

Drenaje de Salmueras en Sales de Halita

Andrés Soto-Bubert¹, Carlos de las Pozas¹, Gustavo Navarro¹, Roberto Acevedo²

1.) Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad San Sebastián. Avenida Bellavista 07, Recoleta, Santiago, Chile.

2.) Dirección de Investigación y Desarrollo. Universidad Mayor. San Pio X. Número 2422. Providencia. CP: 7510352. Santiago. Chile

Las pozas solares para producción de sales de potasio y salmueras concentradas de litio, son sistemas en los cuales precipitan fraccionadamente sales en un tren de pozas. En el salar de Atacama, Chile, las salmueras se encuentran saturadas en Halita y yeso por lo que la primera poza precipita en forma significativa Halita teniendo bajos contenidos de yeso y Silvita. Las sales precipitan aumentando un inventario en el nivel del piso de la poza y cuando este nivel es suficientemente alto, la operación decide vaciar la poza de salmuera y drenar el máximo posible de salmuera (que es la materia prima del proceso y la Halita se considera sal de descarte). Este proceso se conoce como cosecha. Las sales de Halita en la poza precipitan en un rango de tamaños que puede tener sentido medirlas a partir del tamiz #8 Tyler. La distribución de tamaños no permite estimar de manera satisfactoria la impregnación post drenado que tendría una sal Halita posterior a su cosecha, lo que dificulta generar inventarios de sales, salmueras y balances de masa en una poza solar de estas características. El trabajo que se propone realizar es relacionar los tamices de tamaño de sales Halita (grado analítico, escala laboratorio), definiendo rangos de tamaño entre malla Tyler X1:#8-#20, X2:#20-#40, X3:#40-#70 y X4:#-70, donde X1, X2, X3 y X4 son fracciones másicas (o porcentajes) de cada rango de tamaño en un total de sal (muestra) y la impregnación post drenado [Im] de salmuera saturada en Halita en la sal de Halita, medida como una unidad de concentración masa de salmuera retenida por la sal/masa de sal, base seca. Se reportan 111 datos experimentales reportando su impregnación post drenado experimental obtenida por diferencia de masa entre Halita seca y Halita húmeda (sumergida en salmuera saturada en Halita y drenada sobre un filtro). Se construye una correlación de la Impregnación post drenado a partir de la distribución másica de los rangos de tamices, $Im[x_1, x_2, x_3, x_4]$, función de 14 parámetros.

La impregnación post drenada Im, tiene valores en el rango de 7 – 22% y 7-26% experimental. La función refleja los datos experimentales y se le atribuye un error relativo de 30%. Estos resultados son discutidos en detalle.

Palabras clave: Poza solar, Halita, drenaje, tamices.

1.- Introducción

En el salar de Atacama, existen plantas productoras de salmueras de litio y sales de potasio a partir de pozas solares, las cuales se encuentran inicialmente saturadas en yeso y Halita por lo que en un tren de pozas que precipita sales fraccionadamente producto de la evaporación de agua producida por la radiación solar, la sequedad del aire y el viento, precipita sales de Halita y Yeso de modo de mantener los equilibrios sólido – líquido del sistema en las primeras pozas del tren, sin la presencia de otras sales (a no ser que existan fallas en la operación). El objetivo de estas faenas mineras es obtener cloruro de potasio, sulfato de potasio y/o salmueras enriquecidas en litio, precipitando sales en forma selectiva por medio de un tren de pozas en serie y paralelo, que precipita fraccionadamente varias sales según sea la ruta de evaporación escogida para la obtención de la sal y/o salmueras de interés [1].

