

ANEXO V-7
INFORME HIDROGEOLOGICO
SCHLUMBERGER



**MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLÓGICO
PRELIMINAR
PROYECTO CASERONES**

SEPTIEMBRE 2008



**MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLÓGICO
PRELIMINAR
PROYECTO CASERONES**

SEPTIEMBRE 2008

INDICE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS.....	1
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.3	ALCANCE DEL TRABAJO	2
2	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO.....	3
2.1	UBICACIÓN	3
2.2	ANTECEDENTES.....	3
2.3	GEOLOGÍA REGIONAL	3
3	NUEVOS ANTECEDENTES DEL MODELO CONCEPTUAL	5
3.1	HABILITACIÓN.....	5
3.2	MEDICIONES DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA	5
3.3	MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA Y SUPERFICIAL.....	6
3.4	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	8
3.5	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	9
4	MODELO CONCEPTUAL	11
4.1	BALANCE HÍDRICO	11
4.1.1	<i>Parámetros morfométricos.....</i>	<i>11</i>
4.1.2	<i>Parámetros Hidrometeorológicos</i>	<i>12</i>
4.1.3	<i>Balance Hídrico.....</i>	<i>13</i>
4.2	PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	15
4.3	PIEZOMETRÍA Y DIRECCIONES DE FLUJO.....	15
4.4	HIDROQUÍMICA	16
4.4.1	<i>Química de Aguas</i>	<i>16</i>
4.4.2	<i>Isótopos.....</i>	<i>17</i>
4.5	UNIDADES HIDROGEOLOGICAS	18
5	SELECCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO	20
6	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	21
6.1	DOMINIO DEL MODELO.....	21
6.2	DISCRETIZACIÓN HORIZONTAL	21
6.3	DISCRETIZACIÓN VERTICAL.....	21
6.4	PARÁMETROS HIDRÁULICOS	22
6.5	CONDICIONES DE BORDE.....	23
6.5.1	<i>Carga Hidráulica Constante (CHD)</i>	<i>23</i>
6.5.2	<i>Carga Hidráulica Variable (GHB).....</i>	<i>23</i>
6.5.3	<i>Recarga.....</i>	<i>25</i>
6.5.4	<i>Bordes de Flujo Nulo</i>	<i>25</i>
6.6	RECARGA Y DESCARGA.....	26
7	CALIBRACIÓN	27
7.1	CALIBRACIÓN EN ESTADO ESTACIONARIO	27
8	CONCLUSIONES	30
9	LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	32
10	REFERENCIAS	34

INDICE FIGURAS

		después	pág.
Figura 2.1	Ubicación área de estudio		4
Figura 2.2	Área del proyecto		4
Figura 2.3	Mapa geológico regional		4
Figura 3.1	Ubicación de pozos de monitoreo		10
Figura 3.2	Superficie equipotencial		10
Figura 3.3	Ubicación de puntos de muestreo		10
Figura 3.4	Interpolación contraste conductividad macizo rocoso		10
Figura 4.1	Sección longitudinal A		19
Figura 4.2	Sección longitudinal B		19
Figura 4.3	Sección transversal C		19
Figura 4.4	Distribución de muestras de aguas		19
Figura 4.5	Diagrama de Piper		19
Figura 4.6	Diagrama de Schoeller		19
Figura 4.7	Diagramas de Stiff		19
Figura 4.8	Diagrama Deuterio v/s ¹⁸ O		19
Figura 4.9	Distribución en planta de unidades hidrogeológicas		19
Figura 4.10	Perfiles Hidrogeológicos		19
Figura 6.1	Dominio del modelo		26
Figura 6.2	Grilla del modelo		26
Figura 6.3	Discretización vertical del modelo		26
Figura 6.4a	Distribución de unidades hidrogeológicas Capa 1 y sección transversal		26
Figura 6.4b	Distribución de unidades hidrogeológicas Capa 2		26
Figura 6.4c	Distribución de unidades hidrogeológicas Capa 3		26
Figura 6.4d	Distribución de unidades hidrogeológicas Capa 4		26
Figura 6.5	Condiciones de borde del modelo		26
Figura 6.6	Recarga del modelo Capa 1		26
Figura 7.1	Calibración estacionaria de niveles		29
Figura 7.2a	Mapa de residuales Calc-Obs Capa 1		29
Figura 7.2b	Mapa de residuales Calc-Obs Capa 2		29
Figura 7.2c	Mapa de residuales Calc-Obs Capa 3		29
Figura 7.2d	Mapa de residuales Calc-Obs Capa 4		29
Figura 7.3	Sección transversal con líneas de flujo		29
Figura 7.4	Vista 3D del modelo		29

INDICE TABLAS

Tabla 3.1	Catastro de pozos de monitoreo	5
Tabla 3.2	Catastro de niveles de agua subterránea	6
Tabla 3.3	Descripción de análisis de muestras de agua	7
Tabla 3.4	Catastro de muestras de agua	7
Tabla 3.5	Resultados de ensayos de infiltración	8
Tabla 3.6	Códigos Litologías	9
Tabla 4.1	Hipsometría del área del modelo	11
Tabla 4.2	Aforos en el área del proyecto	12
Tabla 4.3	Balace hídrico	13
Tabla 4.4	Estaciones meteorológicas	14
Tabla 4.5	Recarga por banda hipsométrica	14
Tabla 4.6	Conductividades hidráulicas por unidades litológicas	15
Tabla 4.7	Analitos seleccionados de las muestras colectadas	16
Tabla 4.8	Resultado de los análisis isotópicos	18
Tabla 6.1	Configuración de capas	21
Tabla 6.2	Unidades de conductividad	22
Tabla 6.3	Propiedades de CHD	23
Tabla 6.4	Propiedades de GHB	24
Tabla 6.5	Valores de recarga para cada zona	25
Tabla 6.6	Valores de recarga y descarga	26
Tabla 7.1	Valores de conductividad, calibración estacionaria	27
Tabla 7.2	Niveles observados v/s calculados	28
Tabla 7.3	Error de balances de flujos por zona	29
Tabla 7.4	Comparación de balances	29
Tabla 8.1	Caudales calculados por el modelo	31

APÉNDICES

APÉNDICE A	NIVELES DE POZOS
APÉNDICE B	CERTIFICADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS E ISOTÓPICOS
APÉNDICE C	ANÁLISIS DE PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLÓGICO PRELIMINAR **PROYECTO CASERONES**

1 Introducción

Lumina Copper se encuentra desarrollando un programa de captura de información hidrogeológica asociada al Proyecto Caserones. Este programa tiene como objetivo prevenir problemas derivados con el agua subterránea en el sector donde se emplazara el rajo y en aquellos sectores donde se acopie material, ya sean pilas, botaderos o tranque de relave. Este plan se inició el año 2007 con la habilitación de piezómetros, toma de niveles de agua y catastro de afloramientos de agua, generándose un modelo hidrogeológico conceptual preliminar (EDRA 2007). Desde inicios de 2008 Schlumberger Water Services (SWS) ha asesorado a Lumina Copper en un programa de caracterización e investigación hidrogeológica que actualmente esta en curso. En él se ha adicionado a la habilitación de nuevos piezómetros, tareas como la toma de muestras de agua desde pozos y escurrimientos superficiales para su análisis químico e isotópico, medición de permeabilidad in situ a través de pruebas de packer (Lugeon) y de caída de carga variable (Lefranc), y manteniendo el monitoreo de niveles en pozos. Con los antecedentes recolectados se elaboró un nuevo modelo conceptual, con el cual se construyó un modelo hidrogeológico numérico.

El modelo numérico debe ser lo suficientemente robusto para representar las condiciones hidrogeológicas observadas, estableciendo la validez de los parámetros definidos en el modelo conceptual, determinando donde se requiere mayor y mejor información y, solo de una manera preliminar, generar y analizar diversas condiciones de drenaje del rajo.

1.1 Objetivos

Los objetivos del trabajo a realizar son:

- Compilar y analizar la información de terreno.
- Elaboración del modelo conceptual
- Construcción de un modelo numérico que abarque el área del proyecto Caserones.
- Calibrar el modelo en estado estacionario con la información de niveles.

Este modelo se considera preliminar, ya que existen aun parámetros hidráulicos por determinar como la distribución del almacenamiento en el área y datos de niveles en el tiempo sin los cuales no se puede realizar una calibración

transiente. Este modelo debiera recalibrarse posteriormente una vez que se puedan obtener los datos necesarios en próximas campañas de terreno.

1.2 Descripción del Proyecto

Para cumplir con los objetivos planteados, el trabajo considera la realización de las siguientes tareas:

- Medición de niveles y muestreo de agua subterránea.
- Realización de ensayos de infiltración in situ, mediante ensayos de packer (Lugeon) y de caída de carga (Lefranc).
- Compilación y análisis de la información de terreno, incluyendo los resultados de la exploración geológica geotécnica realizada por SAM.
- Integración de la información de terreno, generando un modelo hidrogeológico conceptual para el área del proyecto.
- Definición del dominio del modelo de acuerdo con las condiciones de bordes identificadas para el área. Estableciendo dimensiones del modelo, grilla, tamaño de celdas, celdas inactivas, refinamiento de la grilla, fondo del modelo y número de capas (layer).
- Incorporación del modelo físico al modelo numérico. Consideraciones geométricas del modelo conceptual como extensión, potencia y características hidráulicas de las unidades hidrogeológicas.
- Definición de las condiciones de borde de acuerdo con las consideraciones de recarga y descarga observadas en el sector del dominio.
- Calibración en estado estacionario del modelo para una fecha con datos suficiente para cubrir en forma amplia la piezometría de la cuenca y se deberá alcanzar una discrepancia entre los valores calculado y observados (residuales), con un error del promedio cuadrático normalizado (NRMS) menor al 5%. Esta calibración considera el ajuste de la conductividad hidráulica de las distintas unidades hidrogeológicas y de los parámetros de las condiciones de borde (carga hidráulica variable, recarga y drenes).

1.3 Alcance del Trabajo

Además de la construcción del modelo numérico y su calibración, el modelo permitirá determinar los parámetros más sensibles, establecer donde se requiere mayor y mejor información hidrogeológica y, solo de manera preliminar podrá ser utilizado para la generación de escenarios de drenaje, de manera de optimizar la extracción del flujo de agua desde el rajo.

2 CARACTERISTICAS DEL SITIO

2.1 Ubicación

El proyecto se encuentra en las nacientes del Río Copiapó a aproximadamente 150 km al sureste de la ciudad de Copiapó, adyacente a la Quebrada Ramadillas. Esta quebrada desemboca en el Río Pulido, la que a su vez desemboca en el Río Copiapó en el sector de Las Juntas (Figura 2.1).

El sector del proyecto se encuentra a una altura aproximada de 4500 m s.n.m. próximo a la cumbre del Cerro Caserones y drena hacia el sur y noroeste. Mientras que el sector de planta y el campamento se ubica a una altura de 2600 m s.n.m. a aproximadamente 9 km al oeste del proyecto (Figura 2.2).

2.2 Antecedentes

En el área existen antecedentes geológicos (mapeos de unidades, fallas, fracturas, etc.), sin embargo, hay escasos antecedentes hidrogeológicos. Dentro de estos últimos se cuenta con lo realizado a comienzos del año pasado por EDRA, que incluyó un reconocimiento de terreno y un mapeo de vertientes. En este trabajo se determinó la existencia de varias vertientes que aflorarían debido a la intersección del nivel piezométrico con la topografía. Una de estas vertientes presenta una química diferente a las demás, supuesto a raíz de que altera las rocas que se encuentran en su camino, coincidentemente, es la vertiente que aflora a una menor cota (EDRA, 2007). Los caudales de las vertientes varían de menos 0.5 l/s a casi 7 l/s dependiendo de la cota donde se encuentran.

EDRA (2007) presenta una superficie equipotencial preliminar determinada sobre la base de perforaciones de exploración geológica y geotécnica. Esta superficie es sub-paralela a la topografía y presenta profundidades de entre 100 y 150 m. Solo se ha inferido el espesor del acuífero.

2.3 Geología Regional

En el área existen dos granitos (Caserones y El Colorado) intruyendo al complejo metamórfico Mondaquita (¿Devónico - Carbonífero?), el cual corresponde a unidades volcánicas andesíticas y basálticas, pizarras, limonitas y grauvacas.

El granito Caserones de edad Carbonífero superior, presenta una textura de granos grueso, con biotita y anfíbolos que incluye facies subordinadas de microgranito. El granito El Colorado de edad (Permo - Triásico) posee mineralización de biotita y muscovita de grano medio a grueso, con facies aplíticas y de cuarzo-feldespato que intruyen a esta unidad como diques. Esta unidad es la roca de caja para el pórfido de cobre molibdeno del yacimiento Caserones y esta afectada principalmente por una alteración de cuarzo-sericita y silificación.

En los alrededores del proyecto las rocas estratificadas más antiguas corresponden a conglomerados, areniscas volcánicas, andesitas, basaltos y tobas y localmente presentan bancos con carbón conteniendo plantas fósiles y árboles petrificados, todas las litologías anteriores se enmarcan en la Formación La Ternera (Segerstrom, 1962) de edad Triásico superior (Figura 2.3). La formación tiene una potencia promedio de 2800 m, en el río Ramadillas y sobreyace a un granito rosado de edad pérmica.

Sobreyaciendo de manera más o menos concordante a la unidad anterior se encuentra la Formación Lautaro de edad Jurasico inferior – medio, compuesta por lavas andesíticas, calizas fosilíferas, conglomerados y lutitas fisibles, con un espesor para la unidad de 2350 m.

Suprayaciendo a la unidad anterior aparece la formación Picudo-Lagunillas (Jurásico medio – Cretácico inferior) que corresponden a secuencias sedimentarias transicionales (areniscas, lutitas, calizas, conglomerados) y secuencias sedimentarias y volcánicas continentales (rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas a riolíticas).

La Formación Cerrillos (Cretácico superior) corresponden a conglomerados volcánicos, sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Lautaro.

La Formación Hornitos (Paleoceno) corresponde a flujos de ceniza lenticulares (tobas ignimbríticas) y aparece cubriendo discordantemente a la Formación Cerrillos, pero en diversos sectores ésta última no aparece, quedando sobreyaciendo directamente a Lautaro y La Ternera. Hacia el este la secuencia grada a areniscas y conglomerados.

Hacia el norte del área del proyecto, sobre la Formación Hornitos en forma discordante, se observan secuencias de andesita y riolita con intercalaciones lenticulares de tobas silíceas e interestratificada con rocas sedimentarias clásticas volcánicas, correspondiente a la Formación Negro Francisco (Eoceno). En la cuenca del río El Potro sobreyace a la Formación Hornitos, la Formación Potrerillos (Mioceno) que corresponden a sedimentitas del Terciario inferior, que se correlacionan con la Gravas de Atacama.

3 Nuevos antecedentes del Modelo Conceptual

Durante la campaña de captura de información hidrogeológica, se realizaron un conjunto de tareas tendientes a cumplir con este objetivo, los cuales se detallan a continuación.

3.1 *Habilitación*

Se habilitaron un total de 7 pozos, de los cuales 4 corresponden a finalización de habilitación de pozos que quedaron pendientes el 2007 y 3 corresponden a pozos habilitados el 2008. Un resumen de los pozos de monitoreo se entrega en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Catastro de pozos de monitoreo

	Pozo	UTM este	UTM norte	Cota collar	Profundidad de habilitación	Nivel estático
1	RG07-183 ³	447,289	6,883,925	4,237	150	109.44
2	RG07-171 ²	447,837	6,887,136	4,135	52	24.86
3	RG07-164R ²	446,094	6,885,249	4,330	81	52.1
4	RG07-166R ^{2,4}	445,523	6,884,847	4,340	68	66.37
5	RG07-154R ¹	447,132	6,885,550	4,616	17	16.81
6	RG07-177D ¹	447,607	6,883,782	4,080	6	1.75
7	RG07-169D ³	446,836	6,883,450	3,980	204	52.18
8	RG07-167R ²	445,924	6,885,569	4,214	51	36.59
9	RG08-352D ³	446,763	6,884,250	4,341	500	229.50
	Total				1,129	

1 pozos habilitados durante 2007

2 pozos iniciada su habilitación durante 2007 y finalizados el 2008

3 pozos habilitados durante 2008

4 pozo eliminado del monitoreo por encontrarse colgado con respecto al N.E.

La ubicación de cada uno de los pozos de monitoreo se observa en la Figura 3.1.

3.2 *Mediciones de niveles de agua subterránea*

Como parte del trabajo de campo se han medido niveles en pozos perforados en las inmediaciones del proyecto, con una frecuencia variable de semanas o meses. El análisis de los datos obtenidos se resume en la Tabla 3.2. El detalle de los niveles para el período de monitoreo se acompaña en el APÉNDICE A.

