel de agua sube dentro del piezómetro y por lo tanto el agua fluye hacia la formación (“forward slug test”) (Figura 2.3-1). Una vez alcanzado el equilibrio con el nivel inicial se retira rápidamente el pistón, con lo cual el nivel de agua dentro del piezómetro desciende y por lo tanto entra agua desde la formación, hasta alcanzar nuevamente el nivel estático inicial (“reverse slug test”) (Figura 2.3-2).

Dado que en algunos casos las respuestas de los acuíferos a este tipo de pruebas son muy rápidas, como en el caso de piezómetros habilitados en gravas bien seleccionadas, es conveniente utilizar transductores de presión para registrar los niveles de agua. En este caso se instalaron transductores que funcionan en un rango de hasta 10 m de columna de agua, y simultáneamente se registraron los niveles con un pozómetro convencional para contrastar los valores.

A continuación se describe la metodología de cálculo, basada en el método Hvorslev (1951), este método se utiliza para piezómetros que no penetran completamente el acuífero y es, probablemente gracias a su simplicidad, el método más utilizado para determinar la conductividad hidráulica mediante ensayos de Slug Test.

Para aplicar el método se debe primero graficar H/H_0 en escala logarítmica en función del tiempo en escala aritmética. Donde H_0 es la columna de agua sobre o bajo el nivel inicial al iniciar el test y H es la columna de agua para un tiempo dado (Figura 2.3-3). Luego se realiza una regresión lineal a la parte estable de estos datos eliminando o interpolando los valores que se puedan producir por interferencias externas. A partir de esta regresión se calcula un T_0 que es el tiempo para una razón H/H_0 igual a 0,37.

Entonces, si se cumple la condición que $L_e/R > 8$ entonces la conductividad hidráulica esta dada por la siguiente relación.

$$K = \frac{r^2 \cdot \ln(L_e / R)}{2 \cdot L_e \cdot T_0}$$

En donde L_e es la longitud de la criba desde el inicio del filtro de grava, r es el radio del pozo ciego, R es el radio del espacio anular, cuando se encuentra relleno con un filtro de grava seleccionada. El esquema con estos parámetros físicos se presenta en la Figura 2.3-4.

1.3 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS

En el Cuadro 1.3-1 se describen las características físicas de los piezómetros ensayados. Se observa que en todos ellos se cumple la relación que $L_e/2R$ es mayor a 8, condición necesaria para poder aplicar la metodología expuesta

Cuadro 1.3-1
Características Físicas de los Piezómetros Ensayados

Piezómetro	Radio tubería ciega r (cm)	Radio del espacio anular R (cm)	Longitud de la criba Le (m)	Le/2R
KP-01	5,5	7,6	24	158
KP-02	5,5	7,6	18	118
KP-03	5,5	7,6	30	197
KP-04	5,5	7,6	12	79
KP-05	5,5	7,6	12	79

En segundo lugar para verificar la correcta aplicación de la prueba primero se calculó la altura de la columna de agua teórica que se debiera producir al introducir el pistón en el agua, esto a partir de los diámetros de entubación del pozo, diámetro del pistón y longitud del mismo, datos que se presentan en el Cuadro 1.3-2

Cuadro 1.3-2
Características Físicas Pistón y Entubación

Pistón			Entubación	
L_p (m)	r_p (m)	V_p (m ³)	R_e (m)	A_e (m ²)
1,51	0,038	0,0069	0,048	0,0072

En función de estos datos se calcula la altura teórica H_0 de la columna de agua que corresponde al cociente entre el volumen del pistón y el área de la sección interior de la entubación.

$$H_0 = V_p / A_e = 0,0069 / 0,0072 = 0,95 \text{ m}$$

Esta es aproximadamente la columna de agua inicial que se verificó al inicio de cada test, tanto en el forward como en el reverse test ya que al extraer el pistón se debe producir la misma diferencia pero negativa. Lo cual se observa en las Figuras 5 a 24, donde se observa que la columna inicial está siempre en un rango entre 0,90 m y 1,00 m, siendo mas claro esta altura en el reverse test ya que en el forward se produce mucha oscilación en las medidas dado el ingreso violento del pistón en el agua, en cambio en el reverse test el impacto sobre las mediciones es mucho menor. El único caso en que la altura inicial de los test fue menor a la teórica es el piezómetro KP-05 ya que en este pozo existe muy poca diferencia entre el nivel de agua y el fondo del pozo, por lo tanto para proteger el transductor de presión que se ubicó al fondo, el pistón se introdujo sólo parcialmente.

1.4 RESULTADOS

Los datos obtenidos en los ensayos Slug Test efectuados en cuatro piezómetros KP-01,

KP-03, KP-04 y KP-05, se presentan en las Tablas 2.3-1 a 2.3-10 y los gráficos obtenidos de estas pruebas se presentan en las Figuras 2.3-5 a 2.3-24.

En el caso del piezómetro KP-02, al interpretar los datos se observó que los resultados presentan una anomalía importante ya que tanto en el forward como en el reverse test el nivel se estabilizó muy lejos del nivel inicial. Se asume que en este pozo puede haber ocurrido algún fenómeno que distorsionara la prueba por lo cual sus resultados no serán interpretados.

Aplicando la metodología expuesta en el acápite 1.2 del presente Apéndice, se calculó la conductividad hidráulica de los pozos KP-01, KP-03, KP-04 Y KP-05, los resultados se resumen en el Cuadro 1.4-1.

Cuadro 1.4-1
Resumen de Resultados Obtenidos

Piezómetro	Prueba	Le	R	r	T ₀	Conductividad Hidráulica
		(m)	(m)	(m)	(s)	(m/día)
KP-01	Forward Slug Test	24	0,0762	0,055	70,8	0,44
KP-01	Forward Slug Test	24	0,0762	0,055	67,6	0,46
KP-03	Forward Slug Test	30	0,0762	0,055	190,9	0,14
KP-03	Forward Slug Test	30	0,0762	0,055	183,8	0,14
KP-04	Forward Slug Test	12	0,0762	0,055	298,2	0,18
KP-04	Forward Slug Test	12	0,0762	0,055	308,2	0,18
KP-05	Forward Slug Test 1	12	0,0762	0,055	5,4	10,20
KP-05	Reverse Slug Test 1	12	0,0762	0,055	10,3	5,34
KP-05	Forward Slug Test 2	12	0,0762	0,055	6,5	8,41
KP-05	Reverse Slug Test 2	12	0,0762	0,055	10,8	5,09

Para obtener el T₀ en cada gráfico, correspondiente el tiempo para una razón H/H₀ igual a 0,37, se realizó una regresión logarítmica de los datos, como se observa en las Figuras 2.3-6, 2.3-8, 2.3-10, 2.3-12, 2.3-14, 2.3-16, 2.3-18, 2.3-20, 2.3-22 y 2.3-24. En todas estas figuras se puede observar que las regresiones se han realizado sobre el rango de datos que presentan una tendencia lineal, en un gráfico en donde el eje de las ordenadas es logarítmico.

El método de Hvorslev aplicado a la interpretación de los Slug Test realizados dan un orden de magnitud para la conductividad hidráulica del medio que rodea a cada uno de los piezómetros. En función de los resultados obtenidos se determinó que la conductividad hidráulica asociada a las rocas fracturadas de los pozos KP-01, KP-03 y KP-04 es del orden de 0,1 a 0,5 m/día. La conductividad hidráulica asociada a los sedimentos del pozo KP-05 de 5,0 a 10,0 m/día.

TABLAS

FIGURAS