La primera poza solar en general es una poza que tiene como función precipitar mayoritariamente sales de Halita (pueden contener en la práctica un bajo contenido en yeso y cloruro de potasio, Silvita). Las pozas operan en continuo entrando salmueras frescas y con una salida que va agotando el campo Halita y a medida que pierden agua, se concentran en el resto de los iones que contienen de modo de que aparezca el campo de precipitación de Silvita ya que potasio por concentración y constante de producto de solubilidad resulta favorecido. En el salar de Atacama, la precipitación de sales acontece en un orden en el string de pozas observándose el siguiente patrón: Yeso, Halita, Silvita, Carnalita de Potasio, Bischofita, Y finalmente sales de litio. La Silvita se desea que no precipite conjuntamente con la Halita sino que esto suceda en otra poza que le sucede, en un tren de pozas. Lo cierto es que esto se logra parcialmente, ya que en las primeras pozas precipita yeso, Halita y muy poca Silvita (posiblemente por las noches frías del desierto que cambian la constante de producto de solubilidad de la Silvita de manera significativa haciéndola menos soluble) [1,2] En el tiempo, la cantidad de sales de Halita comienza a aumentar en su inventario en las primeras pozas del tren de pozas y por ende la poza antes de ser cosechada (vaciar salmuera de modo de sacar sales para seguir operando posteriormente), presenta dos zonas fácilmente distinguibles, una zona de sales con salmuera ocupando los intersticios de ellas y la zona de salmuera libre de sal. Posteriormente, una vez que la operación decide cosechar las sales y de este modo retirarlas de la poza dado que han acumulado alturas considerables de sales sobre el piso de la poza, se procede a drenar las sales generando pilas en la poza de modo de poder extraer el máximo posible de salmuera y ésta ser bombeada a una poza que la sucede en el tren de pozas (Pozas de Silvita). Evidentemente para poder tener un inventario de salmuera de esta poza (materia prima), resulta útil, para dimensionar los balances de masa de la poza, cuantificar la salmuera que puede estar contenida en la carpeta de sales y la que podría perderse una vez se coseche la sal, al quedar impregnada en los cristales post drenado de la cosecha. Este trabajo pretende estudiar el caso de salmueras impregnadas en la sal posteriores a su drenado.

Las sales de Halita no son porosas, por lo que se atribuye la impregnación de salmueras exclusivamente a los intersticios que existen entre los granos de sal de diferentes tamaños. En las pozas, la distribución de tamaño es variable, ya que son sistemas abiertos a la atmósfera con fluctuaciones de temperatura apreciables entre 40° de día y los -5°C de noche en sus casos extremos, lo cual genera tamaños de cristal diversos. Estos tamaños también dependen de cuán soluble es la sal y de los mecanismos de nucleación y crecimiento que el sistema proporciona. Evidentemente al drenar la salmuera se recupera una cantidad considerable de ella que se encontraba "oculta" en la carpeta de sales. Sin embargo, una fracción apreciable de esta salmuera queda adherida a la superficie de estos cristales y se piensa que mientras más área específica tengan (cristales más finos), mayor es su posibilidad de retener salmuera generando una humedad post drenado.

A esta salmuera retenida se le atribuye una unidad de concentración que se define como la cantidad de salmuera retenida por la sal post drenado en masa, por cantidad de sal en masa, denominada impregnación post drenado (Im).

Simular el problema de cálculo de la impregnación post drenado, cuando existe diversidad de tamaños de sólidos es un problema difícil y en general no se encuentra resuelto si hay una amplia posibilidad de tamaños de partículas cristalinas. [1,2]

Representar la fracción másica de salmuera saturada que es retenida por estos sólidos, resulta un reto. El trabajo que se propone realizar tiene dos temas a considerar: una componente experimental, de manera de poder cuantificar la impregnación de la salmuera retenida en la sal de Halita post drenado y otra de carácter teórico que dice relación a un ajuste matemático, que interprete los experimentos realizados y poder ofrecer una función analítica que relaciones tamices de estas sales y la cantidad de salmuera impregnada en la sal post drenado.

La experiencia a escala de laboratorio consiste en Halita y salmuera saturada a partir de la misma sal, la cual es impregnada, simulando el piso de una poza (sal que impregna en una poza la salmuera y que puede tener un metro de altura en el momento de cosecha de la sal), a temperatura ambiente (20°) y una atmosfera de presión. Respecto a la solubilidad del sistema Na^+ , Cl^- , Halita, se sabe que la constante de producto de solubilidad es casi invariante con la temperatura, por lo que las especies en una poza varían en forma insignificante con fluctuaciones térmicas en esta poza. En el caso Silvita (KCl) y otras sales como Bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sin embargo, la variación es significativa, por lo que los experimentos se realizan en primera aproximación solo en sistema Halita y son razonables de considerar en estas las primeras pozas del tren.[2-7].

Debe entenderse que estas estimaciones son una primera aproximación al problema y ofrece una mejora respecto a la situación que enfrentan en la actualidad las empresas de minería no metálicas (se observan errores de predicción de la impregnación post drenado, superiores al 100% en estas faenas mineras). Esta investigación tiene especial interés en industrias de minería no metálica que producen KCl o K_2SO_4 , por medio de precipitación fraccionada usando pozas evaporativas solares.