Tabla 3.2. Catastro de niveles de agua subterránea

Pozo	Este N.E. ¹	Norte N.E. ¹	Cota N.E.	Cota collar
RG07-122-RT	446,921.54	6,885,357.41	4,614.85	4,617.95
RG07-154-R	447,139.07	6,885,550.00	4,600.85	4,616.00
RG07-164-R	446,094.00	6,885,249.00	4,262.35	4,330.00
RG07-166-R	445,523.00	6,884,847.00	4,273.36	4,340.00
RG07-167-R	445,924.14	6,885,568.54	4,178.00	4,214.12
RG07-169-D	446,822.36	6,883,467.46	3,932.48	3,980.00
RG07-171-R	447,837.00	6,887,136.00	4,108.56	4,135.00
RG07-177-D	447,606.79	6,883,782.27	4,079.27	4,080.00
RG07-183-DT	447,289.00	6,883,925.00	4,129.13	4,237.00
RG08-236R	446,819.85	6,885,160.64	4,581.28	4,597.24
RG08-245R	446,961.65	6,885,088.05	4,506.63	4,531.17
RG08-336R	447,854.32	6,884,499.17	4,242.20	4,326.49
RG08-208DM	447,445.77	6,884,190.12	4,157.04	4,177.70
RG08-334R	448,755.38	6,886,266.52	4,565.57	4,671.76
RG08-335R	448,390.12	6,886,104.64	4,420.43	4,645.96
RG08-338R	449,038.00	6,885,336.20	4,331.25	4,387.63
RG08-344D	446,787.80	6,884,706.37	4,233.03	4,502.00
RG08-346D	446,982.71	6,884,780.78	4,388.38	4,412.00
RG08-348D	446,340.16	6,884,303.87	4,141.09	4,353.00
RG08-350D	446,196.17	6,884,488.42	4,304.22	4,436.00
RG08-352D	446,703.85	6,884,325.71	4,134.95	4,341.00

¹ las coordenadas del nivel estático pueden variar con respecto a la coordenadas de collar del pozo, cuando estos son perforados en forma inclinada.

Con los datos de niveles recolectados y corregidos de acuerdo a la inclinación del pozo, son analizados, elaborándose una superficie equipotencial para el área, según se observa en la Figura 3.2. En ella se observa una zona de recarga en las cumbres del proyecto y un suave gradiente hacia cada una de las quebradas, interceptando la piezometría a la topografía en alguna de las quebradas como la caserones y de la escarcha, donde se observan afloramientos de agua.

3.3 Muestreo de agua subterránea y superficial

El objetivo del muestreo, es establecer la ocurrencia de tipos de aguas distintos, su relación con las zonas mineralizadas y sus posibles variaciones a lo largo de su trayectoria de flujo. Definir procedencia de las aguas y procesos físico-químicos asociados a la recarga (evaporación, sublimación, etc.).

Esta tarea consideró la recolección de un total de 9 muestras de agua, las cuales fueron tomadas de acuerdo con los protocolos establecidos para este tipo de actividades, mediante la utilización de un muestreador (bailer) de PVC de 1 litro de capacidad. En cada punto de muestreo se capturaron antecedentes de

coordinadas (GPS), fecha, lugar de muestreo, medición de parámetros físico-químicos y llenado de botellas con agua con los siguientes volúmenes para los distintos tipos de análisis (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Descripción de análisis de muestras de agua

Volumen (litros)	Análisis	Preparación
1	Elementos mayores (cationes y aniones)	No filtrada, ni acidificada
0.5	Metales totales	No filtrada, ni acidificada
0.5	Metales disueltos	Filtrada y acidificada
0.1	Isótopos (deuterio y ^{18}O)	No filtrada, ni acidificada

Las muestras fueron filtradas en terreno con jeringa de 30 cc y filtros de 45 micrones y las botellas para determinación de metales disueltos venían acidificadas del laboratorio. Las muestras eran almacenadas en contenedores para mantener una temperatura baja mientras se realizaba la recolección y en la tarde eran guardadas en el refrigerador del campamento, mientras finalizaba el turno, para ser enviadas al laboratorio al final de éste.

Los análisis realizados a cada una de las muestras son: aniones (Cl , SO_4 , HCO_3 , NO_3 y F) y una suite de 34 elementos mayores, menores y traza (Al , Sb , As , S , Ba , Be , Bi , B , Cd , Ca , Na , Co , Cu , Cr , Sn , Sr , P , Fe , Li , Mg , Mn , Hg , Mo , Ni , Ag , Pb , K , Se , Si , Na , Tl , Ti , U , V y Zn), además de ^2H y ^{18}O

Los certificados con los resultados de los análisis químicos e isotópicos son presentados en el APÉNDICE B.

El detalle de la ubicación de los puntos de muestreo y valores de parámetros físico-químicos medidos en terreno, se entregan en la Tabla 3.4 y observándose su emplazamiento en la Figura 3.3.

Tabla 3.4 Catastro de muestras de agua

Código muestra de agua	Este UTM	Norte UTM	pH	T° (°C)	conductividad (mS/cm)	Fecha	Lugar
HG-CA-01	447,289	6,883,925	2.04	7.4	4.06	09/02/08	Pozo RG07-183D
HG-CA-02	447,837	6,887,136	5.71	8.3	1.8	10/02/08	Pozo RG07-171R
HG-CA-03	446,094	6,885,249	6.55	4.9	0.26	10/02/08	Pozo RG07-164R
HG-CA-04	448,449	6,883,645	8.35	9.6	1.04	11/02/08	Quebrada Caserones
HG-CA-05	447,597	6,883,512	4.1	7	0.96	11/02/08	Quebrada del Medio
HG-CA-06	447,133	6,885,551	--	--	--	11/02/08	Pozo RG07-154R
HG-CA-07	446,836	6,883,450	--	--	--	27/04/08	Pozo RG07-169D
HG-CA-08	445,924	6,885,568	--	--	--	27/04/08	Pozo RG07-167R
HG-CA-09	447,311	6,886,175	--	--	--	27/04/08	Quebrada La Brea

3.4 Ensayos de permeabilidad

Una tarea relevante en la preparación de un modelo conceptual considera la determinación de parámetros hidráulicos y su distribución espacial. Con el objetivo de cumplir esta labor se realizaron ensayos de permeabilidad en terreno, los cuales permiten obtener el parámetro de conductividad hidráulica asociado a un tramo de la unidad litológica investigada.

Los ensayos de permeabilidad ejecutados corresponden al de Lugeon (packer) y de Lefranc (caída de carga).

Para los ensayos de Lugeon se utilizó el equipo de packer proveído por la empresa de perforación Connors (Boart Longyear), el cual permite realizar packer simple y doble al interior de pozos perforados con barras HQ, con un largo de ventana máximo de hasta 9 m para packer dobles. Los packer son inflados con nitrógeno y poseen un sistema en el cual la manguera de inflado actúa como cable de sujeción, facilitando la operación a la manipulación de un solo cable. Se realizaron un total de 15 ensayos en diversas litologías y calidad geotécnica del macizo rocoso, de los cuales 4 fueron realizados con packer y el resto con barra abierta contra el fondo del pozo (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Resultados de ensayos de infiltración

Pozo	Tipo de Prueba	Tipo de Análisis	Largo ventana	Código Litología	Calidad Geotécnica	Kmin (m/s)	Kmax (m/s)	Kmedio (m/s)
RG08-344D	Packer simple		20.8	MZG	RQD>75%	1.02E-07	1.14E-07	1.08E-07
RG08-344D	Packer doble		7.5	MZG	RQD>75%	2.52E-07	2.89E-07	2.70E-07
RG08-344D	Packer doble		7.5	BXC	RQD<75%	2.11E-07	2.57E-07	2.28E-07
RG08-344D	Slug test	Hvorslev	173	BXC MZG BXD	Ambos sectores			2.59E-07
RG08-346D	Slug test	Hvorslev	14.3	PDA2	RQD<75%			2.34E-06
RG08-348D	Slug test	Hvorslev	18.5	BXI	RQD<75%			9.55E-07
RG08-348D	Slug test	Hvorslev	85.5	PDA BXI	RQD<75%			2.88E-07
RG08-350D	Packer doble		3	MZG	RQD>75%	2.88E-08	8.78E-07	3.24E-07
RG08-350D	Slug test	Hvorslev	18.5	BXD MZG BXD	RQD>75%			5.85E-07
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	9	PDA2	RQD<75%			4.27E-08
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	6	BXD	RQD<75%			1.52E-07
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	9	BXD	RQD<75%			4.79E-08
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	9	BXD BXD BXI	RQD<75%			6.36E-07
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	7.3	BXD	RQD<75%			4.98E-07
RG08-352D	Slug test	Hvorslev	9	MZG	RQD<75%			2.09E-07

La leyenda de la litología se detalla en la Tabla 3.6:

Tabla 3.6. Códigos Litologías

Código	Litología
MZG	Monzogranito
BXC	Brecha Caserones
BXD	Brecha Dacítica
PDA2	Pórfido Dacítico
BXI	Brecha Ígnea

Los ensayos de caída de carga fueron realizados en pozos finalizados o durante el avance de la perforación, por lo que se pueden observar tramos de investigación o ventanas de 7.3 m a 173 m. En el caso de los ensayos de packer se realizaron ensayos simples y dobles, los primeros contra el fondo del pozo finalizado y los packer dobles en ventanas de largo en múltiplos de 1.5 m.

La selección de los pozos donde se realizaron los ensayos, se efectuó de manera de obtener la mejor distribución areal. Los pozos se enmarcan en la campaña 2008 de perforación, realizada por Connors para la alimentación del modelo geológico del yacimiento.

El detalle de los análisis de cada una de las pruebas se adjuntan en el APÉNDICE C.

3.5 Calidad del macizo rocoso

Mediante una recopilación de información de la calidad geotécnica del macizo rocoso, generados por South American Management (SAM S.A.) y obtenidos desde los antecedentes de las campañas de perforación de los años 2004-2007, se analizó la información, definiéndose un contacto donde la calidad de la roca según el índice RQD (Rock Quality Designation) fuese mayor a 75%, lo cual se correlaciona con una disminución de la conductividad hidráulica. El reconocimiento de este contacto en cada uno de los sondajes, permitió la interpolación, obteniéndose una superficie de contacto entre el volumen de roca de menor conductividad (profundo) y la parte superior del macizo rocoso de mayor conductividad hidráulica. Este contacto fuera del área del dominio de los datos, fue extrapolado con una potencia media de 100 m para todo el dominio del modelo numérico. Esta última consideración es producto de una alteración de la roca, en un espesor más o menos constante, paralelo a la topografía.



El análisis de los datos fue realizado con el software HydroGeo Analyst v3.0 desarrollada por Waterloo Hydrogeologic Inc. (una empresa del grupo Schlumberger), el cual permite el ingreso de pozos y sus características como emplazamiento, geología, diseño, ensayos de suelo, muestreo de suelos, monitoreo hidrogeológico, minería, exploración, geofísica y antecedentes de la construcción.

La superficie generada mediante esta forma fue exportada como archivo Autocad e ingresada posteriormente al modelo numérico, en la Figura 3.4 se observa la interpolación generada.

4 Modelo Conceptual

Con los antecedentes recolectados durante la campaña de captura de información hidrogeológica 2008, se procedió a su análisis, configurando un nuevo estado del conocimiento para el sistema acuífero existente en el área del proyecto Caserones.

4.1 Balance Hídrico

El balance de agua define los volúmenes de entrada y de salida al régimen hidrogeológico. En el área fue realizado un balance del tipo “estático” que cuantifica los flujos de agua a largo plazo bajo condiciones naturales (Ej. antes de la operación minera). Este balance se caracteriza por mantener el volumen de entrada igual al volumen de salida (sin un cambio en el almacenamiento).

4.1.1 Parámetros morfométricos

El área que se consideró para la realización del balance, corresponde al área del dominio del modelo el cual tiene una extensión de 22,500,000 m², cuya hipsometría se detalla en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Hipsometría del área del modelo

Desde (m s.n.m.)	Hasta (m s.n.m.)	Cota media (m s.n.m.)	superficie (m2)
3,700	3,800	3,750	297,500
3,800	3,900	3,850	817,500
3,900	4,000	3,950	1,980,000
4,000	4,100	4,050	3,081,875
4,100	4,200	4,150	3,735,625
4,200	4,300	4,250	4,216,250
4,300	4,400	4,350	3,541,250
4,400	4,500	4,450	2,275,000
4,500	4,600	4,550	1,583,500
4,600	4,700	4,650	770,000
4,700	4,800	4,750	195,000
4,800	4,900	4,850	7,500
		4,234	22,500,000

La cota media para el área del proyecto es de 4,234 m s.n.m.

4.1.2 Parámetros Hidrometeorológicos

Los antecedentes señalados en este estudio son los aportados por el “Balance Hídrico de Chile” (DGA, 1987) y del “Modelo Hidrogeológico Cuenca Río Copiapó, Sector Ramadillas - La Puerta.” (SITAC, 2007).

4.1.2.1 Precipitación

Según se observa del mapa de isoyetas (DGA, 1987), en el área del proyecto se considera una precipitación media anual de 250 mm/año.

4.1.2.2 Temperatura

La temperatura media anual a la cota del proyecto es estimada en 2.78 °C (SITAC, 2007).

4.1.2.3 Fluviometría

Los caudales aforados en las quebradas adyacentes al área del proyecto entregan los siguientes caudales (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Aforos en el área del proyecto(*)

Punto de Aforo		Caudal (l/s)
Quebrada Caserones	En La Poza	5
	En Derrame	6
Quebrada La Brea	Antes confluencia río Ramadillas	3-9

(*) SITAC, 2007

4.1.2.4 Evapotranspiración

Para estimar la evapotranspiración fue utilizada la expresión de Turc, la cual considera como variables de entradas la precipitación media anual y la temperatura, para el área de estudio.

La ecuación de Turc considera los siguientes términos:

$$EVT = P / \sqrt{(0.9 + (P/L)^2)} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

P : Precipitación media anual (mm/año)

L : Factor heliotérmico

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^3 \quad (\text{Ec. 4.2})$$

T : Temperatura media anual (°C)

Como resultado del reemplazo de las variables señaladas de los numerales 4.1.2.1 y 4.1.2.2 en las Ec.4.1 y Ec.4.2 se obtienen los siguientes resultados.

L : 371
 EVT : 215 (mm/año)

4.1.3 Balance Hídrico

Para determinar el caudal infiltrado en las cuencas emplazadas en el área de estudio se considerará la siguiente ecuación de balance:

$$P = EVT + Q_{ss} + Q_g \quad (\text{Ec.4.3})$$

P : Precipitación (l/s)
 EVT : Evapotranspiración (l/s)
 Q_{ss} : Escorrentía superficial (l/s)
 Q_g : Infiltración (l/s)

Como resultado se resumen cada una de las variables en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Balance hídrico

Entradas				Salidas			
	(mm/año)	(l/s)	(%Pp media anual)		(mm/año)	(l/s)	(%Pp media anual)
Precipitación	250	178	100	Evapotranspiración	215	153	86
				Escorrentía superficial	13	9	5
				Infiltración		16	9
TOTAL			100	TOTAL			100

Los resultados del Balance muestran lo siguiente:

- En el área del modelo se dispone de un recurso hídrico de 178 (l/s).
- La mayor parte del volumen de agua sale del sistema a través de la evapotranspiración con 153 (l/s), que corresponde a un 86% del total de recurso disponible.
- La diferencia entre el total de volumen precipitado para el área y la suma entre la evapotranspiración y la escorrentía superficial, se obtiene el monto de recarga neta para el acuífero, estimado del orden de 16 (l/s), que representa un 9% del total precipitado.

Como se señaló, los parámetros hidrometeorológicos considerados, corresponden a los obtenidos del “Balance Hídrico de Chile”, pero para el área se dispone de estaciones meteorológicas, con las cuales se pueden ajustar las precipitaciones. Las estaciones existentes en la región se detallan en la Tabla 4.4:

Tabla 4.4 Estaciones meteorológicas

Estación	UTM Norte	UTM Este	Cota (m s.n.m.)	Precipitación (mm/año)	Rango datos (años)
Los Loros	6920760	390034	950	38.43	1967-2005
Embalse Lautaro	6904241	401660	1199	36.79	1967-2005
Hacienda Manflas	6895022	403373	1410	47.02	1967-2005
Iglesia Colorada	6884031	414917	1950	55.56	1988-2005
Pastos Grandes	7002370	445480	2000	40.01	1967-2005
Jorquera en La Guardia	6934055	444138	2500	46.47	1967-2005
Torín en el Potro	6873029	426439	3000	44.93	1990-1992

Fuente: SITAC, 2007

Mediante un ajuste lineal de las precipitaciones, se correlacionó la altura con la precipitación mediante la siguiente ecuación:

$$Pp = 0.0036 * cota + 37.445 \quad (\text{Ec.4.4})$$

Los resultados de la correlación de la precipitación con la altura se muestran en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Recarga por banda hipsométrica

Desde (m s.n.m.)	Hasta (m s.n.m.)	Cota media (m s.n.m.)	Superficie (m ²)	Precipitación (mm/año)	Recarga 20%Pp (mm/año)	Recarga 20%Pp (l/s)
3700	3800	3750	297500	50.945	10.19	0.10
3800	3900	3850	817500	51.305	10.26	0.27
3900	4000	3950	1980000	51.665	10.33	0.65
4000	4100	4050	3081875	52.025	10.41	1.02
4100	4200	4150	3735625	52.385	10.48	1.24
4200	4300	4250	4216250	52.745	10.55	1.41
4300	4400	4350	3541250	53.105	10.62	1.19
4400	4500	4450	2275000	53.465	10.69	0.77
4500	4600	4550	1582500	53.825	10.77	0.54
4600	4700	4650	770000	54.185	10.84	0.26
4700	4800	4750	195000	54.545	10.91	0.07
4800	4900	4850	7500	54.905	10.98	0.00
					Total (l/s)	7.52

De acuerdo con el ajuste entregado para la zona del proyecto considerando un 20% de infiltración de la recarga disponible, se generan en el área 7.52 l/s. Finalmente se utilizará de manera conservadora los datos entregados por la correlación de las estaciones.

4.2 Parámetros Hidráulicos

Los resultados entregados por los ensayos de infiltración (Tabla 3.5), permiten caracterizar las unidades geológicas, con los siguientes valores de conductividad hidráulica, que se resumen en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Conductividades hidráulicas por unidades litológicas

Litología	Tramo ensayado	K (m/s)
MZG	RQD>75%	1.28E-07
MZG	RQD<75%	2.09E-07
BXD	RQD<75%	2.33E-07
PD2	RQD<75%	1.19E-06
BXC	RQD<75%	2.28E-07
BXI	RQD<75%	9.55E-07

Los resultados muestran conductividades variables con valores medios bajos para el pórfido dacítico con $1.19 \cdot 10^{-6}$ y valores bajos del orden de 10^{-7} para el resto de las unidades.

