UNIVERSIDAD MAYOR FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE HUMEDAD E IMPREGNACIÓN EN MEDIOS GRANULARES

Proyecto de Título para Optar al Grado de Ingeniero Industrial

SUN IL KIM PATRICIO OLIVARES VERGARA

SANTIAGO DE CHILE NOVIEMBRE 2012

UNIVERSIDAD MAYOR FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE HUMEDAD E IMPREGNACIÓN EN MEDIOS GRANULARES

Proyecto de Título para Optar al Grado de Ingeniero Industrial

Alumnos:

Sun iL Kim Patricio Olivares Vergara

Profesor Guía:

Andrés Soto Bubert Dr. en Cs de la Ingeniería, Mención Cs de los materiales

SANTIAGO DE CHILE NOVIEMBRE 2012

AGRADECIMIENTOS

Sun IIK im

Agradecimiento a quienes me han apoyado durante este proceso, en especial a mis padres por estar siempre presente con sus consejos y motivaciones.

Gracias.

Patricio Olivares

Ante todo, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de estudiar y haber logrado con éxito esta etapa de mi vida.

Ratifico la gratitud a mis padres Patricio Olivares y Vivianna Vergara, que han estado conmigo durante todo este proceso educativo y que gracias a sus motivaciones y sacrificios, he finalizado satisfactoriamente.

No puedo dejar de mencionar el apoyo incondicional de mi hermano Andrés Olivares, que durante este tiempo fue parte importante con sus conocimientos y buena voluntad siempre que lo necesite.

Finalmente quiero reconocer a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este estudio, en especial a mis tíos y al Dr. Andrés Soto, quien siendo nuestro Profesor Guía, nos orientó en todo momento ante las dudas que se presentaban.

Muchas gracias por todo.

INDICE

ΑG	RADECIMIENTOS	3
RES	SUMEN	6
CA	PITULO I	7
	INTRODUCCION	7
	1.1 Tipos de pozas solares	7
	1.1.1 Salt Gradient Solar Ponds (SGSP):	7
	1.1.2 The Honey-Comb Solar Ponds:	7
	1.1.3 The Shallow Ponds:	8
	1.1.4 Stratified Solar Ponds	8
	1.2 Estudios realizados en pozas solares	8
	1.2.1 Teoría de SGSP:	8
	1.2.2 Pozas de Fondo Negro:	8
	1.3 Zonas en una poza solar	9
	1.3.1 UCZ:	10
	1.3.2 NCZ:	11
	1.3.3 LCZ:	12
	1.4 Características o factores que hacen una poza diferente a las demás	13
	1.4.1 Pozas de Fondo Blanco:	13
	1.5 Consideraciones Técnicas al problema térmico de pozas:	14
	1.5.1 Efecto de los Suelos:	14
	1.5.2 Turbiedad:	14
	1.5.3 Vientos y Olas:	15
	1.5.4 Alturas de Poza:	15
	1.5.5 Radiación Solar:	16
	1.6 Otros estudios relativos a pozas.	16

1.7 SALARES	18
1.7.1 Salar de Atacama	20
1.7.2 La formación del salar de Atacama	21
1.8 ANTECEDENTES GENERALES Y DE CONTEXTO	25
CAPITULO II	30
OBJETIVOS	30
2.1 Objetivo General:	30
2.2 Objetivo Específicos:	30
CAPITULO III	31
MONTAJE DEL LABORATORIO	31
3.2 Procedimiento de experimentación	34
CAPITULO IV	45
EXPERIMENTO DE CALIBRACION Y MARCHA BLANCA	45
CAPITULO V	57
AJUSTE MATEMATICO	57
5.1 Gráficos de los resultados de impregnación en medios granulares e impregnación.	
CAPITULO VI	71
CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS	73
Referencias Bibliográficas	73
Fuentes de imágenes desde la Red	77
Fuentes de las tablas	77
Fuentes de los Anexos	77

RESUMEN

En Chile existen empresas mineras que tienen un complicado problema para cuantificar y separar ciertas fracciones de sólidos y líquidos presentes en sistemas de pozas solares que están constituidas por salmueras que precipitan sales de forma selectiva usando precipitación fraccionada, por medio de pozas en serie. Uno de los desafíos de estos sistemas son los balances de masa al interior de estas pozas, dado que no es fácil cuantificar la fracción de líquido y sólido presentes en cada instante de tiempo. A la hora de cosechar la sal el problema adquiere relevancia, dado que las sal mueras impregnadas en las sales afectan la ley de minerales y por lo tanto su estimación permite un mejor cálculo de inventarios.