El trabajo que se propone realizar consiste en un experimento a escala de laboratorio que permita a partir de sales de Halita (grado analítico) que satisfacen tamices conocidos, relacionar fracciones másicas de estos tamices con la impregnación de salmuera retenida en la sal post drenado. La Halita no tiene agua de hidratación (es anhídrida) por lo que no se esperan cambios de fase por calentarla. La salmuera Inicialmente se conoce la masa de la sal ya que fue secada en una mufla a 200°C por 30 minutos), de manera de remover cualquier tipo de humedad residual. El sistema sal-salmuera luego se pone sobre un embudo dispuesto en un matraz kitosato con papel filtro de manera que el sistema drene la salmuera. Tras un drenado de una hora que asegura estado estacionario (para dos kilos de sal se llega al estado estacionario en 30 a 40 minutos de acuerdo a los experimentos de prueba), la sal drenada se pesa asignando a la diferencia de este último valor y el de la sal seca, el valor de la sal impregnada. Se asumen las pérdidas de evaporación de agua despreciables (humedad relativa del aire de laboratorio superior a 80%).

La salmuera al encontrarse saturada en NaCl no disuelve cristales de Halita. De este modo se tiene como input experimental la fracción másica de tamices de Halita versus su output que es la impregnación de salmuera post drenado que da cuenta de una unidad de concentración másica de la salmuera retenida en la sal.

2.- Experimental

El experimento se lleva a cabo a 20°C y 1 atmosfera de presión con humedad relativa de aire de 80%. Se usa Halita grado analítico, la cual se seca en una mufla modelo JSMF-45T, a 200°C durante 30 minutos asegurando la eliminación de humedad.

Las sales se tamizan a continuación en seco por 100 segundos, usando un tamizador vibratorio con tamices de malla Tyler #8 (1250 μm), #20 (850 μm), #40 (425 μm), #70 (212 μm), #70 (<212 μm). De este modo se definen cuatro rangos de tamices cuya característica es:

- A) X1: Tamiz que atraviesa malla 8 y es retenido por malla #20.
- B) X2: Tamiz que atraviesa malla 20 y es retenido por malla #40.
- C) X3: Tamiz que atraviesa malla 40 y es retenido por malla #70.
- D) X4: Tamiz que atraviesa malla 70.

Se usa una base de 2 kilogramos de sal Halita que es preparada como la suma constituida por sales Halita clasificadas de X1 a X4, mezcla que luego se rolea, de modo de asegurar homogeneidad en la distribución de tamaños de la muestra. De este modo X1 a X4 representa una fracción másica de la sal que satisface los rangos de tamices descritos anteriormente.

Sea y_i una cantidad de sal de Halita en el rango 0-2000 gramos del tamiz "X_i", con $i=1,4$,

se tiene luego que:

$$\frac{y_i}{\sum_{i=1}^4 y_i} = X_i$$

$$\sum_{i=1}^4 X_i = 1 \text{ o bien expresado como porcentaje } \sum_{i=1}^4 x_i * 100 = 100\% \text{ donde } X_i * 100 = x_i$$

La sal una vez preparada y roleada (mezclada de manera de intentar asegurar distribución homogénea de tamaños en la muestra), de modo que satisface las condiciones anteriores se adiciona en un vaso precipitado y luego se rellena con salmuera saturada en NaCl de modo de que se llene hasta sumergir todos los cristales de Halita que se encuentran en el interior del vaso. Posteriormente se drena la sal sobre un embudo provisto de un papel filtro durante una hora y se calcula por diferencia de masas la sal seca y húmeda asignando a la diferencia los gramos de salmuera retenida. Los gramos de sal seca y húmeda se miden en una balanza analítica.