Existe un contraste leve en la conductividad para la unidad de monzogranito entre el tramo con RQD<75% (somero), de aquella con RQD>75% (profundo), siendo ésta última la mitad de la primera.

En general independiente del tipo de brecha, los valores de conductividad observados son similares.

4.3 Piezometría y direcciones de flujo

El análisis de la piezometría (Figura 3.2) muestra la existencia de gradientes uniformes y abruptos en ambas laderas, desde el filo del cerro donde se emplaza el proyecto y descendiendo al norte y sur, hacia quebrada La Brea y Caserones respectivamente, con valores observados de 0.23 a 0.27 (Figura 4.1, Figura 4.2).

En sentido noreste-suroeste se ha dibujado la sección C (Figura 4.3) que muestra un suave gradiente desde el oriente descendiendo al poniente, con valores en la pendiente de 0.1. Este último resultado indica un ingreso de agua subterránea desde el nororiente, que correspondería a un flujo de características algo más regionales, fuera del área del dominio.

4.4 Hidroquímica

Los datos químicos e isotópicos fueron analizados con el software Aquachem desarrollada por Waterloo Hydrogeologic Inc. (una empresa del grupo Schlumberger), generándose los gráficos correspondientes para su interpretación.

4.4.1 Química de Aguas

Se recolectaron 9 muestras de aguas las cuales fueron enviadas a analizar al laboratorio ALS de Santiago. En un total de 5 muestras se pudo recolectar datos físico-químicos (Tabla 3.4). En éstas se observa un amplio rango de pH (2.04 a 8.35) y conductividades (0.26 a 4.06 mS/cm). La distribución de las muestras se presenta en la Figura 4.4. Del emplazamiento y características físico-químicas de las muestras de agua, se observa que la muestra HG-CA-01 presenta un pH muy bajo y una conductividad alta, asociado a una interacción del flujo con el pórfido mineralizado y un tiempo de residencia considerable. La muestras HG-CA-05 en Quebrada del Medio, presenta características de mezcla entre el agua observada en HG-CA-01 y una recarga local con pH medio bajo y baja conductividad. Más al oriente en quebrada Caserones (HG-CA-04) el agua superficial que corre por la quebrada, es interpretada como un afloramiento de agua subterránea, proveniente de un flujo regional desde el nororiente, resultado que es coincidente con la piezometría observada según el Capítulo 4.3.

El resto de las muestras ubicadas en las quebradas al norte del área del proyecto (HG-CA-02 y HG-CA-03), muestran relaciones equivalentes de pH y difieren en las conductividades, asociado principalmente a la cercanía respecto al área de recarga, consideradas estas más bien local, y con un aumento en la conductividad en la medida que se aleja de la fuente.

La Tabla 4.7 muestra una selección de parámetros que permiten caracterizar cada una de las muestras.

Tabla 4.7 Analitos seleccionados de las muestras colectadas (en mg/l)

Sample ID	Ca	Na	Mg	Cl	SO4	HCO3	Fe	Mn	Cu
HG-CA-01	37.781	13.0	6.17	<10	1492	<1	472.401	0.200183	31.56792
HG-CA-02	207.807	25.1	77.48	<10	809	9.7	0.286	0.274080	0.04075
HG-CA-03	14.362	6.3	2.77	<10	37	36	0.078	0.060787	0.02701
HG-CA-04	152.951	9.4	32.91	<10	470	32	<0.030	0.000958	0.00315
HG-CA-05	81.446	9.3	19.04	<10	495	<1	<0.030	0.495389	5.13184
HG-CA-06	41.696	94.2	26.02	67	465	13	<0.030	1.419032	4.41178
HG-CA-07	12.081	6.9	3	<10	40	23	1.053	0.246353	1.80379
HG-CA-08	22.072	4.5	4.9	<10	50	38	<0.030	0.011645	0.00239
HG-CA-09	138.465	16.1	11.74	<10	304	141	0.086	0.224852	0.00506

La Figura 4.5 muestra la distribución de las muestras sobre un diagrama de Piper. En este diagrama se muestra que las muestras son sulfatadas cálcicas a ligeramente sódicas. Las muestras HG-CA-09, HG-CA-07, HG-CA-08 y HG-CA-03 presentan una proporción creciente de bicarbonatos. Las muestra HG-CA-03, HG-CA-07 y HG-CA-01 se presenta ligeramente sódica cálcica a predominantemente sódica cálcica para HG-CA-06.

El diagrama de Schoeller (Figura 4.6) no muestra una correlación directa entre las distintas aguas, siendo HG-CA-01, HG-CA-02, HG-CA-05, HG-CA-06 y HG-CA-09 las con mayor concentración de sulfatos. HG-CA-04, HG-CA-06 y HG-CA-08 presentan la menor concentración de metales para Fe, Zn, Cu y Mo, siendo este último elemento muy bajo para casi todas las muestras excepto para HG-CA-01 y HG-CA-03.

De acuerdo con los diagramas de Stiff (Figura 4.7), las muestras de agua HG-CA-03, HG-CA-07 y HG-CA-08, presentan la misma proporción de cationes y aniones con valores muy bajos para todos los elementos. Valores altos de sulfato, ausencia de carbonatos y baja proporción de calcio caracteriza a las muestras HG-CA-01 y HG-CA-2, características similares presentan las muestras HG-CA-04, HG-CA-05 y HG-CA-09, pero con valores menores en los sulfatos. Finalmente la muestra HG-CA-06 es la única que presenta valores de sodio y cloruro.

4.4.2 Isótopos

Se recolectaron 8 muestras de agua para isótopos de ^{18}O y ^2H , estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio Isotópico de la Universidad de Arizona. El detalle de los análisis isotópicos en su formato original se muestra en el ANEXO B.

Los isótopos estables de la molécula de agua (^{18}O y ^2H), son una valiosa herramienta para determinar el origen de las aguas, sus alturas infiltración (en el caso de aguas subterráneas) y el grado de evaporación que estas tienen.

La Tabla 4.8 muestra los valores isotópicos obtenidos para los pozos analizados.

Tabla 4.8 Resultado de los análisis isotópicos

Muestras	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰
HG-CA-01	-13.3	-94
HG-CA-02	-12.7	-89
HG-CA-03	-10.5	-79
HG-CA-04	-13.2	-92
HG-CA-05	-12.7	-88
HG-CA-06	-10.8	-79
HG-CA-07	-13.1	-94
HG-CA-08	-12.6	-88

Los resultados son analizados en el gráfico Deuterio v/s ^{18}O (Figura 4.8), el cual muestra variaciones isotópicas de -13.3‰ a -10.5‰ para el ^{18}O y entre -94‰ a -79‰ para el deuterio.

Las muestras HG-CA-01, HG-CA-04 y HG-CA-07 son las más ligeras isotópicamente y alineadas en la recta meteórica, se emplazan hacia las quebradas del sur del área del proyecto e indican una recarga regional o área de respaldo, fuera del dominio del área de estudio. Algo más enriquecidas se observan las muestras HG-CA-02, HG-CA-05 y HG-CA-08, también alineadas en la recta meteórica y corresponden a muestras de aguas de afloramientos y pozos emplazados en el eje de las quebradas La Brea y del Medio, señalando una recarga local. Finalmente las muestras HG-CA-03 y HG-CA-06 se presentan isotópicamente más pesadas, alejadas de la recta meteórica, como resultado de la evaporación de las aguas precipitadas localmente.

Del análisis de las muestras de aguas se verifican los siguientes resultados:

- La muestra HG-CA-03 es la más bicarbonatada y con muy baja CE, representaría recarga local.
- Las altas concentraciones de Fe (472.4 mg/l), SO_4 (1492 mg/l), Al (46.4 mg/l) y Cu (31.6 mg/l), representaría un flujo lento y profundo.
- La Quebrada del Medio recibe aportes del derretimiento y de agua subterránea.
- Se verifica la ocurrencia de una recarga local y una recarga regional.

4.5 Unidades Hidrogeológicas

De acuerdo con los valores de conductividad hidráulica observados para las distintas unidades geológicas, descritas en el Capítulo 4.2, se definen las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Unidad hidrogeológica I: Monzogranito (MZG, zona de conductividad mayor)
- Unidad hidrogeológica II: Brecha (BXD, BXC, BXI)
- Unidad hidrogeológica III: Pórfido Dacítico (PD2)
- Unidad hidrogeológica IV: Macizo rocoso profundo (RQD>75%)

La distribución en planta de las unidades hidrogeológicas se muestra en la Figura 4.9 y en la Figura 4.10 se muestra su distribución en perfiles.

En las secciones hidrogeológicas (Figura 4.10), se ha incorporado en profundidad la Unidad hidrogeológica IV, cuyo contacto se definió de acuerdo con el aumento del RQD (>75%) en los pozos perforados en el área del proyecto, que se asume como correlacionable con el contacto que define una disminución en la conductividad hidráulica con la profundidad.

5 Selección del Modelo Numérico

De acuerdo a las características del sistema a modelar y a la información existente se decidió utilizar el software MODFLOW SURFACT, basado en el código MODFLOW desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Éste código matemático resuelve las ecuaciones de flujo y transporte en tres dimensiones, mediante diferencias finitas centradas.

Algunas de las ventajas de esta solución numérica son:

- El amplio reconocimiento entre profesionales del área hidrogeología y autoridades.
- Permite la simulación de las mayorías de las condiciones de bordes existentes.
- MODFLOW SURFACT, permite la simulación de problemas complejos, que no puede solucionar MODFLOW, como el caso actual donde se observan gradientes abruptos de la piezometría.
- Robusto y eficiente modulo de cálculo que asegura la convergencia.

La interfase utilizada para trabajar con el código MODFLOW SURFACT es la desarrollada por Waterloo Hydrogeologic Inc. (una empresa del grupo Schlumberger), denominada Visual MODFLOW. Dicha interfase integra diversos programas computacionales de cálculo (SEAWAT, SURFACT, MGO, MT3D/RT3D/PhT3D) y de solución (PCG2, PCG4, SOR, SIP, SAMG), además de estimación de parámetros (WinPEST).

Limitaciones

Una de las características de MODFLOW es que resuelve la ecuación de flujo en tres dimensiones para un medio poroso anisótropo, heterogéneo y finito. Sin embargo aunque éste no es concebido para la modelación en un medio fracturado, su flexibilidad permite la utilización bajo estas condiciones, como es el caso actual en estudio por sus características regionales del flujo. Los modelos diseñados para la modelación de un medio fracturado, requieren la incorporación de un conjunto de parámetros específicos de apertura, orientación y rugosidad de fracturas, entre otros, los cuales no están disponibles. Como se señaló, la escala regional del área de estudio, permite considerar que una aproximación del medio fracturado por un medio poroso equivalente (MPE) es una asimilación adecuada para lograr los objetivos propuestos. Dicha técnica de MPE es utilizada a menudo en estudios similares, brindando resultados aceptables, aunque algunas divergencias pueden ocurrir en algunos puntos aislados puramente controlados por fallas o fracturas.

6 Construcción del Modelo

6.1 Dominio del modelo

El modelo fue referenciado en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), limitando su dominio por las siguientes coordenadas E: 444.000-449.000 / N: 6.883.000-6.887.500 (Figura 6.1). El dominio se definió en su totalidad como activo.

El dominio del modelo no fue rotado con respecto a las coordenadas UTM, debido al emplazamiento similar entre la grilla y las direcciones principales de flujo en el sector del proyecto.

6.2 Discretización horizontal

El dominio fue dividido en 138 filas y 140 columnas, totalizando 19320 celdas por capa o layer. El tamaño de las celdas es variable con dimensiones de 25x25 m en el sector del proyecto y de 50x50 m en el entorno y hacia los borde (Figura 6.2).

6.3 Discretización vertical

El modelo considera 5 capas, las 2 capas más superficiales están asociadas a un macizo rocoso de mayor conductividad hidráulica y donde se han reconocido las unidades hidrogeológicas que afloran en superficie, la tercera y cuarta capa constituyen la roca de menor conductividad, asociado al macizo rocoso de RQD>75%, de características hidrogeológicas que contrastan en conductividad con las unidades suprayacentes (Figura 6.3) y el techo de la quinta capa corresponde al basamento del sistema acuífero, esta se encuentra en su totalidad inactiva, no ocurriendo flujo en ella.

El tipo de capa definido para cada una, es la que se señala en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1 Configuración de capas

Capa	Tipo capa	Tipo acuífero
1	1: Unconfined	Libre
2	3: Confined/Unconfined, variable S, T	Libre
3	3: Confined/Unconfined, variable S, T	Libre
4	3: Confined/Unconfined, variable S, T	Libre
5	3: Confined/Unconfined, variable S, T	Libre

6.4 Parámetros hidráulicos

La distribución de conductividades consideradas es asignada de acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas en el Capítulo 3.

Dicha distribución de unidades fue simplificada durante la construcción del modelo, en donde se procuró agregar unidades hidráulicamente similares para simplificar la calibración. De esta manera, solamente se consideró una unidad de brechas. La distribución de conductividades final se puede observar en las Figuras 6.4a, 6.4b, 6.4c, 6.4d, para las 4 capas del modelo.

Los valores inicialmente considerados para cada una de las áreas de conductividad son las señaladas en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Unidades de conductividad

Color Modelo (ver Figuras 6.4x)	Unidad Conductividad	Conductividad (m/s)
	Monzogranito (MZG), en tramo RQD>75%	$2,09 \times 10^{-7}$
	Brecha (BX, MZGBX, BXD, BXC, BXI), tramo RQD<75%	$4,72 \times 10^{-7}$
	Pórfido dacítico, tramo RQD<75%	$1,19 \times 10^{-6}$
	Macizo rocoso profundo, tramo RQD>75%	(*)
	Fm. La Ternera	(*)
	Depósitos coluviales	$2,31 \times 10^{-5}$ (**)
	Depósitos aluviales	$5,79 \times 10^{-5}$ (**)
	Macizo rocoso, tramo RQD>75%	$1,28 \times 10^{-7}$
	Fallas	(*)
	Macizo rocoso sector norte, tramo RQD>75%	(*)
	Falla sector sur	(*)

(*) Los valores de conductividad de estas unidades fueron estimadas como resultado de la calibración estacionaria.

(**) SITAC, 2007

Además de las zonas de conductividad definidas en el modelo conceptual, fueron adicionadas otras nuevas, de manera de mejorar la calibración del modelo, para ello se consideraron aquellas con una presencia real en la geología del área, como son las zonas de fallas, relleno aluvial y coluvial (Figuras 6.4a y 6.4b) o como producto de variaciones leves en los valores locales de la conductividad (Macizo rocoso sector norte y falla sector sur).

6.5 Condiciones de borde

Para simular los flujos subterráneos entrantes y salientes al dominio del modelo, se han definido condiciones de borde del tipo 0 (CHD) y 2 (GHB), de carga constante y carga variable respectivamente.

6.5.1 Carga Hidráulica Constante (CHD)

La condición de carga Constante (Constant Head), simula la condición de ingreso de flujo subterráneo desde el sector noroeste del dominio del modelo, reflejando la existencia de un flujo regional, según se concluye del modelo conceptual. Esta misma condición de borde representa en el borde sur del modelo, la salida de flujo subterráneo por la quebrada Caserones y del Medio y por el norte la salida hacia otro efluente de quebrada La Brea.

Esta condición de borde mantiene fija el valor de la piezometría en las celdas donde se define, generando un flujo constante de salida o ingreso, dependiendo de la piezometría de las celdas adyacentes se encuentren más arriba o por debajo con respecto a aquellas celdas asignadas con esta condición de borde. De esta forma si la piezometría de la celda adyacente a una celda de carga constante se encuentra por encima, generará un gradiente hidráulico, sacando agua al sistema. En el caso inverso ingresará agua al sistema.

Los valores utilizados para esta condición de borde son los señalados en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Propiedades de CHD

Ubicación	Piezometría condición de borde (m s.n.m.)
Ingreso Flujo Subt. NW	[4396.21]..[4546.98]
Quebrada N	[4000]..[4092]
Quebrada Caserones y del Medio	[3667]..[4031]

6.5.2 Carga Hidráulica Variable (GHB)

La condición de carga variable (General Head Boundary) fue definida en el borde noreste y generan la salida de agua subterránea, desde las zonas de conductividad mayor (somera) y de conductividad más baja (profunda), de 2 quebradas efluentes de quebrada La Brea.

La condición GHB es una condición de borde tipo 2 (flujo variable dependiente de la carga hidráulica) que permite ampliar el dominio del modelo de manera implícita. El modelo saca (en este caso) agua con base en el gradiente hidráulico

entre el nivel piezométrico en el modelo y un nivel de referencia, ubicado aguas abajo (fuera) del modelo. Entre este nivel de referencia (llamado de carga de referencia en el manual del MODFLOW) y el modelo, la condición GHB considera un medio poroso con conductividad hidráulica homogénea, el cual limita el grado de conexión entre el modelo y la carga de referencia. Este medio de restricción del flujo es representado matemáticamente por el parámetro llamado conductancia. La conductancia se calcula de la siguiente forma:

El valor de la conductancia puede ser incorporado a partir de condiciones físicas o puede ser obtenido a través de la calibración del modelo. En el primer caso el valor se obtiene de las relaciones geométricas del área de intercambio entre el modelo y un cuerpo de agua y la conductividad hidráulica de dicha área. Mientras que en el segundo caso el modelo establece dicha propiedad dependiendo de los requerimientos de salida de agua del sistema.