Representar la fracción másica de salmuera saturada que es retenida por un sólido, resulta un reto. El trabajo que se propone realizar tiene dos temas a considerar: una componente experimental y otra de carácter teórico que dice relación a un ajuste matemático que interprete los experimentos realizados. La experiencia a escala de laboratorio consiste en Halita (NaCl, grado técnico) y salmuera saturada a partir de la misma sal, la cual es impregnada, simulando el piso de una poza, a temperatura ambiente y un atmosfera de presión. Se calculan distintos valores de impregnación (en fracción másica), en distintas rangos de tamaños (desde malla #8 a #-70) de sales reuniendo más de 100 experimentos. Los rangos de tamaño consisten en cuatro rangos: a) #-8-#20; b) #-20-#40; c) #-40-#70 y d) #70-#-70. El ajuste matemático consiste en la obtención de una correlación entre los cuatro rangos de tamaño señalados y la impregnación. El ajuste es una correlación no lineal obtenida por medio del software MATHEMATICA.

La funcional se obtiene de manera razonable, ya que representa valores que tienen una realidad física. El error promedio de pronóstico de la correlación es de 17,7% respecto al dato experimental y con errores máximos y mínimos de 91,2% y 0,1% respectivamente.

Debe entenderse que es 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 habituales de 300%).

CAPITULO I

INTRODUCCION

La atención mundial que han ocasionado las pozas solares en estas últimas décadas, se debe a los bajos costos de operación y construcción, además de las bajas temperaturas que estás necesitan para almacenar grandes cantidades de energía. Gracias a estos dos aspectos, es que la agricultura y muy especialmente la industria, hoy en día tienen en punto de mira a estas. Por otra parte, la necesidad de grandes extensiones de terreno y climas exclusivamente áridos son parte de las desventajas de estas. Una poza solar natural o artificial es un colector de energía solar. Industrialmente se entiende como un sistema de almacenamiento energético en forma de calor [1]. Estudios han estimado que 1 km² de poza solar, cada año, es equivalente en términos energéticos a 43000Ton de petróleo [2].

1.1 Tipos de pozas solares.

Actualmente existen 4 tipos de pozas solares:

1.1.1 Salt Gradient Solar Ponds (SGSP): "Pozas Solares de Gradiente Salino". Estas pueden clasificarse como Naturales y/o Artificiales. Naturalmente, son comunes las producidas por aguas marinas en arrecifes. Artificialmente, son construidas para la producción de sales. Sus características corresponden a pozas de salmuera, de la cual, la evaporación es el principal objetivo. Últimamente el almacenamiento energético en estas pozas, ha pasado a ser de gran importancia entre los grupos de investigación.

1.1.2 The Honey-Comb Solar Ponds: "Pozas Solares seccionadas como Panal de abejas". Pozas Artificiales, con las mismas características de una SGSP, con la diferencia de poseer una superficie seccionada en zonas hexagonales y comúnmente encapsuladas en una película de vidrio y/o teflón [3]. Su finalidad concierne el almacenamiento energético en pozas, evitando la evaporación de estas, aumentando casi el doble el almacenamiento térmico de una SGSP ordinaria [4].

1.1.3 The Shallow Ponds: "Pozas Superficiales". Pozas de origen natural o artificial, corresponden a pozas muy poco profundas, de 2 a 15cm, su principal utilidad erradica en suministro de aguas calientes para el uso industrial [6].

1.1.4 Stratified Solar Ponds: "Pozas Solares Estratificadas". Pozas artificiales, con las mismas características de una SGSP, con la diferencia de poseer una superficie recubierta superiormente por una membrana estratificada, esta membrana tiene la función de anular la convección superior generada en las pozas, generando un mayor almacenamiento energético y una menor evaporación [6].

1.2 Estudios realizados en pozas solares

1.2.1 Teoría de SGSP:

El fenómeno de mayor interés a estudiar en estas pozas, corresponde a analizar la capacidad de almacenamiento energético que estas tienen, debido a la radiación solar que reciben a lo largo del día. Parámetros como alturas de pozas, densidades de salmueras, humedad relativa, tensión superficial, presión de vapor en la superficie, velocidad del viento y otras variables de las que se hablará más adelante, son de fundamental importancia para llegar a tener una concepción amplia al respecto.

1.2.2 Pozas de Fondo Negro:

La teoría utilizada por excelencia en todos los estudios realizados a partir de 1974 a la fecha, corresponde a que este tipo de pozas que es posible de separar en tres zonas [7]. Una zona convectiva superior (UCZ: Upper Convective Zone), una zona no convectiva (NCZ: Non-Convective Zone) y una zona convectiva inferior (LCZ: Lower Convective Zone).