Se mide los gramos de salmuera retenida por 2000 gramos de sal NaCl y se mide como una unidad de concentración la impregnación de salmuera en las sales (Im), luego:

$$\% Im = \frac{\text{gramos de salmuera retenida}}{2000 \text{ gramos de sal Halita}} * 100$$

3.-Resultados

Con los datos anteriores se confecciona una tabla de datos con 111 experimentos donde se varía las fracciones X1-X4, expresadas como porcentaje, reportando la impregnación de salmuera porcentual post drenado en cada caso "Im". Los resultados de estos experimentos se presentan en la tabla 1, en las primeras 6 columnas:

Tabla 1: Porcentajes xi v/s Impregnación de post drenaje (Im)

Número de orden	x1 (%)	x2 (%)	x3 (%)	x4 (%)	Impregnación Im (%) $\left[\frac{g \text{ salmuera} * 100}{2000 g \text{ sal Halita}} \right]$	Im (x1,x2,x3,x4)	Variación (Im exp - Im teo)
1	56,1	30,6	8,7	4,6	7,86	10,61	-2,75
2	38,8	46,5	12,2	2,5	9,27	11,92	-2,65
3	43,8	41,4	11,8	3,0	9,22	11,51	-2,29
4	47,2	43,0	8,1	1,6	11,11	12,53	-1,42
5	4,8	37,3	39,2	18,7	12,81	10,84	1,97
6	13,8	55,0	25,1	6,1	12,67	11,30	1,37
7	40,1	43,7	13,2	3,0	8,77	11,56	-2,79
8	18,5	40,8	30,3	10,4	13,43	10,10	3,33
9	19,1	47,8	23,2	9,9	13,22	10,28	2,94
10	18,0	60,7	17,5	3,8	11,06	12,05	-0,99
11	29,8	47,6	18,5	4,1	10,51	11,25	-0,74
12	34,0	24,4	22,2	19,4	8,65	8,22	0,43
13	22,9	49,8	22,8	4,5	9,41	11,25	-1,84
14	34,1	47,8	14,9	3,2	14,88	11,61	3,27
15	33,7	37,2	22,6	6,5	11,45	10,24	1,21
16	33,8	48,7	15,0	2,5	15,54	11,92	3,62
17	31,4	49,7	16,5	2,4	15,73	11,96	3,77
18	34,9	22,2	15,6	27,3	8,08	7,63	0,45
19	42,1	31,9	17,2	8,8	8,50	9,51	-1,01
20	52,1	22,7	15,3	9,9	8,70	9,04	-0,34
21	69,8	17,3	8,3	4,6	8,84	10,32	-1,48
22	4,5	56,0	25,6	13,9	14,02	11,24	2,78
23	28,4	50,1	14,4	7,1	9,85	10,72	-0,87
24	8,2	66,1	19,9	5,8	16,15	12,10	4,05
25	27,9	54,2	13,9	4,0	11,05	11,70	-0,65
26	12,1	68,0	14,1	5,8	9,08	12,24	-3,16
27	66,0	25,7	6,0	2,3	7,78	11,52	-3,74
28	36,0	47,1	10,7	6,2	8,95	10,82	-1,87
29	39,9	46,9	9,1	4,1	7,64	11,47	-3,83
30	31,1	47,5	16,0	5,4	7,07	10,92	-3,85
31	39,1	45,1	11,8	4,0	8,07	11,30	-3,23
32	40,9	47,1	10,0	2,0	8,77	12,37	-3,6
33	45,7	42,5	9,5	2,3	10,33	11,95	-1,62
34	36,3	45,3	12,7	5,7	8,56	10,79	-2,23
35	46,8	39,7	10,0	3,5	14,93	11,30	3,63
36	30,7	50,1	14,7	4,5	7,93	11,31	-3,38
37	47,3	38,2	10,9	3,6	9,64	11,17	-1,53