El valor de la conductancia (C), para las condiciones señaladas recientemente, puede ser calculado utilizando la siguiente expresión:

$$C = K (LxW)/ D$$

Donde,

- (LxW) es el área de la celda en donde hay intercambio de agua con la carga de referencia.
- K es la conductividad hidráulica media del medio entre el modelo y la carga de referencia.
- D la distancia desde el límite del modelo hasta la carga de referencia.

En el caso del modelo del Proyecto Caserones, se consideró el afloramiento aguas abajo por quebrada La Brea como el punto donde se define la carga de referencia, en ese lugar ocurre un afloramiento del agua subterránea (vertiente), por la existencia de un estrechamiento del basamento rocoso. La propiedad de GHB se asignó a un conjunto de celdas en el borde del modelo, coincidente con el eje de la quebrada, en el noroeste del dominio del modelo (Figura 6.5).

Los valores asignados a esta propiedad son los observados en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4 Propiedades de GHB

Ubicación	Carga de referencia (m s.n.m.)	Distancia condición (m)	Conductancia (m²/día)
Quebrada NNW	3660	100	3
Quebrada WNW	3750	100	3

6.5.3 Recarga

La condición de recarga permiten la inyección de un volumen constante (o variable en el tiempo) en las celdas requeridas. En el sector de estudio la única fuente de recarga lo constituye la precipitación, por lo que de acuerdo a las estimaciones entregadas por el balance hídrico la fracción que produce recarga neta en el acuífero es de un 9% del total precipitado. De forma de introducir una adecuada recarga de acuerdo con la altura, se ajustó la precipitación con la cota y se considero un 9 % del valor precipitado para la misma.

La distribución de las áreas de Recarga es de acuerdo con la hipsometría del área de estudio, en bandas con diferencias en cota de 100 m, de acuerdo con la Figura 6.6.

A continuación en la Tabla 6.5 se señalan los valores de recarga utilizados para cada una de las bandas hipsométricas.

Tabla 6.5 Valores de recarga para cada zona

Color Modelo (ver Figura 6.6)	Desde (m s.n.m.)	Hasta (m s.n.m.)	Recarga (mm/año)
	3700	3800	10.189
	3800	3900	10.261
	3900	4000	10.333
	4000	4100	10.405
	4100	4200	10.477
	4200	4300	10.549
	4300	4400	10.621
	4400	4500	10.693
	4500	4600	10.765
	4600	4700	10.837
	4700	4800	10.909
	4800	4900	10.981

6.5.4 Bordos de Flujo Nulo

Esta condición de borde se utilizó para generar una topografía variable del fondo del modelo, ingresado como fondo del la capa 4 e inactivando toda la capa 5, de esta manera se logra acuñar el espesor saturado logrando el afloramiento de aguas en los sectores más deprimidos de la topografía. La aplicación de este concepto se observa en la Figura 6.3.

6.6 Recarga y descarga

En el dominio del modelo se considera la existencia de un caudal subterráneo entrante desde un área de respaldo fuera del área del proyecto, además de la infiltración de una fracción de la precipitación constituyendo ambas condiciones la recarga o entradas al modelo. Las salidas del modelo lo constituyen los diversos flujos subterráneos, que descienden desde las cabeceras de las quebradas hacia los puntos más deprimidos de la topografía. Uno de los flujos asociado a la entrada del modelo, se relacionan con las condición de borde señalada en el numeral 4.1.3, y se refiere a la recarga por la infiltración proveniente de la precipitación, percolándose hasta recargar el acuífero, el cual se estima de un 9%. El valor de recarga como flujo subterráneo desde el noreste es estimado en consideración al caudal pasante calculado mediante la expresión de Darcy. De igual manera mediante la misma metodología se calculó las descargas del modelo producto del caudal subterráneo saliente aguas abajo de las quebradas.

Los valores utilizados para cada una de las condiciones señaladas se observan en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6 Valores de recarga y descarga

Recarga	l/s	Descarga	l/s
Caudal subterráneo entrante desde NE (*)	12	Caudal subterráneo saliente hacia el Norte (*)	2,8
Infiltración precipitación	7.51	Caudal subterráneo saliente hacia el NNW (*)	1
		Caudal subterráneo saliente hacia el WNW (*)	0.01
		Caudal subterráneo saliente hacia el Sur (*)	16
Total	19.5		19.81

(*) estimado mediante la expresión de Darcy

La diferencia en el cálculo del balance es de un 2%, lo que es considerado como aceptable para esta metodología.

7 Calibración

La calibración de un modelo de flujo consiste en el ajuste de un conjunto de parámetros de entrada como niveles de pozos, volúmenes de flujo y gradientes, con los calculados por el modelo. En el caso de las piezometrías se calcula la diferencia entre el nivel observado y el calculado, denominado residual, para tener una herramienta con la cual asegurar la precisión del modelo.

En este caso por ser un modelo conceptual preliminar, con incertezas en varios de los parámetros de entrada, los resultados de la calibración del modelo deben ser considerados como tales, y con los antecedentes aportados con nuevas campañas de terreno, en donde se acoten los valores de las condiciones de entrada, se podrá disponer de una herramienta más robusta con la cual predecir con un alto grado de confiabilidad, los distintos escenarios de simulación requeridos.

7.1 Calibración en estado estacionario

La calibración estacionaria supone la resolución de la ecuación de flujo, sin considerar la variable tiempo, por lo que solo se ajustan los parámetros de entrada de conductividad y los flujos.

Los valores de conductividad que finalmente permiten un ajuste adecuado de los valores residuales de los niveles del modelo, son los señalados en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Valores de conductividad, calibración estacionaria

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]
1	2E-7	2E-7	2E-7
2	1.33E-7	1.33E-7	1.33E-7
3	3E-8	3E-8	3E-8
4	2.35E-9	2.35E-9	2.35E-9
5	9E-7	9E-7	9E-7
6	9.9E-6	9.9E-6	9.9E-7
7	3.2E-5	3.2E-5	3.2E-6
8	8E-8	3E-7	3E-7
9	1E-7	4E-8	1E-7
10	3.8E-7	3.8E-7	3.8E-7
11	9E-7	9E-7	9E-7

Los resultados de la calibración estacionaria se presentan en la Figura 7.1.

Los valores de los niveles calculados v/s observados presentan un adecuado grado de ajuste con un error del promedio cuadrático normalizado (NRMS)

menor al 5%, esto considerando un total de 15 puntos de control, considerando 11 pozos y 4 vertientes. Valores de RMS normalizados se utilizan comúnmente para evaluar la calidad de la calibración. Por lo general, valores de RMS normalizados inferiores a 10%, se consideran como representativos de una buena calibración. RMS normalizados inferiores a 5% se aceptan como representativos de una calibración muy buena, aunque otros factores tales como un alto coeficiente de correlación, y comparación entre las equipotenciales también se utilizan para verificar la calidad de la calibración.

Tabla 7.2 Niveles observados v/s calculados

Pozo	X-Modelo	Y-Modelo	Obs. (m)	Calc. (m)	Calc.-Obs. (m)
RG07-164-R	446094	6885249	4262.35	4265.994	3.644141
RG07-166-R	445523	6884847	4273.36	4248.85	-24.5099
RG07-167-R	445924.1	6885575	4178	4229.602	51.60205
RG07-169-D	446822.4	6883467	3932.482	3943.974	11.49184
RG07-171-R	447837	6887136	4108.56	4107.236	-1.32416
RG07-183-DT	447273.9	6883951	4129.13	4062.665	-66.465
RG08-334R	448755.7	6886246	4565.575	4570.321	4.745801
RG08-335R	448347.5	6886105	4420.43	4462.674	42.24383
RG08-344D	446787.8	6884706	4233.029	4241.04	8.010733
RG08-350D	446196.2	6884488	4304.223	4244.815	-59.4079
RG08-352D	446703.8	6884326	4134.951	4163.025	28.0739
V-2	444253.6	6885602	3868	3862.029	-5.97095
V-3	448475.7	6883795	4075	4039.946	-35.054
V-6	448440.5	6883634	4061	4020.997	-40.0029
V-7	447643.9	6883003	3919.6	3948.538	28.93809
NRMS (%)					4.93

Los resultados de la calibración también se muestran en planta mediante un mapa de residuales Calc-Obs para cada una de las capas del modelo (Figuras 7.2a, 7.2b, 7.2c, 7.2d).

La Figura 7.3 muestra los vectores de flujo simulado por el modelo en sección, siendo uno de los resultados más interesantes el afloramiento de agua subterránea en los sectores más deprimidos de la cuenca, situación señalada en el modelo conceptual.

Una visualización en 3D del modelo se presenta en la Figura 7.4.

Los balances obtenidos como producto de la calibración muestran un error igual a 0%, los cuales se resumen en la Tabla 7.3. Estos valores confirman la correcta convergencia del modelo.

Tabla 7.3 Error de balances de flujos por zona

Color Modelo	Sector	Entrada (m ³ /día)	Salida (m ³ /día)	Entrada-Salida (m ³ /día)	Error Balance (%)
	Dominio del modelo	1848.9	1848.9	-0.02	0
	Macizo rocoso de baja permeabilidad, salida Queb. NE	328.7	328.69	0.0057	0
	Macizo rocoso de baja permeabilidad, salida Queb. Sur	637.63	637.63	-0.0001	0
	Macizo rocoso de permeabilidad más alta salida Queb. Sur	1028.3	1028.3	0.002	0

Los balances muestran concordancia entre lo estimado inicialmente y lo calculado por el modelo, según se aprecia en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Comparación de balances

Sector	Balance Hidrológico (l/s)	Balance modelo (l/s)
Infiltración de precipitación	7.5	7.4
Caudal subterráneo entrante desde NE	12	12.3
Caudal subterráneo saliente hacia NW	3.8	12.1
Caudal subterráneo saliente hacia el S	16	10.4

Existe una discrepancia en los valores de caudal subterráneo saliente, ocurriendo una redistribución del caudal entre las distintas condiciones de borde de salida. La situación anterior no genera inconsistencia en el modelo, ya que existe holgura en las estimaciones de los caudales, debido a los supuestos considerados para la resolución de la ecuación de Darcy.

El flujo saliente solo considera el caudal pasante en el acuífero (estado estacionario). En estado transiente se debe sumar al flujo pasante el volumen proveniente del almacenamiento, estimado en 30 l/s, lo que totalizaría para el área un total disponible del orden de 50 l/s. El cálculo del flujo proveniente del almacenamiento, considera un volumen de roca en un área de respaldo al sector del yacimiento de 2x3 km, una potencia media de 150 m, y suponiendo un almacenamiento medio de 2% del volumen de roca, totalizando 18,000,000 m³ de agua almacenada. Suponiendo un caudal constante de 20 años, se traduce en un flujo de ~30 l/s.

La calibración alcanzada presenta un adecuado ajuste, que equilibra los caudales entrantes y salientes, valores de conductividad determinadas para el área, valores de errores en los balances por debajo de los límites recomendados de 2% y una calibración de la piezometría de los pozos bajo el 5% de NRMS.

8 Conclusiones

Mediante la metodología de Balance Hídrico se determinó que un 9% de la precipitación infiltra recargando el acuífero. De acuerdo con los datos meteorológicos ese volumen corresponde a 3.38 l/s, por considerarse demasiado conservador el valor, se utilizó un 20% de la precipitación correspondiente a 7.5 l/s.

Los resultados de los ensayos de permeabilidad muestran los valores de conductividad más alta para el pórfido dacítico con $1.2E-7$ m/s y los más bajos $1.3E-7$ m/s para el monzogranito en el tramo $RQD > 75\%$, observándose un leve contraste entre los sectores de mayor permeabilidad ($RQD > 75\%$), con respecto a los de menor permeabilidad del macizo rocoso.

En las laderas del proyecto se observa un abrupto gradiente hidráulico del orden de 0.2, como consecuencia de una baja conductividad hidráulica. También se observa un gradiente más suave desde el noreste, con pendiente 0.1, indicando un flujo proveniente desde esta área.

Como principal resultado del análisis de las muestras de agua, se verifica la existencia de dos flujos, uno local y otro de características regional, con un área de respaldo fuera del dominio del proyecto.

El modelo conceptual considera la existencia de 4 unidades hidrogeológicas, cada una correlacionada con las litologías y calidad geotécnica del macizo rocoso en el área del proyecto.

El tratamiento de la información geotécnica ha permitido definir el contacto entre dos zonas de conductividad hidráulica distintas, asociándose a un aumento en la conductividad con un índice de calidad del macizo rocoso $RQD < 75\%$, según se observó en los sondeos.

Se ha construido un modelo numérico hidrogeológico con el programa MODFLOW-SURFACT y basado en el modelo conceptual propuesto. Dicho modelo numérico contiene 4 capas, 19320 celdas por capa, y 11 zonas de conductividad hidráulica.

El modelo conceptual a nivel regional presenta una adecuada reproducción de la piezometría al momento de la calibración estacionaria, realizada con datos de nivel del primer trimestre de 2008.

El ajuste de los niveles ha alcanzado una calibración muy buena con un NRMS de 4.93%.

Los balances del flujo muestran un adecuado ajuste con un error menor a 0.1 %.

Se observa una concordancia entre los caudales señalados por el modelo numérico y los estimados por el balance hídrico. Los caudales calculados por el modelo son los señalados en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Caudales calculados por el modelo.

Sector	(l/s)
Infiltración de precipitación	7.4
Caudal subterráneo entrante desde NE	12.3
Caudal subterráneo saliente hacia NW	12.1
Caudal subterráneo saliente hacia el S	10.4

El flujo pasante en el dominio del modelo de acuerdo con los resultados del modelo se aproxima a 20 l/s. En estado transiente este valor se estima que aumentaría a 50 l/s, como consecuencia del drenado del volumen de roca saturada.

El modelo hidrogeológico numérico calibrado, presenta un adecuado equilibrio entre los parámetros iniciales considerados desde el modelo conceptual, los criterios de calibración (error de los residuales y balances) y los comportamientos de flujo (direcciones y caudales).

Este primer modelo numérico, permite determinar aquellos sectores donde existe imprecisión en la información, los parámetros más sensibles y simulaciones de drenaje en forma preliminar.

9 Limitaciones y Recomendaciones

La calidad de un modelo depende directamente de la calidad de los datos existentes, especialmente la cantidad, cobertura y frecuencia de mediciones de niveles y caudales, así como de pruebas que determinen las propiedades hidráulicas del área modelada. La cantidad de datos disponibles es bastante pequeña y las series de datos cubren un periodo de tiempo también pequeño.

El modelo fue construido utilizando el principio de Medio Poroso Equivalente. Esto indica que se adoptaron propiedades medias en cada celda del modelo, que a nivel regional describen las condiciones de flujo observadas. Si bien la calibración del modelo es aceptable, es posible que esto no ocurra en escalas más detalladas. La principal limitación de esta metodología es que las estimaciones de caudales o niveles podrían estar equivocadas, en el caso de una o más fracturas importantes, no representadas en el modelo por falta de datos y que controlen los caudales en sectores específicos. Los caudales estimados por el modelo podrían, si éste fuera el caso, estar subestimados o superestimados de manera relevante.

A continuación se señalan algunas sugerencias para mejorar el modelo de forma general:

- Determinación de niveles en las cabeceras de las quebradas del proyecto, para verificar la existencia de niveles colgados o conectados con el resto del acuífero, para lo cual se proponen la construcción de nuevos pozos de monitoreo.
- Nuevos ensayos de permeabilidad en sectores del entorno del proyecto.
- Ejecución de prueba de bombeo, para la determinación del parámetro hidráulico de almacenamiento.
- Toma de muestras de agua en zonas adyacentes, para determinar área de respaldo.
- Ejecución de trabajos tendientes a definir la conexión y proveniencia del flujo regional observado.
- Ejecución de ensayos de capacidad de infiltración del suelo, de manera de ajustar el porcentaje de recarga proveniente de la precipitación.

- Incorporación y análisis periódico de la información meteorológica local, de manera de obtener una serie extensa de datos, con los cuales realizar estimaciones más precisas de la precipitación del área del proyecto.
- Mantención de la estadística de niveles de pozos en el tiempo con la finalidad de realizar una calibración transiente a futuro. Para lo cual se hace necesario la instrumentalización de las medidas, de forma de obtener niveles en aquella época que el acceso no sea posible por condiciones climáticas.
- Incorporación de los antecedentes que se recolecten, en una actualización del modelo numérico actual, de manera de cubrir los mayores supuestos del modelo conceptual.

10 Referencias

DGA, 1987. Balance Hídrico de Chile, Ministerio de Obras Públicas.

EDRA, Mayo 2007. Modelo Hidrogeológico Preliminar Proyecto Caserones.

SITAC, Noviembre 2007. Modelo Hidrogeológico Cuenca Río Copiapó, Sector Ramadillas - La Puerta.

Villanueva M., Iglesias A., 1984. Pozos y Acuíferos, Instituto Geológico y Minero de España.

Waterloo Hydrogeologic, Visual MODFLOW User's Manual.

APENDICES

APÉNDICE A

NIVELES DE POZOS

ID_Lugar	Tipo	X	Y	altura	inclinacion	rumbo	18-04-2007	stick up	20-04-2007	stick up
RG04-99	pozo	447107	6884772	4388	-90	0	105.388	1.07		
RG07-122-RT	pozo	446921.54	6885357.41	4617.95	-90	0				
RG07-124-R	pozo	447346	6884587	4275	-65	322	17.7	0		
RG07-137-R	pozo	447180	6885529	4245	-65	322	149.755	0.85		
RG07-154-R	pozo	447132	6885550	4616	-65	90			2.53	0.92
RG07-156-R	pozo	446883.09	6884583.87	4472.81	-65	322	216.688	1.11		
RG07-158-R	pozo	446999	6885390	4631	-65	142			8.6	0.36
RG07-160-R	pozo	446554.36	6884380.92	4357.78	-65	322	99.937	0.94		
RG07-164-R	pozo	446094	6885249	4330	-90	0			42.54	1.255
RG07-166-R	pozo	445523	6884847	4340	-90	0			76.985	0.33
RG07-167-R	pozo	445924.14	6885568.54	4214.12	-90	0				
RG07-169-D	pozo	446836	6883450	3980	-65	322				
RG07-171-R	pozo	447837	6887136	4135	-90	0	22.405	0.875		
RG07-172-D	pozo	447560.011	6884032.84	4119.15	-65	322	8.937	1.17		
RG07-173-R	pozo	447746	6886667	4396	-90	0			163.26	0.335
RG07-175-D	pozo	446246	6883853	4412	-65	322			2.97	1.58
RG07-177-D	pozo	447607	6883782	4080	-65	322	1.632	0.6		
RG07-183-DT	pozo	447289	6883925	4237	-90	0				
RG08-236R	pozo	446819.85	6885160.64	4597.24	-90	0				
RG08-245R	pozo	446961.65	6885088.05	4531.17	-90	0				
RG08-336R	pozo	447880.89	6884483.83	4326.49	-70	300				
RG08-208DM	pozo	447452.09	6884182.85	4177.7	-65	319				
RG08-334R	pozo	448725.77	6886241.68	4671.76	-70	50				
RG08-335R	pozo	448325.41	6886050.34	4645.96	-70	50				
RG08-338R	pozo	449020.23	6885346.46	4387.63	-70	120				
RG08-344D	pozo	446817	6884669	4502	-80	322				
RG08-346D	pozo	446988	6884774	4412	-70	322				
RG08-348D	pozo	446401	6884226	4353	-65	322				
RG08-349D	pozo	446980	6884460	4415	-65	322				
RG08-350D	pozo	446234	6884440	4436	-65	322				
RG08-352D	pozo	446763	6884250	4341	-65	322				

ID_Lugar	6/5/2008	stick up	15/5/2008	stick up	20/5/2008	stick up	24/5/2008	stick up	10/6/2008	stick up
RG04-99										
RG07-122-RT										
RG07-124-R										
RG07-137-R										
RG07-154-R	17.65	0.93								
RG07-156-R										
RG07-158-R										
RG07-160-R										
RG07-164-R	68.45	0.8								
RG07-166-R										
RG07-167-R	36.79	0.67								
RG07-169-D	53.25	0.82								
RG07-171-R	27.27	0.83								
RG07-172-D										
RG07-173-R										
RG07-175-D										
RG07-177-D	1.72	0.92								
RG07-183-DT	108.69	0.82								
RG08-236R										
RG08-245R										
RG08-336R	89.7									
RG08-208DM	22.8									
RG08-334R										
RG08-335R										
RG08-338R										
RG08-344D					275	1.88				
RG08-346D			27.69	2.55						
RG08-348D							236.42	2.6		
RG08-349D										
RG08-350D							145.4	0		
RG08-352D									229.5	2.15

APÉNDICE B

**CERTIFICADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS E
ISOTÓPICOS**



INFORME DE ANÁLISIS

SE0800191

Informe a: Schlumberger Water Services
Dirección: Nueva Tajamar 481, Of. 1402, Torre Norte - Las Condes
Atención: Sergio Iriarte
Fecha Certificado: 28-Feb-08
Fecha Recepción: 15-Feb-08
Muestreado por: SWS
Proyecto: --

Rodrigo Parra R.
Laboratory Manager
ALS Environmental

Informe N° SE0800191
Resultados de Análisis

Identificación		HG-CA-01	HG-CA-02	HG-CA-03	HG-CA-04
matriz		Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea
Fecha		9-Feb	10-Feb	10-Feb	11-Feb
Hora		-	-	-	-
Código de ALS		SE0800191-1	SE0800191-2	SE0800191-3	SE0800191-4
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Disuelto					
Plata Disuelto	mg/L	<0.000100	<0.000050	<0.000010	<0.000050
Aluminio Disuelto	mg/L	46.3886	0.4406	0.0697	0.0064
Arsénico Disuelto	mg/L	4.47713	0.00375	0.00283	0.00060
Boro Disuelto	mg/L	0.111	<0.050	0.048	<0.050
Bario Disuelto	mg/L	0.025612	0.020568	0.025443	0.007319
Berilio Disuelto	mg/L	<0.00500	<0.00250	<0.00050	<0.00250
Bismuto Disuelto	mg/L	<0.00500	<0.00250	<0.00050	<0.00250
Calcio Disuelto	mg/L	37.781	207.807	14.362	152.951
Cadmio Disuelto	mg/L	0.008154	0.000364	<0.000050	<0.000250
Cobalto Disuelto	mg/L	0.23944	0.00084	0.00062	<0.00050
Cromo Disuelto	mg/L	0.02194	0.00312	0.00393	<0.00250
Cobre Disuelto	mg/L	31.56792	0.04075	0.02701	0.00315
Hierro Disuelto	mg/L	472.401	0.286	0.078	<0.030
Potasio Disuelto	mg/L	37.8	2.8	<2.0	2.1
Litio Disuelto	mg/L	<0.0500	<0.0250	<0.0050	<0.0250
Magnesio Disuelto	mg/L	6.17	77.48	2.77	32.91
Manganeso Disuelto	mg/L	0.200183	0.274080	0.060787	0.000958
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.225835	0.000594	0.048499	0.003144
Sodio Disuelto	mg/L	13.0	25.1	6.3	9.4
Niquel Disuelto	mg/L	0.10053	0.00451	0.00186	<0.00250
Fósforo Disuelto	mg/L	<1.50	<0.30	<0.30	<0.30
Plomo Disuelto	mg/L	0.332480	0.000428	0.000445	<0.000250
Antimonio Disuelto	mg/L	0.06400	<0.00050	0.00070	<0.00050
Selenio Disuelto	mg/L	<0.0100	0.0055	<0.0010	<0.0050
Silicio Disuelto	mg/L	42.228	15.211	10.258	9.403
Estaño Disuelto	mg/L	0.01784	<0.00050	0.00213	<0.00050
Estroncio Disuelto	mg/L	0.10466	0.32693	0.04471	0.23418
Titanio Disuelto	mg/L	0.137	<0.010	<0.010	<0.010
Talio Disuelto	mg/L	0.00142	<0.00050	<0.00010	<0.00050
Uranio Disuelto	mg/L	0.012181	0.000760	0.000169	0.018177
Vanadio Disuelto	mg/L	0.0513	<0.0050	<0.0010	<0.0050
Zinc Disuelto	mg/L	1.2010	0.1561	0.1303	0.0397



Identificación		HG-CA-01	HG-CA-02	HG-CA-03	HG-CA-04
matriz		Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea
Fecha		9-Feb	10-Feb	10-Feb	11-Feb
Hora		-	-	-	-
Código de ALS		SE0800191-1	SE0800191-2	SE0800191-3	SE0800191-4
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Total					
Plata Total	mg/L	<0.000100	<0.000050	0.000072	<0.000050
Aluminio Total	mg/L	56.8775	6.9170	7.0096	<0.0050
Arsénico Total	mg/L	5.86569	0.01916	0.02560	0.00057
Boro Total	mg/L	0.139	<0.050	0.048	<0.050
Bario Total	mg/L	0.118530	0.080647	0.158210	0.008247
Berilio Total	mg/L	<0.00500	<0.00250	0.00052	<0.00250
Bismuto Total	mg/L	<0.00500	<0.00250	0.00061	<0.00250
Calcio Total	mg/L	37.569	198.916	24.310	148.724
Cadmio Total	mg/L	0.010273	0.000582	0.000508	<0.000250
Cobalto Total	mg/L	0.30885	0.00495	0.00553	<0.00050
Cromo Total	mg/L	0.03092	0.01684	0.04038	<0.00250
Cobre Total	mg/L	41.52267	0.10332	0.49600	0.00145
Hierro Total	mg/L	466.576	6.816	9.884	<0.030
Potasio Total	mg/L	40.4	3.7	4.6	<2.0
Litio Total	mg/L	<0.0500	<0.0250	0.0142	<0.0250
Magnesio Total	mg/L	6.54	73.53	6.92	31.46
Manganeso Total	mg/L	0.277901	0.530295	0.440212	0.001740
Molibdeno Total	mg/L	0.329626	0.005210	0.062074	0.003175
Sodio Total	mg/L	13.5	24.8	7.0	9.3
Niquel Total	mg/L	0.12738	0.01228	0.01467	<0.00250
Fósforo Total	mg/L	<1.50	<0.30	0.48	<0.30
Plomo Total	mg/L	0.420734	0.008044	0.026751	<0.000250
Antimonio Total	mg/L	0.10636	0.00329	0.00482	<0.00050
Selenio Total	mg/L	<0.0100	0.0079	0.0012	<0.0050
Silicio Total	mg/L	45.891	23.656	21.731	8.596
Estaño Total	mg/L	0.02485	0.00554	0.00661	<0.00050
Estroncio Total	mg/L	0.14265	0.43285	0.13331	0.29516
Titanio Total	mg/L	0.167	0.193	0.208	<0.010
Talio Total	mg/L	0.00173	<0.00050	0.00013	<0.00050
Uranio Total	mg/L	0.014733	0.001459	0.001725	0.018755
Vanadio Total	mg/L	0.0713	0.0131	0.0163	<0.0050
Zinc Total	mg/L	1.4946	0.2287	0.4274	0.0425
Parámetros Generales					
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	<1	9.7	36	32
Cloruros	mg/L	<10	<10	<10	<10
Sulfato	mg/L	1492	809	37	470

Identificación		HG-CA-05	HG-CA-06
matriz		Agua Subterránea	Agua Subterránea
Fecha		11-Feb	11-Feb
Hora		-	-
Código de ALS		SE0800191-5	SE0800191-6
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Disuelto			
Plata Disuelto	mg/L	<0.000020	<0.000050
Aluminio Disuelto	mg/L	17.1947	0.1462
Arsénico Disuelto	mg/L	0.00062	0.00057
Boro Disuelto	mg/L	<0.020	0.057
Bario Disuelto	mg/L	0.022621	0.009731
Berilio Disuelto	mg/L	0.00129	<0.00250
Bismuto Disuelto	mg/L	<0.00100	<0.00250
Calcio Disuelto	mg/L	81.446	41.696
Cadmio Disuelto	mg/L	0.001451	0.001036
Cobalto Disuelto	mg/L	0.02531	0.06327
Cromo Disuelto	mg/L	<0.00100	<0.00250
Cobre Disuelto	mg/L	5.13184	4.41178
Hierro Disuelto	mg/L	<0.030	<0.030
Potasio Disuelto	mg/L	4.5	11.2
Litio Disuelto	mg/L	<0.0100	0.0261
Magnesio Disuelto	mg/L	19.04	26.02
Manganeso Disuelto	mg/L	0.495389	1.419032
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.002310	0.001137
Sodio Disuelto	mg/L	9.3	94.2
Níquel Disuelto	mg/L	0.02258	0.03385
Fósforo Disuelto	mg/L	<0.30	<0.30
Plomo Disuelto	mg/L	0.000249	0.000398
Antimonio Disuelto	mg/L	<0.00020	<0.00050
Selenio Disuelto	mg/L	0.0029	0.0094
Silicio Disuelto	mg/L	18.283	25.383
Estaño Disuelto	mg/L	<0.00020	<0.00050
Estroncio Disuelto	mg/L	0.11149	0.06283
Titanio Disuelto	mg/L	<0.010	<0.010
Talio Disuelto	mg/L	0.00021	<0.00050
Uranio Disuelto	mg/L	0.012996	0.000156
Vanadio Disuelto	mg/L	<0.0020	<0.0050
Zinc Disuelto	mg/L	0.2331	0.8654

Identificación		HG-CA-05	HG-CA-06
matriz		Agua Subterránea	Agua Subterránea
Fecha		11-Feb	11-Feb
Hora		-	-
Código de ALS		SE0800191-5	SE0800191-6
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Total			
Plata Total	mg/L	<0.000020	<0.000050
Aluminio Total	mg/L	22.6934	2.8966
Arsénico Total	mg/L	0.00059	0.00576
Boro Total	mg/L	<0.020	0.102
Bario Total	mg/L	0.030006	0.048681
Berilio Total	mg/L	0.00200	<0.00250
Bismuto Total	mg/L	<0.00100	<0.00250
Calcio Total	mg/L	77.531	42.434
Cadmio Total	mg/L	0.001821	0.001207
Cobalto Total	mg/L	0.03452	0.07428
Cromo Total	mg/L	<0.00100	0.01121
Cobre Total	mg/L	6.88764	7.45166
Hierro Total	mg/L	<0.030	3.841
Potasio Total	mg/L	4.1	12.5
Litio Total	mg/L	0.0112	0.0321
Magnesio Total	mg/L	17.82	25.88
Manganeso Total	mg/L	0.720860	1.836882
Molibdeno Total	mg/L	0.003083	0.009009
Sodio Total	mg/L	8.9	93.3
Niquel Total	mg/L	0.02999	0.04419
Fósforo Total	mg/L	<0.30	<0.30
Plomo Total	mg/L	<0.000100	0.012873
Antimonio Total	mg/L	<0.00020	0.00121
Selenio Total	mg/L	0.0036	0.0111
Silicio Total	mg/L	16.241	29.994
Estaño Total	mg/L	<0.00020	0.00576
Estroncio Total	mg/L	0.16422	0.09229
Titanio Total	mg/L	<0.010	0.069
Talio Total	mg/L	0.00023	<0.00050
Uranio Total	mg/L	0.015090	0.003800
Vanadio Total	mg/L	<0.0020	<0.0050
Zinc Total	mg/L	0.2866	1.0331
Parámetros Generales			
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	<1	13
Cloruros	mg/L	<10	67
Sulfato	mg/L	495	465



Metodología

Sulfato, Gravimetric Method with Drying of Residue. APHA 4500-SO₄-D, page 4-187 to 4-188, 21st ed.2005 (1)
-Determinación de Metales Totales ICPMS, los procedimientos involucran el tratamiento preliminar de la muestra por digestión ácida, usando tanto Hotblock como Horno Micronda o Filtración (EPA Method 3005A). El análisis instrumental es por Inducción de Plasma acoplado - Espectrofotometría de emisión óptica (EPA Method 6010B) y por inducción Plasma acoplado - espectrofotometría de masa (EPA Method 6020A) Análisis subcontratado con Laboratorio ALS Perú.

Alcalinidad Bicarbonato, Carbonato, Hidróxido y Total, Titration Method. APHA 2320-B, page 2-27 to 2-29, 21st ed.2005 (1)
-Cloruro, Argentometric Method. APHA 4500-Cl-B, page 4-70 to 4-71, 21st ed.2005 (1)

Referencia

¹ "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 21th Ed.
2005 APHA WWA

Observaciones

1. La muestra fue tomada por el cliente quien se responsabiliza por su correcta identificación y preservación.
2. Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.
3. La información contenida en este informe no podrá ser reproducida total o parcialmente para usos publicitarios sin la autorización previa de ALS Patagonia S.A.