38	31,8	43,4	13,7	11,1	7,66	9,69	-2,03
39	65,4	25,3	6,7	2,6	15,50	11,32	4,18
40	49,4	35,8	12,1	2,7	16,07	11,42	4,65
41	59,7	29,0	8,5	2,8	14,05	11,27	2,78
42	30,5	48,6	16,4	4,5	11,20	11,21	-0,01
43	42,4	43,8	10,8	3,0	7,96	11,64	-3,68
44	50,9	36,8	9,7	2,6	8,87	11,58	-2,71
45	39,6	41,6	14,8	4,0	9,31	11,07	-1,76
46	26,7	52,9	14,9	5,5	14,76	11,21	3,55
47	9,8	66,6	20,1	3,5	13,17	12,48	0,69
48	31,9	49,2	16,1	2,8	11,68	11,79	-0,11
49	42,6	43,5	11,4	2,5	9,10	11,82	-2,72
50	32,5	47,8	15,5	4,2	7,69	11,27	-3,58
51	46,4	40,7	10,0	2,9	12,49	11,59	0,9
52	32,5	46,9	15,8	4,8	12,95	11,05	1,9
53	50,0	37,9	9,3	2,8	13,03	11,55	1,48
54	45,6	34,3	15,4	4,7	14,82	10,58	4,24
55	42,5	37,0	15,1	5,4	14,66	10,47	4,19
56	62,0	26,4	9,0	2,6	11,66	11,28	0,38
57	53,2	32,8	11,5	2,5	15,05	11,44	3,61
58	52,0	35,1	10,1	2,8	13,80	11,41	2,39
59	36,6	43,1	18,3	2,0	18,76	11,86	6,9
60	54,8	34,7	10,2	0,3	19,26	13,18	6,08
61	59,4	31,5	9,0	0,1	17,76	13,54	4,22
62	0,0	46,4	43,4	10,1	11,21	13,02	-1,81
63	0,2	44,3	48,5	7,0	14,03	12,64	1,39
64	0,1	48,4	45,6	5,9	9,49	12,66	-3,17
65	0,9	48,3	43,3	7,5	8,80	12,25	-3,45
66	0,0	0,1	31,4	68,5	17,50	17,08	0,42
67	0,0	0,9	44,3	54,8	15,34	16,78	-1,44
68	0,1	1,6	35,0	63,3	15,99	15,88	0,11
69	0,0	2,2	26,2	71,6	20,01	17,21	2,8
70	0,0	40,0	0,0	60,0	10,40	11,85	-1,45
71	0,0	70,0	0,0	30,0	8,99	11,62	-2,63
72	50,0	0,0	10,0	40,0	8,49	8,20	0,29
73	40,0	0,0	40,0	20,0	10,62	9,88	0,74
74	50,0	0,0	0,0	50,0	10,22	12,50	-2,28
75	0,0	50,0	0,0	50,0	11,72	11,40	0,32
76	0,0	0,0	50,0	50,0	11,36	15,67	-4,31
77	0,0	50,0	50,0	0,0	10,19	10,97	-0,78
78	0,0	0,0	30,0	70,0	15,61	16,39	-0,78
79	70,0	0,0	10,0	20,0	10,45	8,90	1,55
80	60,0	5,0	30,0	5,0	8,67	11,38	-2,71
81	30,0	40,0	0,0	30,0	13,48	9,30	4,18
82	20,0	40,0	0,0	40,0	11,23	9,37	1,86
83	40,0	0,0	0,0	60,0	13,44	13,34	0,1
84	5,0	0,0	10,0	85,0	14,54	13,87	0,67
85	0,0	15,0	30,0	55,0	13,85	15,18	-1,33
86	0,0	0,0	50,0	50,0	18,10	15,67	2,43

87	0,0	50,0	25,0	25,0	16,56	12,94	3,62
88	100,0	0,0	0,0	0,0	18,04	14,52	3,52
89	100,0	0,0	0,0	0,0	17,04	14,52	2,52
90	100,0	0,0	0,0	0,0	13,00	14,52	-1,52
91	100,0	0,0	0,0	0,0	12,13	14,52	-2,39
92	100,0	0,0	0,0	0,0	13,53	14,52	-0,99
93	100,0	0,0	0,0	0,0	14,83	14,52	0,31
94	0,0	100,0	0,0	0,0	17,82	19,14	-1,32
95	0,0	100,0	0,0	0,0	19,68	19,14	0,54
96	0,0	100,0	0,0	0,0	19,44	19,14	0,3
97	0,0	100,0	0,0	0,0	20,20	19,14	1,06
98	0,0	100,0	0,0	0,0	18,67	19,14	-0,47
99	0,0	100,0	0,0	0,0	21,42	19,14	2,28
100	0,0	0,0	100,0	0,0	22,88	20,44	2,44
101	0,0	0,0	100,0	0,0	22,84	20,44	2,4
102	0,0	0,0	100,0	0,0	16,76	20,44	-3,68
103	0,0	0,0	0,0	100,0	17,28	21,80	-4,52
104	0,0	0,0	0,0	100,0	26,04	21,80	4,24
105	0,0	0,0	0,0	100,0	24,13	21,80	2,33
106	0,0	0,0	0,0	100,0	21,92	21,80	0,12
107	0,0	0,0	0,0	100,0	22,36	21,80	0,56
108	0,0	0,0	0,0	100,0	25,17	21,80	3,37
109	0,0	0,0	0,0	100,0	17,63	21,80	-4,17
110	0,0	0,0	0,0	100,0	24,15	21,80	2,35
111	0,0	0,0	0,0	100,0	17,01	21,80	-4,79