INFORME DE ANÁLISIS

SE0800540 - B

Informe a:	Schlumberger Water Services
Dirección:	Nueva Tajamar 481, Of. 1402, Torre Norte - Las Condes
Atención:	Sergio Iriarte
Fecha Certificado:	10-Jun-08
Fecha Recepción:	13-May-08
Muestreado por:	SWS
Proyecto:	--

Rodrigo Parra R.
Laboratory Manager
ALS Environmental

Informe N° SE0800540 – B
Resultados de Análisis

Identificación		HG-CA-07	HG-CA-08	HG-CA-09
matriz		Agua Subterranea	Agua Subterranea	Agua Subterranea
Fecha		27-Apr-08	28-Apr-08	28-Apr-08
Hora		-	-	-
Código de ALS		SE0800540-9	SE0800540-10	SE0800540-11
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Disuelto				
Plata Disuelto	mg/L	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Aluminio Disuelto	mg/L	0.8055	0.0057	<0.0010
Arsénico Disuelto	mg/L	0.00018	0.00160	0.00122
Boro Disuelto	mg/L	0.012	0.020	0.051
Bario Disuelto	mg/L	0.070094	0.014139	0.023492
Berilio Disuelto	mg/L	<0.00050	<0.00050	<0.00050
Bismuto Disuelto	mg/L	<0.00050	<0.00050	<0.00050
Calcio Disuelto	mg/L	12.081	22.072	138.465
Cadmio Disuelto	mg/L	0.000530	<0.000050	<0.000050
Cobalto Disuelto	mg/L	0.00977	<0.00010	0.00035
Cromo Disuelto	mg/L	0.00076	<0.00050	0.00812
Cobre Disuelto	mg/L	1.80379	0.00239	0.00506
Hierro Disuelto	mg/L	1.053	<0.030	0.086
Potasio Disuelto	mg/L	3.1	<2.0	4.4
Litio Disuelto	mg/L	0.0084	<0.0050	0.0174
Magnesio Disuelto	mg/L	3.00	4.90	11.74
Manganeso Disuelto	mg/L	0.246353	0.011645	0.224852
Molibdeno Disuelto	mg/L	0.001010	0.007336	0.001146
Sodio Disuelto	mg/L	6.9	4.5	16.1
Niquel Disuelto	mg/L	0.00747	<0.00050	0.00248
Fósforo Disuelto	mg/L	<0.30	<0.30	<0.30
Plomo Disuelto	mg/L	0.000620	0.000115	0.000578
Antimonio Disuelto	mg/L	0.00010	0.00034	0.00039
Selenio Disuelto	mg/L	<0.0010	0.0026	<0.0010
Silicio Disuelto	mg/L	26.002	9.377	17.628
Estaño Disuelto	mg/L	0.00017	0.00012	0.00029
Estroncio Disuelto	mg/L	0.07716	0.06593	0.45368
Titanio Disuelto	mg/L	<0.010	<0.010	<0.010
Talio Disuelto	mg/L	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Uranio Disuelto	mg/L	0.000459	0.000101	0.000051
Vanadio Disuelto	mg/L	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Zinc Disuelto	mg/L	0.1420	0.0168	0.0721



Identificación		HG-CA-07	HG-CA-08	HG-CA-09
matriz		Agua Subterranea	Agua Subterranea	Agua Subterranea
Fecha		27-Apr-08	28-Apr-08	28-Apr-08
Hora		-	-	-
Código de ALS		SE0800540-9	SE0800540-10	SE0800540-11
Parámetro	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados
Metales ICP-Masa Total				
Plata Total	mg/L	0.001009	0.000038	<0.000010
Aluminio Total	mg/L	4.3027	3.8247	2.8806
Arsénico Total	mg/L	0.00375	0.00321	0.00373
Boro Total	mg/L	0.012	0.025	0.084
Bario Total	mg/L	0.262508	0.050174	0.063507
Berilio Total	mg/L	<0.00050	<0.00050	<0.00050
Bismuto Total	mg/L	<0.00050	<0.00050	<0.00050
Calcio Total	mg/L	12.686	24.079	144.612
Cadmio Total	mg/L	0.000519	0.000195	0.000306
Cobalto Total	mg/L	0.01016	0.00373	0.00224
Cromo Total	mg/L	0.00961	0.00589	0.01548
Cobre Total	mg/L	1.72672	0.09877	0.06457
Hierro Total	mg/L	5.541	3.466	3.179
Potasio Total	mg/L	4.5	<2.0	<2.0
Litio Total	mg/L	0.0101	0.0058	0.0178
Magnesio Total	mg/L	3.65	6.49	11.14
Manganeso Total	mg/L	0.349566	0.227583	0.311883
Molibdeno Total	mg/L	0.003563	0.007749	0.002400
Sodio Total	mg/L	7.4	4.7	6.9
Niquel Total	mg/L	0.00640	0.00401	0.00567
Fósforo Total	mg/L	<0.30	0.40	1.85
Plomo Total	mg/L	0.003943	0.026063	0.007541
Antimonio Total	mg/L	0.00111	0.00043	0.00059
Selenio Total	mg/L	<0.0010	0.0024	<0.0010
Silicio Total	mg/L	31.089	15.772	22.996
Estaño Total	mg/L	0.00246	0.00165	0.00129
Estroncio Total	mg/L	0.09613	0.11701	0.50913
Titanio Total	mg/L	0.177	0.127	0.059
Talio Total	mg/L	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Uranio Total	mg/L	0.000486	0.000359	0.000358
Vanadio Total	mg/L	0.0051	0.0066	0.0047
Zinc Total	mg/L	0.1597	0.1027	0.5232



Parámetros Generales				
Alcalinidad Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	23	38	141
Alcalinidad Carbonato	mg/L CaCO ₃	<1	<1	<1
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	23	38	141
Cloruros	mg/L	<10	<10	<10
Sulfato	mg/L	40	50	304

Metodología

Sulfato, Gravimetric Method with Drying of Residue. APHA 4500-SO₄-D, page 4-187 to 4-188, 21st ed.2005 (1)
-Determinación de Metales Totales ICPMS, los procedimientos involucran el tratamiento preliminar de la muestra por digestión ácida, usando tanto Hotblock como Horno Micronda o Filtración (EPA Method 3005A). El análisis instrumental es por Inducción de Plasma acoplado - Espectrofotometría de emisión óptica (EPA Method 6010B) y por inducción Plasma acoplado - espectrofotometría de masa (EPA Method 6020A) Análisis subcontratado con Laboratorio ALS Perú.

Alcalinidad Bicarbonato, Carbonato, Hidróxido y Total, Titration Method. APHA 2320-B, page 2-27 to 2-29, 21st ed.2005 (1)
-Cloruro, Argentometric Method. APHA 4500-Cl-B, page 4-70 to 4-71, 21st ed.2005 (1)

Referencia

¹ "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 21th Ed. 2005
APHA WWA

Observaciones

1. La muestra fue tomada por el cliente quien se responsabiliza por su correcta identificación y preservación.
2. Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.
3. La información contenida en este informe no podrá ser reproducida total o parcialmente para usos publicitarios sin la autorización previa de ALS Patagonia S.A.

Mr. Sergio Iriarte Gerente de Proyectos
Schlumberger Water Services
Alcantara 44, Piso 12
Las Condes
CHILE

June 11, 2008

REPORT OF ANALYSES
10 samples for O and H isotopes

W-number	Specimen	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰
38091	HG-CA-07	-13.1	-94
38092	HG-CA-08	-12.6	-88

Analytical Precision (1-sigma) 0.08 0.9

C.J.Eastoe
Staff Scientist

Mr. Sergio Iriarte Gerente de Proyectos
Schlumberger Water Services
Alcantara 44, Piso 12
Las Condes
CHILE

March 10, 2008

REPORT OF ANALYSES
6 samples for O and H isotopes

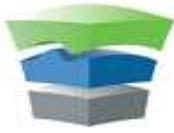
W-number	Specimen	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	δD ‰
37386	HG-CA-01	-13.3	-94
37387	HG-CA-02	-12.7	-89
37388	HG-CA-03	-10.5	-79
37389	HG-CA-04	-13.2	-92
37390	HG-CA-05	-12.7	-88
37391	HG-CA-06	-10.8	-79

Analytical Precision (1-sigma) 0.08 0.9

C.J.Eastoe
Staff Scientist

APÉNDICE C

ANÁLISIS DE PRUEBAS DE INFILTRACIÓN



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-344D Prueba 1

Test Well: RG08-344D

Test conducted by: LI

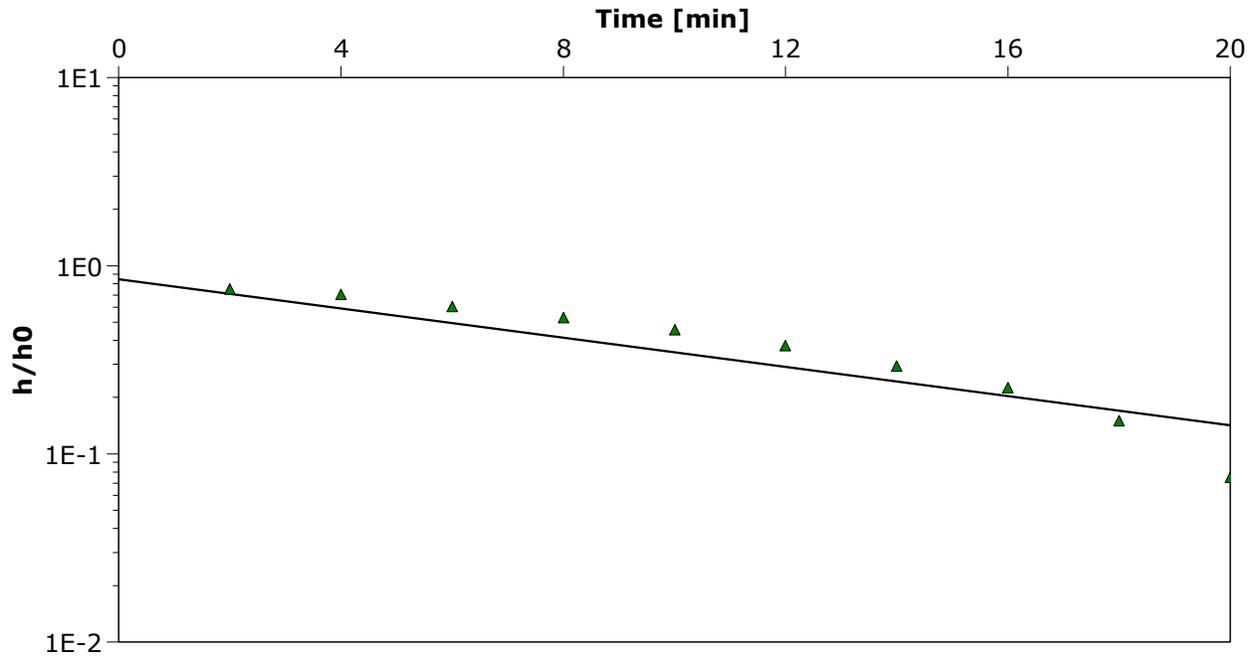
Test date: 6/6/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 200.00 m



Calculation after Hvorslev

Observation well

K

[m/s]

RG08-344D

2.88×10^{-7}

Prueba de Packer 1 - RG08-344D



Ubicación:	Proyecto Caserones	Dia sondaje:	HQ
Sondaje:	RG08-344D (Prueba #1)	Inclinación sondaje:	-80
Fecha:	20-05-08	Profundidad sondaje:	452.65 m 445.77

Nivel estático (m):	277.00 m*
Altura manómetro (sobre suelo m):	1.88

*nivel estatico estimado

Tipo de Packer:	Simple (431.85 - 452.65 m)
Limite superior tramo:	431.85 m (cor)
Tramo de prueba:	20.80 m (cor)

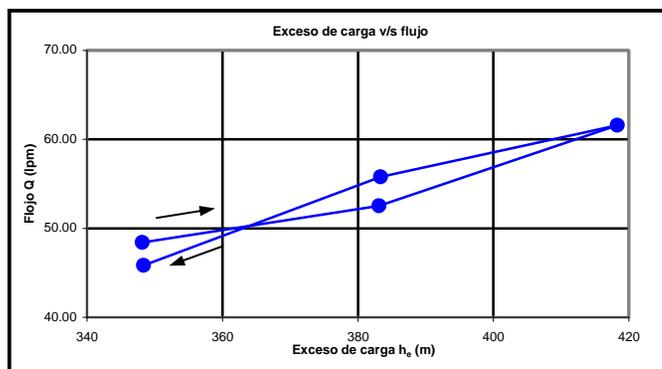
Presión de inflación Packer:	500 PSI
Pmax:	200 PSI
Pincrementos:	50 PSI

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (litros)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
0	1605				
2	1700	0.792	47.50	100	70
4	1794	0.783	47.00	100	70
6	1899	0.875	52.50	100	70
8	1983	0.700	42.00	100	70
10	2089	0.883	53.00	100	70
12	2200	0.370	22.20	150	105
14	2319	0.992	59.50	150	105
16	2449	1.083	65.00	150	105
18	2569	1.000	60.00	150	105
20	2681	0.933	56.00	150	105
22	2818	0.489	29.36	200	140
24	2935	0.975	58.50	200	140
26	3094	1.325	79.50	200	140
28	3236	1.183	71.00	200	140

2155.6

2759.3

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (seg por lt)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
30	3375	1.158	69.50	200	140
32	3501	0.600	36.00	150	105
34	3620	0.992	59.50	150	105
36	3742	1.017	61.00	150	105
38	3865	1.025	61.50	150	105
40	3987	1.017	61.00	150	105
42	4089	0.510	30.60	100	70
44	4188.00	0.825	49.50	100	70
46	4287.00	0.825	49.50	100	70
48	4386	0.825	49.50	100	70
50	4486	0.833	50.00	100	70



Etapa	Cabeza de presión prom. h_p (m)	Flujo prom. (lpm) Q	Perdida de fricción tubo f_p (m)	Perdida de fricción fittings f_f (m)	Exceso de carga h_g (m)	K (m/s)	K (cm/s)
1	70.00	48.40	0.01	0.68	348.19	1.08E-07	1.08E-05
2	105.00	52.54	0.01	0.76	383.11	1.06E-07	1.06E-05
3	140.00	61.57	0.01	0.54	418.33	1.14E-07	1.14E-05
4	105.00	55.80	0.01	0.49	383.38	1.13E-07	1.13E-05
5	70.00	45.82	0.01	0.52	348.35	1.02E-07	1.02E-05

Exceso de carga = $h_p + h_g + s_w - f_p - f_f$
(cor) = corregido por inclinación

Kmedia **1.08E-07 m/s**
9.36E-03 m/d
Kmax 1.14E-07
Kmin 1.02E-07

*prof. al punto-medio de la zona de prueba

Prueba de Packer 2 - RG08-344D



Ubicación:	Proyecto Caserones	Dia sondaje:	HQ
Sondaje:	RG08-344D (Prueba #2)	Inclinación sondaje:	-80
Fecha:	20-05-08	Profundidad sondaje:	452.65 m 445.77

Nivel estático (m):	277.00 m*
Altura manómetro (sobre suelo m):	1.88

*nivel estatico estimado

Tipo de Packer:	Doble (390.65-398.15 m)
Limite superior tramo:	390.65 m (cor)
Tramo de prueba:	7.50 m (cor)

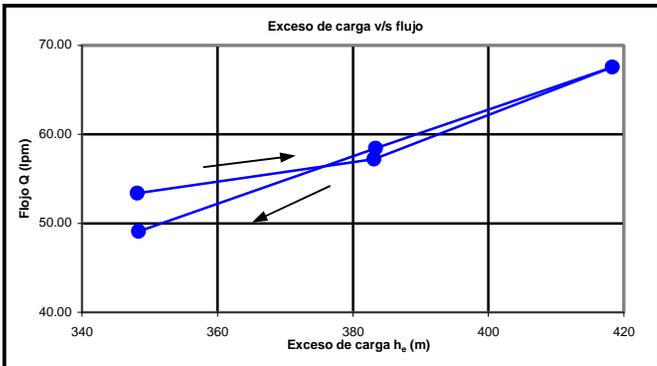
Presión de inflación Packer:	500 PSI
Pmax:	200 PSI
Pincrementos:	50 PSI

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (litros)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
0	4712				
2	4828	0.967	58.00	100	70
4	4931	0.858	51.50	100	70
6	5036	0.875	52.50	100	70
8	5140	0.867	52.00	100	70
10	5246	0.883	53.00	100	70
12	5374	0.427	25.60	150	105
14	5504	1.083	65.00	150	105
16	5633	1.075	64.50	150	105
18	5763	1.083	65.00	150	105
20	5895	1.100	66.00	150	105
22	6046	0.539	32.36	200	140
24	6199	1.275	76.50	200	140
26	6348	1.242	74.50	200	140
28	6496	1.233	74.00	200	140

5322.8

5981.3

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (seg por lt)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
30	6657	1.342	80.50	200	140
32	6775	0.562	33.71	150	105
34	6904	1.075	64.50	150	105
36	7033	1.075	64.50	150	105
38	7163	1.083	65.00	150	105
40	7292	1.075	64.50	150	105
42	7400	0.540	32.40	100	70
44	7507.00	0.892	53.50	100	70
46	7613.00	0.883	53.00	100	70
48	7719	0.883	53.00	100	70
50	7826	0.892	53.50	100	70



Etapa	Cabeza de presión prom. h_p (m)	Flujo prom. (lpm) Q	Perdida de fricción tubo f_p (m)	Perdida de fricción fittings f_f (m)	Exceso de carga h_g (m)	K (m/s)	K (cm/s)
1	70.00	53.40	0.01	0.68	348.19	2.74E-07	2.74E-05
2	105.00	57.22	0.01	0.76	383.11	2.67E-07	2.67E-05
3	140.00	67.57	0.01	0.54	418.33	2.89E-07	2.89E-05
4	105.00	58.44	0.01	0.49	383.38	2.72E-07	2.72E-05
5	70.00	49.08	0.01	0.52	348.35	2.52E-07	2.52E-05

Exceso de carga = $h_p + h_g + s_w - f_p - f_f$
 (cor) = corregido por inclinación

Kmedia **2.70E-07 m/s**
2.34E-02 m/d
Kmax 2.89E-07 m/s
Kmin 2.52E-07 m/s

*prof. al punto-medio de la zona de prueba

Prueba de Packer 3 - RG08-344D



Ubicación:	Proyecto Caserones	Día sondaje:	HQ
Sondaje:	RG08-344D (Prueba #3)	Inclinación sondaje:	-80
Fecha:	20-05-08	Profundidad sondaje:	452.65 m 445.77

Nivel estático (m):	277.00 m*
Altura manómetro (sobre suelo m):	1.88

*nivel estatico estimado

Tipo de Packer:	Doble (279.65 - 287.15 m)
Limite superior tramo:	279.65 m (cor)
Tramo de prueba:	7.50 m (cor)

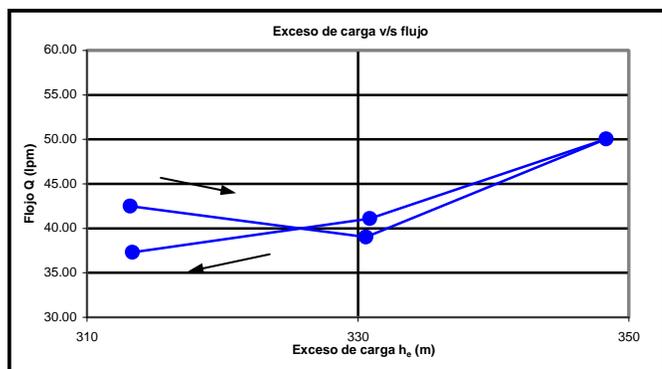
Presión de inflación Packer:	700 PSI
Pmax:	100 PSI
Pincrementos:	25 PSI

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (litros)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
0	8300				
2	8390	0.750	45.00	50	35
4	8475	0.708	42.50	50	35
6	8559	0.700	42.00	50	35
8	8642	0.692	41.50	50	35
10	8725	0.692	41.50	50	35
12	8778	0.177	10.60	75	52.5
14	8870	0.767	46.00	75	52.5
16	8963	0.775	46.50	75	52.5
18	9055	0.767	46.00	75	52.5
20	9147	0.767	46.00	75	52.5
22	9183	0.129	7.71	100	70
24	9306	1.025	61.50	100	70
26	9431	1.042	62.50	100	70
28	9551	1.000	60.00	100	70

8756.8

9167.6

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (seg por lt)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
30	9668	0.975	58.50	100	70
32	9687	0.090	5.43	75	52.5
34	9785	0.817	49.00	75	52.5
36	9885	0.833	50.00	75	52.5
38	9986	0.842	50.50	75	52.5
40	10087	0.842	50.50	75	52.5
42	10112	0.125	7.50	50	35
44	10200.00	0.733	44.00	50	35
46	10290.00	0.750	45.00	50	35
48	10381	0.758	45.50	50	35
50	10470	0.742	44.50	50	35

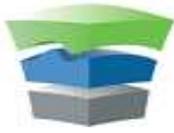


Etapa	Cabeza de presión prom. h_p (m)	Flujo prom. (lpm) Q	Perdida de fricción tubo f_p (m)	Perdida de fricción fittings f_f (m)	Exceso de carga h_e (m)	K (m/s)	K (cm/s)
1	35.00	42.50	0.01	0.68	313.19	2.42E-07	2.42E-05
2	52.50	39.02	0.01	0.76	330.61	2.11E-07	2.11E-05
3	70.00	50.04	0.01	0.54	348.33	2.57E-07	2.57E-05
4	52.50	41.09	0.01	0.49	330.88	2.22E-07	2.22E-05
5	35.00	37.30	0.01	0.52	313.35	2.13E-07	2.13E-05

Exceso de carga = $h_p + h_g + s_w - f_p - f_f$
 (cor) = corregido por inclinación

Kmedia **2.28E-07 m/s**
1.97E-02 m/d
Kmax 2.57E-07 m/s
Kmin 2.11E-07 m/s

*prof. al punto-medio de la zona de prueba



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-346D Prueba 1

Test Well: RG08-346D

Test conducted by: RT

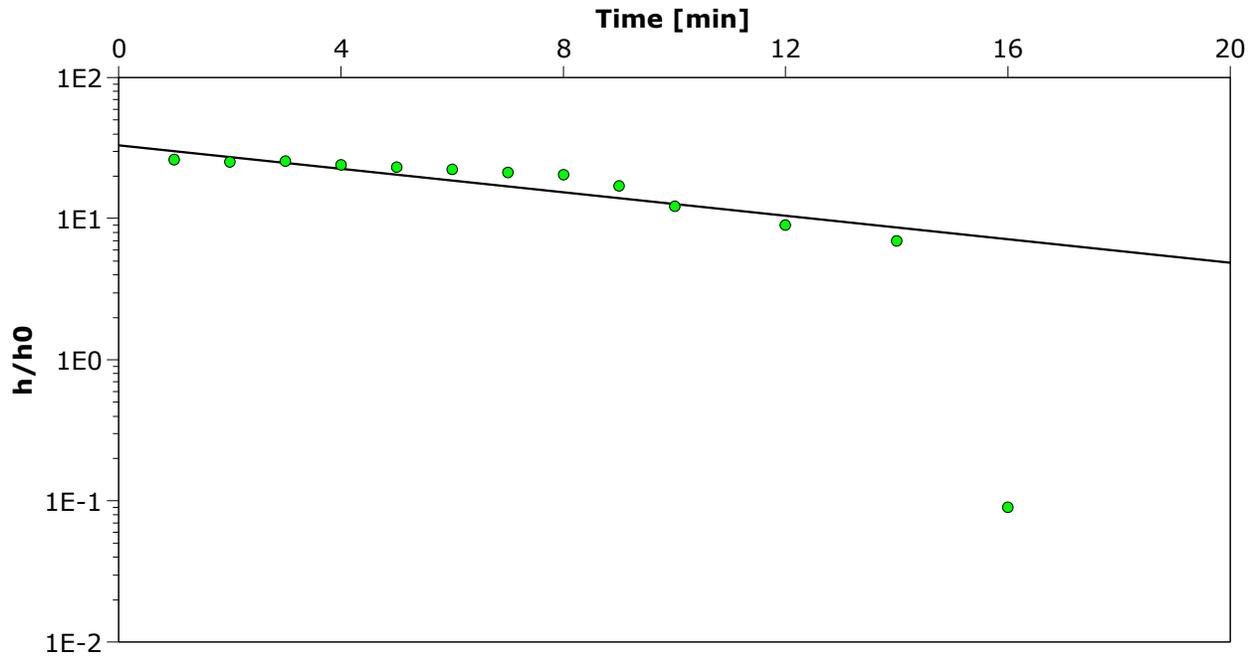
Test date: 5/15/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 150.00 m



Calculation after Hvorslev

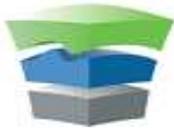
Observation well

K

[m/s]

RG08-346D

2.34×10^{-6}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-348D Prueba 1

Test Well: RG08-348D

Test conducted by: HS

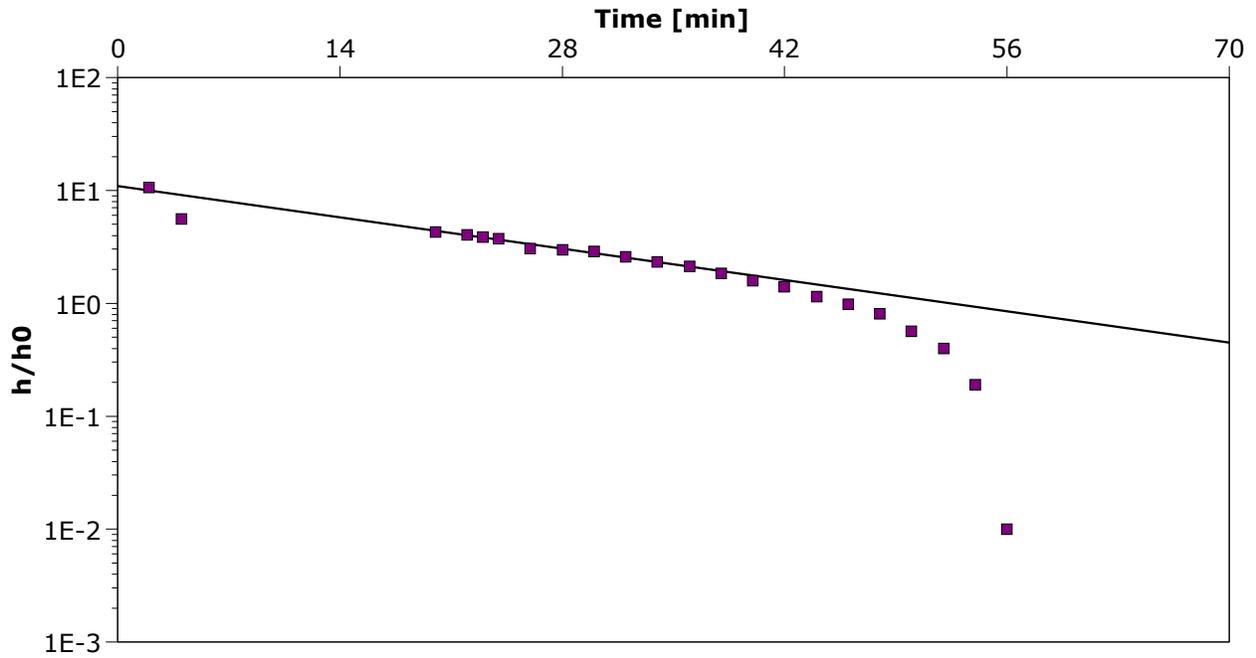
Test date: 6/6/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 150.00 m



Calculation after Hvorslev

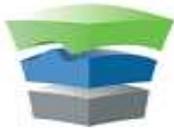
Observation well

K

[m/s]

RG08-348D

9.55×10^{-7}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-348D Prueba 2

Test Well: RG08-348D

Test conducted by: HS

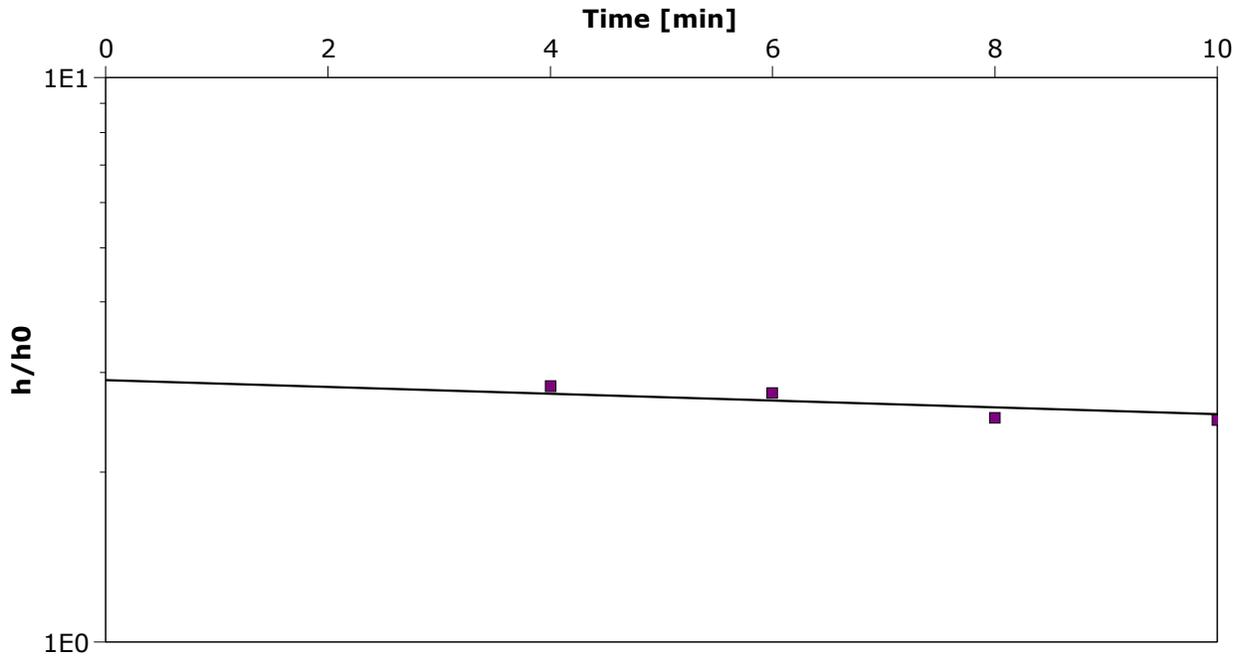
Test date: 5/23/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 150.00 m



Calculation after Hvorslev

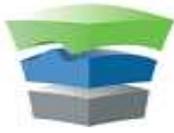
Observation well

K

[m/s]

RG08-348D

2.88×10^{-7}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-350D Prueba 1

Test Well: RG08-350D-P1

Test conducted by: PM

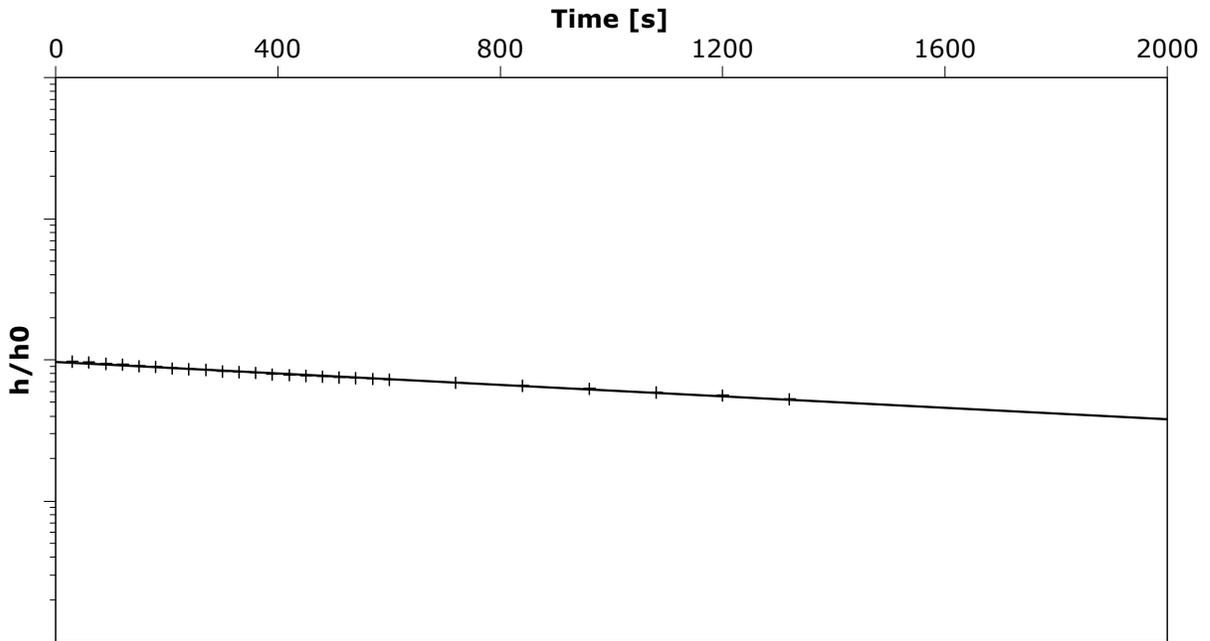
Test date: 7/28/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 7/28/2008

Aquifer Thickness: 200.00 m



Calculation after Hvorslev

Observation well

K

[m/s]

RG08-350D-P1

5.85×10^{-7}

Prueba de Packer 1 - RG08-350D



Ubicación:	Mina Caserones	Dia sondaje:	HQ (3.782 pulgadas)
Sondaje:	RG08-350D	Inclinación sondaje:	-65
Fecha:	02-06-08	Profundidad sondaje:	300.00 m (272m real)

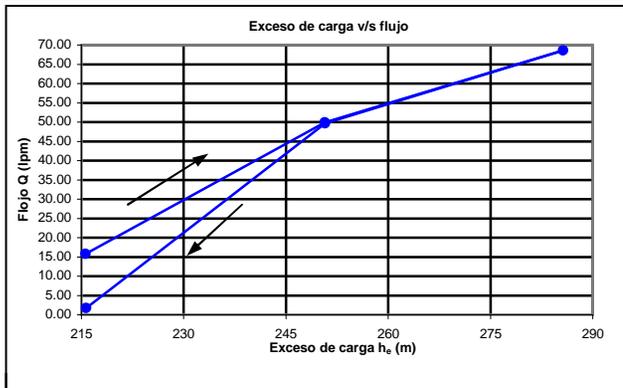
Nivel estático (m):	145.40 m
Altura manómetro (sobre suelo m):	1.89

Tipo de Packer:	Doble
Limite superior tramo:	253.00 m (cor)
Tramo de prueba:	3.00 m

Presión de inflación Packer:	700 psi
Pmax:	200 psi
Pincrementos:	150, 100 psi

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (litros)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
0	3906.0			100	
2	3940.0	0.283	17.00	100	70
4	3972.0	0.267	16.00	100	70
6	4002.0	0.250	15.00	100	70
8	4030.0	0.233	14.00	100	70
10	4064.0	0.283	17.00	100	70
0	4280.0		0.00	150	105
2	4380.0	0.833	50.00	150	105
4	4475.0	0.792	47.50	150	105
6	4576.0	0.842	50.50	150	105
8	4676.0	0.833	50.00	150	105
10	4779.0	0.858	51.50	150	105
0	5160.0		0.00	200	140
2	5300.0	1.167	70.00	200	140
4	5443.0	1.192	71.50	200	140

Tiempo desde partir (mins)	Medición de flujo (seg por lt)	Flujo (l/s)	Flujo (lpm)	Medición de presión (psi)	Cabeza presión h_p (m)
6	5587.0	1.200	72.00	200	140
8	5724.0	1.142	68.50	200	140
10	5846.0	1.017	61.00	200	140
0	536.0		0.00	150	105
2	635.0	0.825	49.50	150	105
4	733.0	0.817	49.00	150	105
6	834.0	0.842	50.50	150	105
8	934.0	0.833	50.00	150	105
10	1033.0	0.825	49.50	150	105
0	1205.0		0.00	100	70
2	1207.0	0.017	1.00	100	70
4	1211.0	0.033	2.00	100	70
6	1215.0	0.033	2.00	100	70
8	1218.0	0.025	1.50	100	70
10	1222.0	0.033	2.00	100	70

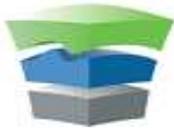


Etapa	Cabeza de presión prom. h_p (m)	Flujo prom. (lpm) Q	Perdida de fricción tubo f_p (m)	Perdida de fricción fittings f_f (m)	Exceso de carga h_e (m)	K (m/s)	K (cm/s)
1	70.00	15.80	0.01	1.68	215.60	2.68E-07	2.68E-05
2	105.00	49.90	0.01	1.56	250.72	7.28E-07	7.28E-05
3	140.00	68.60	0.01	1.60	285.68	8.78E-07	8.78E-05
4	105.00	49.70	0.01	1.54	250.74	7.25E-07	7.25E-05
5	70.00	1.70	0.01	1.58	215.70	2.88E-08	2.88E-06

Exceso de carga = $h_p + h_g + s_w - f_p - f_f$
 (cor) = corregido por inclinación