Si se observa la tabla 1, columna 1, los datos tabulados desde el número de orden 88-111 no solo entregan información de la impregnación, sino que además permiten tener una medida del error experimental el cual se relaciona con la variación de observaciones de impregnación para las mismas distribuciones de tamaño X1-X4. Los tamices al ubicarse en rangos dentro de los cuales existen distribuciones de tamaño es evidente que puede haber variaciones de tamaño en esas distribuciones lo que asegura que los valores de impregnación tengan rangos de validez y no exista un valor único, esto se aprecia en los datos de la tabla 1 entre los valores 88-93 (error relativo máximo de 20%), 94-99 (error relativo máximo de 11%), 100-102 (error relativo máximo de 26%), 106-111 (error relativo máximo de 28%). Se estima que el error relativo experimental máximo que se comete es del orden de 28%.

Se genera a partir de los datos de la tabla 1 una correlación matemática que calcula la impregnación I_m en función de x_1 - x_4 :

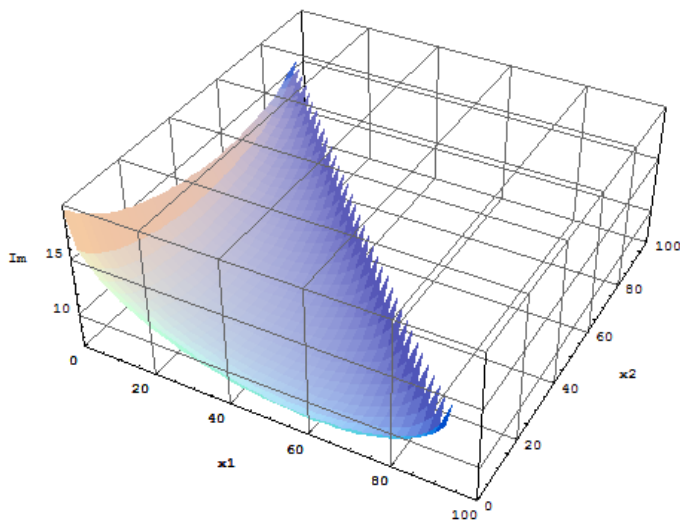
$$\begin{aligned}
 I_m[x_1, x_2, x_3, x_4] = & 100 - 0,854795 * x_1 - 0,808586 * x_2 - 0,086391 * \sqrt{x_1 * x_2} - \\
 & 0,795545 * x_3 + 0,060520 * \sqrt{x_1 * x_3} - 0,176378 * \sqrt{x_2 * x_3} - 0,031152 * \sqrt[3]{x_1 * x_2 * x_3} \\
 & - 0,782002 * x_4 - 0,113159 * \sqrt{x_1 * x_4} - 0,181484 * \sqrt{x_2 * x_4} + 0,027089 * \sqrt[3]{x_1 * x_2 * x_4} \\
 & - 0,109145 * \sqrt{x_3 * x_4} - 0,144723 * \sqrt[3]{x_1 * x_3 * x_4} + 0,259968 * \sqrt[3]{x_2 * x_3 * x_4}
 \end{aligned}$$

La función anterior tiene 14 parámetros ajustados y considera un valor 100 en el caso que no existan sales, o sea $x_1=x_2=x_3=x_4=0$ (un valor hipotético, que en la práctica no existe). Si se observa la expresión todas las

variables, sean lineales o no tienen igual peso, por lo que puede observarse el “peso” de cada término. En la tabla 1 se proyecta la columna con el resultado $Im[x_1, x_2, x_3, x_4]$ y la variación entre el resultado teórico y experimental, punto a punto. Se observa una varianza 2,85 entre Impregnación teórica y experimental.

La función anterior permite generar curvas de nivel para la impregnación, generando gráficos 3D (ver figura 1). El sistema requiere ingresar x_1, x_2, x_3 , ya que x_4 es una variable que depende de las tres anteriores ($x_4 = 100 - (x_1 + x_2 + x_3)$)

Figura 1: Ejemplo de curva de nivel $x_3 = 5\%$:



Del mismo modo es posible tabular todas las posibilidades de la función de manera de registrar el valor máximo y mínimo. La función siempre tiene sentido físico y sus valores son reales si se usan valores de x_1 - x_4 que satisfacen las restricciones del problema.