GEOMEAN = 3.24E-07 m/s
 Kmax 8.78E-07
 Kmin 2.88E-08

*prof. al punto-medio de la zona de prueba



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 1

Test Well: RG08-352D-P1

Test conducted by: HS

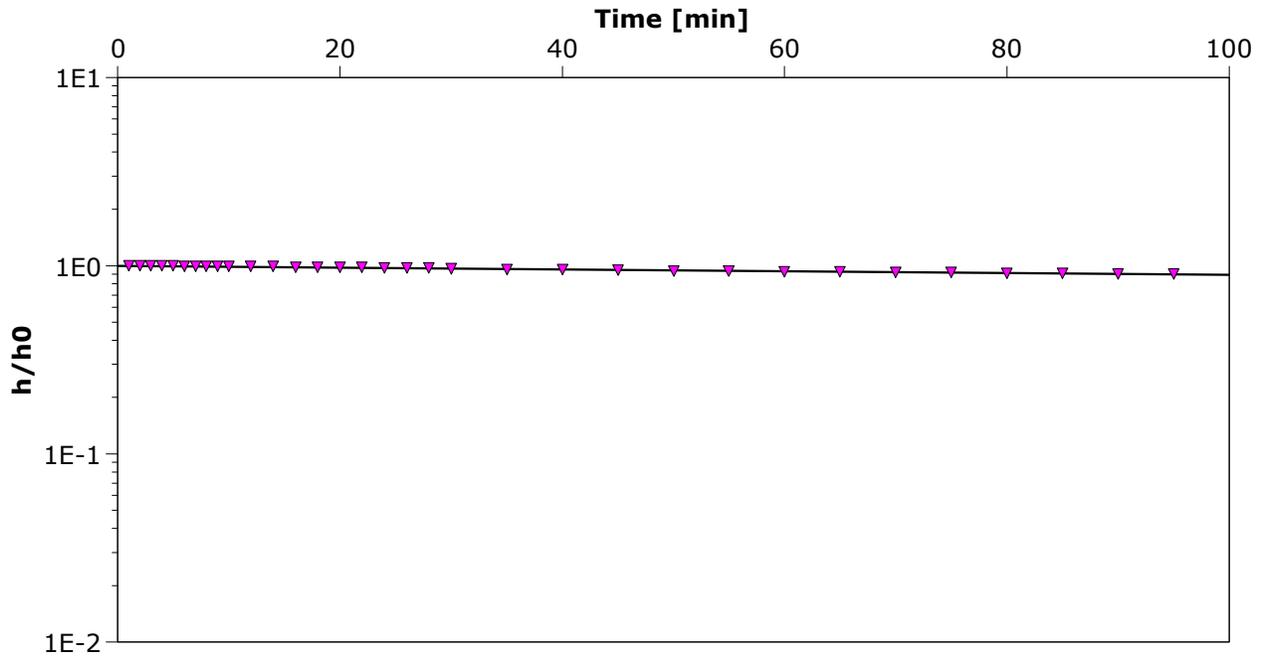
Test date: 6/18/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

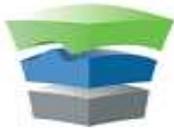
Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P1

4.27×10^{-8}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 2

Test Well: RG08-352D-P2

Test conducted by: HS

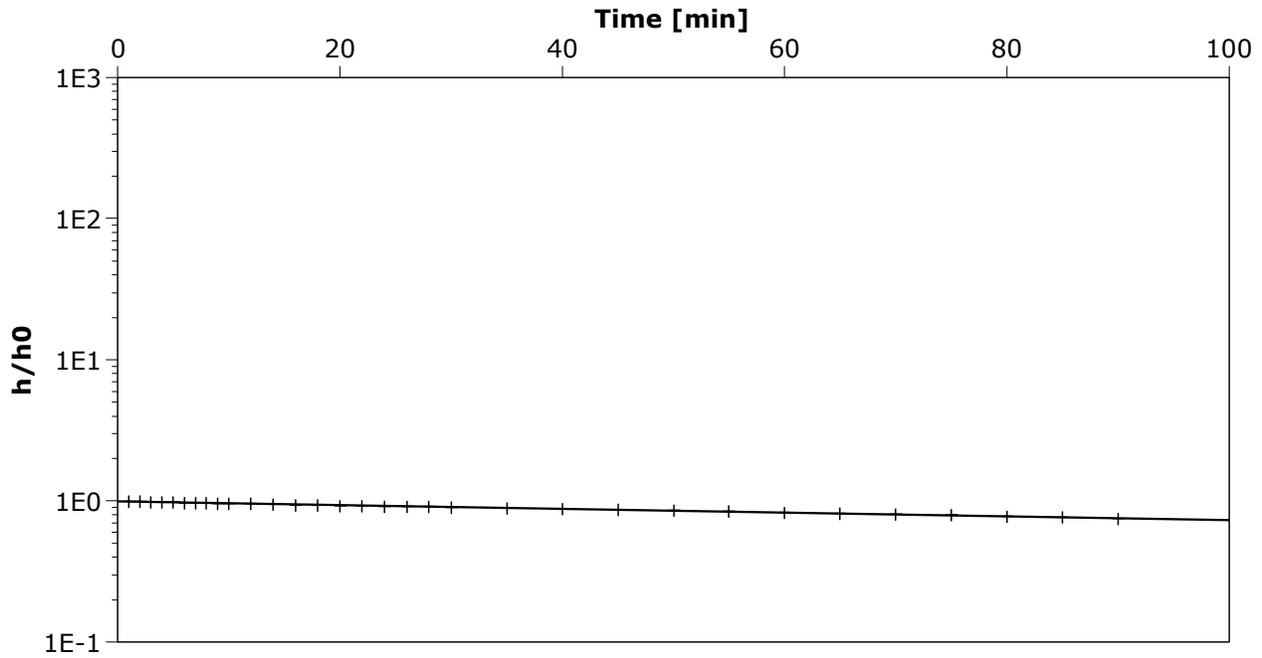
Test date: 6/18/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

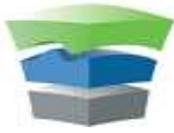
Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P2

1.52×10^{-7}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 3

Test Well: RG08-352D-P3

Test conducted by: HS

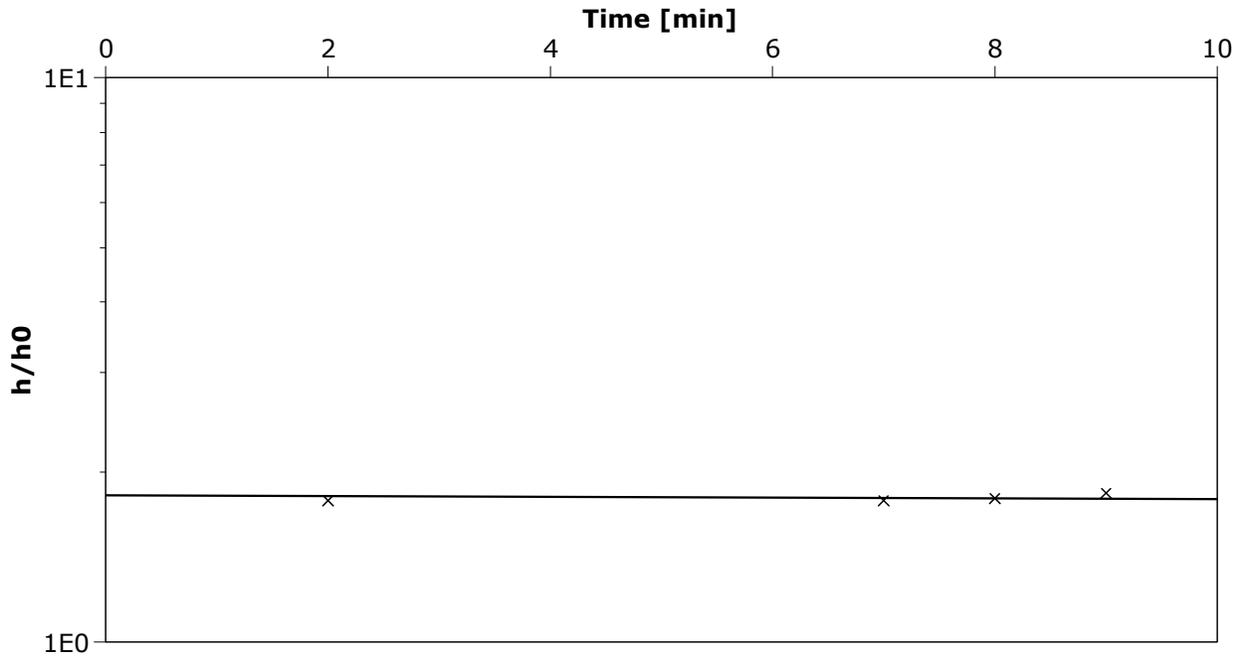
Test date: 6/18/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 6/18/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

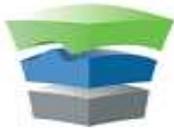
Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P3

4.79×10^{-6}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 4

Test Well: RG08-352D-P4

Test conducted by: HS

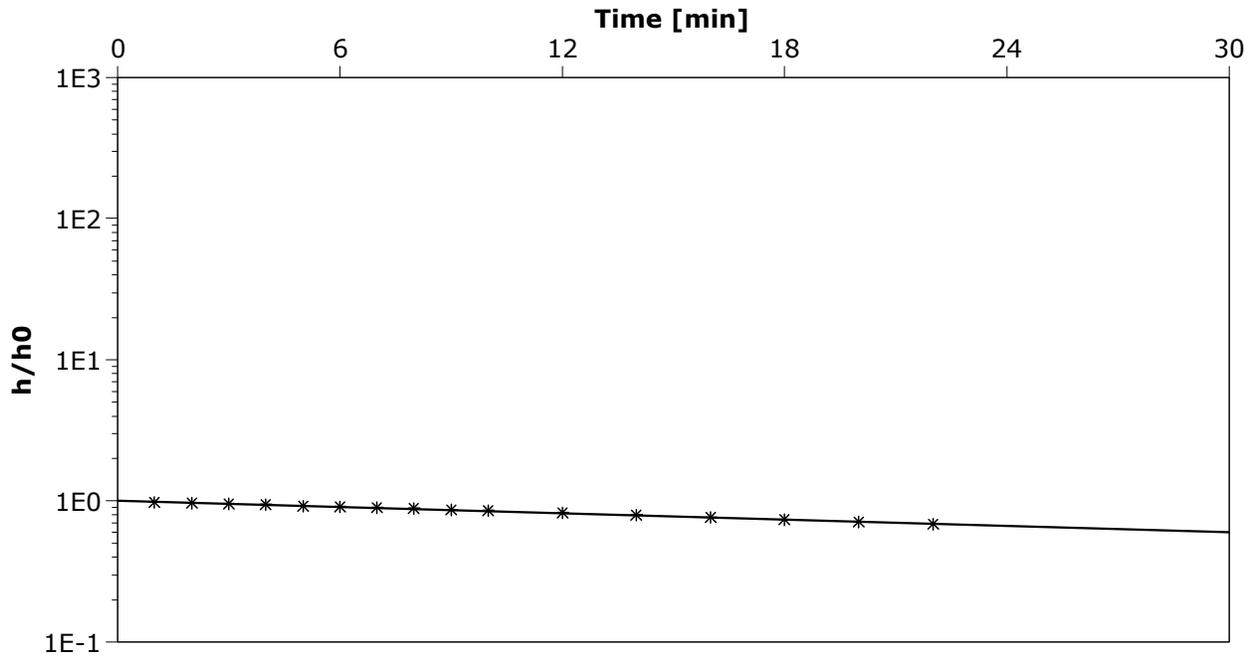
Test date: 7/10/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 7/10/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

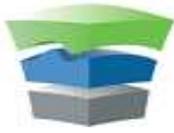
Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P4

6.36×10^{-7}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 5

Test Well: RG08-352D-P5

Test conducted by: HS

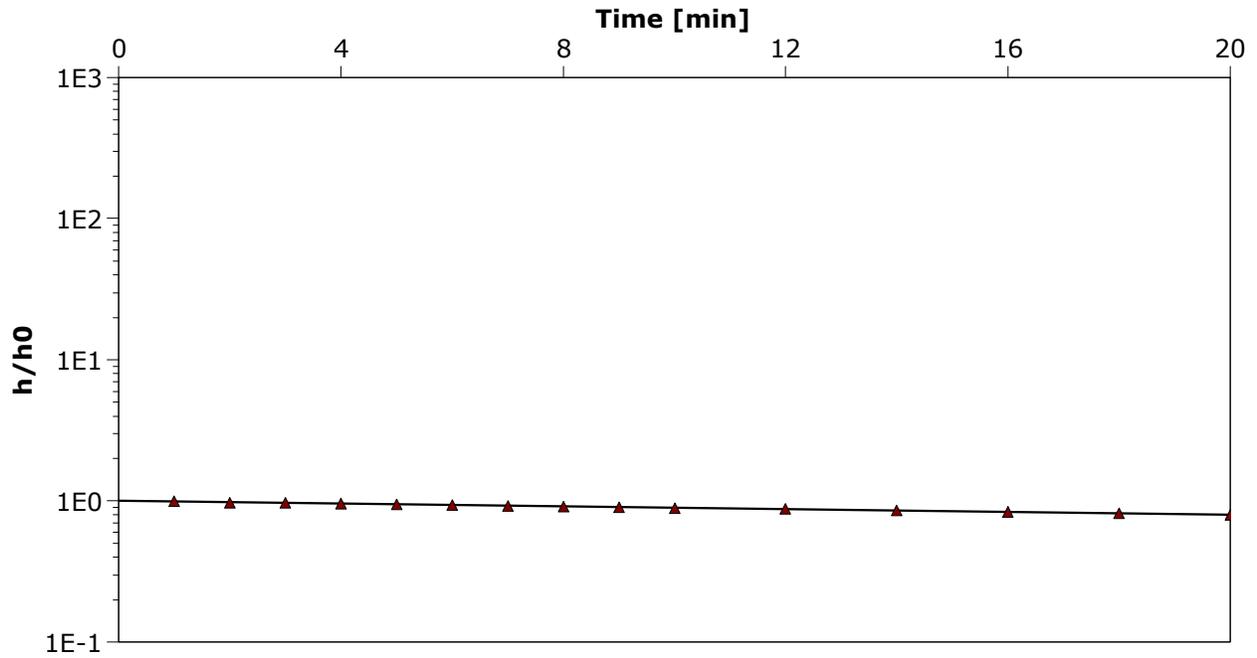
Test date: 7/10/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 7/10/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

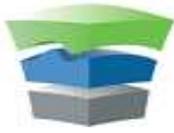
Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P5

4.98×10^{-7}



Schlumberger
WATER SERVICES

Slug Test Analysis Report

Project: Caserones

Number:

Client: Lumina Copper

Location: Caserones

Slug Test: RG08-352D Prueba 6

Test Well: RG08-352D-P6

Test conducted by: HS

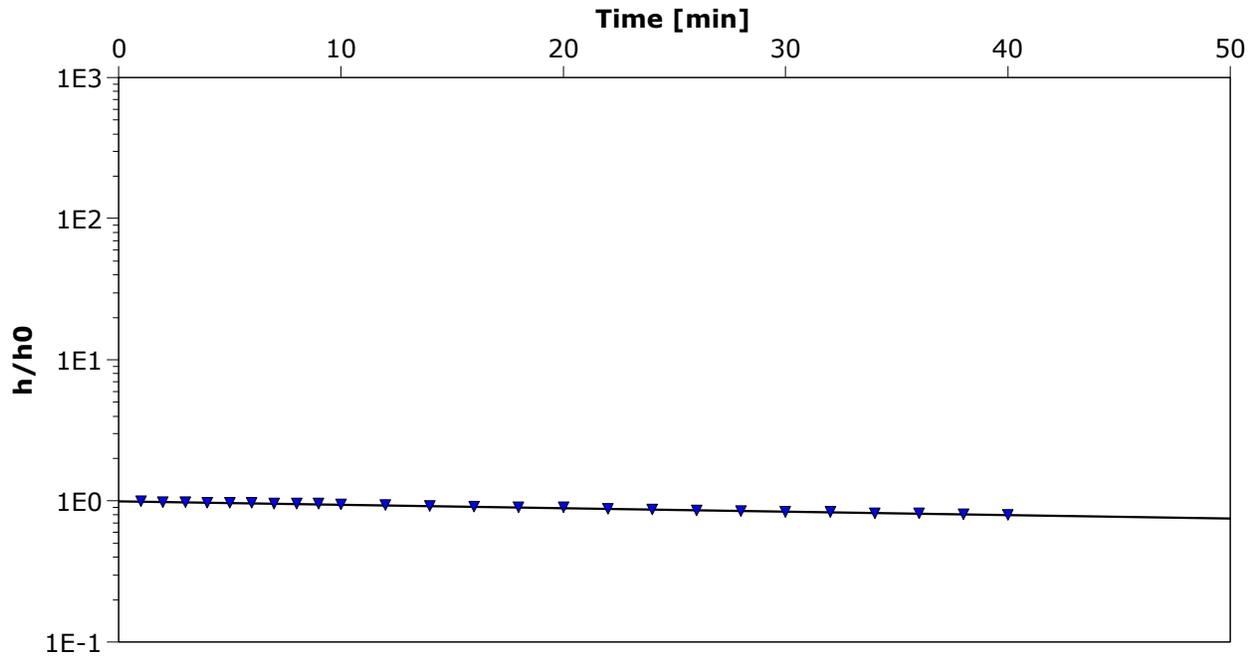
Test date: 7/10/2008

Analysis performed by: HS

Hvorslev

Date: 7/10/2008

Aquifer Thickness: 270.50 m



Calculation after Hvorslev

Observation well

K

[m/s]

RG08-352D-P6

2.09×10^{-7}