Se puede intentar buscar el mínimo y máximo teórico de impregnación y se observa los resultados siguientes:

Se observa un mínimo en $(x_1=41, x_2=13, x_3=11, x_4=35)$ con impregnación de 7,26%

y un máximo en $(x_1=0, x_2=0, x_3=0, x_4=100)$, con impregnación de 21.80 %

El resultado relativo al máximo es esperable ya que las partículas más finas tienen la mayor área específica y se entiende que tienen la posibilidad de capturar más salmuera.

El mínimo se observa con una distribución de tamaños que favorece a cristales de mayor tamaño, sin embargo, para la función reportada no se logra en la distribución de máximo tamaño, tamices (100,0,0,0). En su lugar obedece a los reportes experimentales. Los datos experimentales se mueven en un rango de valores de impregnación post drenado de 7,66 - 26,04 lo que indicaría que los rangos experimentales y de la función respetan los órdenes de magnitud. Esto también se observa punto a punto si se observan las últimas tres columnas de la tabla 1.

4.- Conclusiones.

Se genera una función analítica, no lineal, con errores relativos máximos de predicción de 28%. El ajuste es de 14 parámetros, a partir de 111 puntos experimentales. La función permite una rápida estimación de impregnación post drenado de la salmuera saturada en la sal de Halita, a partir de cuatro rangos de tamices de tamaños (a partir de tamices #8, #20, #40, #70, #-70) y su distribución másica porcentual (en base seca). El ajuste permite acotar los errores de impregnación post drenado y es un aporte para realizar balances de masa en pozas de evaporación solar que presentan sales de Halita en su ruta de evaporación. Los valores de Impregnación post drenado experimentales se mueven en el rango de 7,66- 26,04 y los de la función entre 7,23 – 21,80.

5.- Discusiones.

Evidentemente considerando mayor cantidad de mallas de tamices, el error experimental se reduce, pero la cantidad de experimentos crece en forma apreciable. Esto también podría mejorar el ajuste de la correlación. Los valores mínimo y máximo solo son referenciales y dado el error máximo en un 30% que se les atribuye a estas estimaciones los mínimos y máximos pueden variar. Se esperaría que el mínimo de impregnación esté en $X_1=100\%$ y el máximo en $X_4=100$, sin embargo, los datos experimentales señalan en el caso de mínimo otro resultado. La interpretación de este resultado no es clara.

Si se observa los rangos de tamices, cada uno al 100%, y su impregnación post filtrado resultante, tienen la tendencia:

$X_1(\text{Im: } 14,52) < X_2(\text{Im: } 19,14) < X_3(\text{Im: } 20,44) < X_4(\text{Im: } 21,8)$ lo cual es esperable si se piensa en área específica de ellos. Sin embargo, combinados (acoplados hay resultados no esperados) logrando impregnaciones más bajas que X_1 al 100% (experimental de 7,66 y de la función en 7,23)- Esto indicaría que existe un factor o factores adicionales al área superficial que son variables de este problema, de modo que no solo el área específica determina la impregnación post drenado.

6.- Referencias

- [1] "Formation and Chemical evolution of magnesium chloride brines by evaporate dissolution process", R.Krupp, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol 69, N°17, 4283-4299, 2005.
- [2] *Handbook of lithium and natural calcium chloride, their deposits, processing, uses and properties*", D.E. Garret, Elsevier, part I, 2004 , ISBN: 978-0-12-276152-2.
- [3] "General prediction of median cristal sizes", A. Mersmann et al., *Sep. Technol.*, vol2, Elsevier, , abril, pag 85-97, 1992
- [4] "Crystallization and precipitation", A. Mersmann, *Chemical Engininnering and Processing* 38, Elsevier, 345-353, 1999
- [5] "Computer simulation of the performance of a solar pond in the Southern part of Iran", A. Aliakbar and G. Ahmadi, *Solar Energy*, vol 24, Pergamon press, 143-151, 1980.
- [6] "Solar Evaporation of Salt Brines", M.R. Bloch et al., *Industrial Engineering Chemistry*, vol 43,7, 1544-1553, 1951.

[7] "Parameters Influencing the mean particle size of a Crystalline product", A. Mersmann et al., Chem. Eng. Technol., 12, 414-419, 1989.

[8] "Crystallization of potash", D.E.Garret, Chem. Eng. Progress, vol 59, 10, 59-64, 1963.