En la literatura existen diferentes formas para nombrar a estas 3 zonas, únicamente para evitar confusiones en una futura lectura de otros informes, se dará un set de las otras nomenclaturas más utilizadas.

UCZ: TCZ (Top Convective Zone; "Zona Convectiva de la Cima"), TFW (Thin Fresh Water; "Agua Fresca Delgada"), SZ (Surface Zone; "Zona Superficial").

NCZ: SGZ (Salt Gradient Zone; "Zona del Gradiente Salino"), IL (Insulating Layer; "Capa Aislante"), DGZ (Density Gradient Zone; "Zona de Gradiente de Densidad").

LCZ: BCZ (Bottom Convective Zone; "Zona Convectiva del Fondo"), CZ (Convection Zone; "Zona Convectiva"), SZ (Storage Zone; "Zona de Almacenaje"). [7-9].

La nomenclatura que se utilizará de aquí en adelante es la mencionada al comienzo de esta sección (UCZ, NCZ, LCZ).

1.3 Zonas en una poza solar

La relevancia que los papeles de estas tres zonas juegan en los fenómenos físicos que ocurren en éstas, es de gran importancia.

Estudios realizados con agua salina de una densidad de 1185Kg/m³, en una poza de 4m² y un fondo negro de 1.5m de profundidad, confirman la existencia un gradiente de temperatura y un gradiente de densidad a medida que uno se sumerge a lo alto de las pozas solares [8], otras pruebas a escala de laboratorio realizadas en pozas de 4 m² y un fondo negro de 1.1m de profundidad, afirman la existencia de estas tres zonas, dando acuciosos detalles del gradiente de temperatura [10].

Autores que han trabajado en pozas de tamaños de 2000m² y 0.25m de profundidad, han aseverado la presencia de estas tres zonas, en un rango de validez de velocidades del viento de entre 2.86 m/s a 6.68 m/s [11].

Estos 2 gradientes están estrictamente relacionados, y además los estudios demuestran, que son estos gradientes, los que definen y diferencian cada una de estas 3 zonas, se sabe que la UCZ y la LCZ poseen temperaturas y densidades uniformes, [4, 7, 9, 12, 13], por lo que teóricamente, no existen gradientes en estas zonas, pero en la NCZ es donde existen ambos gradientes y donde su presencia es de vital importancia. Ambos gradientes son ilustrados en la figura 1.

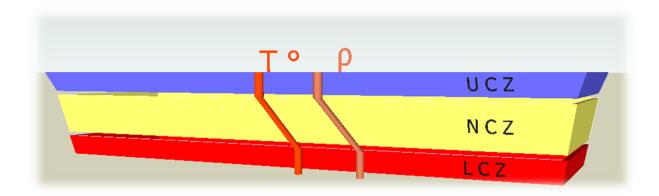


Figura 1: Perfiles de Temperatura y Densidad a lo alto de una poza solar.

1.3.1 UCZ:

Corresponde a la primera zona convectiva de la poza por donde pasa la radiación solar. Teóricamente esta primera zona es una zona de agua fresca o de baja densidad salina, esta zona (al igual que la LCZ) se caracteriza por tener temperatura y concentraciones de sales uniformes [4].

Aproximadamente el 45% de la radiación solar entrante a la poza es absorbida en esta zona, mientras que el 55% restante es perdida por reflexión [4].

Es por esto que muchos estudios se centran en disminuir el grosor de esta zona [14], con el objetivo de lograr mayores almacenamientos energéticos en las pozas, como por ejemplo con el uso de anillos flotantes [12] y así obtener una absorción mayor de radiación solar hacia las zonas posteriores, lo que incrementa en términos globales el gradiente de temperatura en la poza, provocando un mayor almacenamiento térmico. Algunos estudios avalan esto último, asegurando que para UCZ muy anchas, se reduce la cantidad de radiación solar que alcanza a la LCZ [4].

Estudios realizados en la Universidad de Melbourne, con una poza de superficie de 10m² y un fondo negro de 0.6m de profundidad, sometida a un viento de 10 m/s, determinaron que grosor de esta zona puede variar de 10cm a 15cm entre la noche y el día [12].

El fenómeno convectivo de esta zona se debe básicamente al gradiente de temperatura y densidad que existe en la NCZ, las partículas de la parte inferior de la UCZ son calentadas en la interface con la NCZ. Estas partículas al calentarse provocan un flujo reverso en esta parte inferior, lo que mueve las partículas a la parte superior de la UCZ provocando la uniformidad de temperatura y densidad en esta zona.

La turbiedad en esta zona es considerada constante ya que es una zona de mezcla [15].

En esta zona existe la interface líquido-vapor, es decir, en esta zona se encuentra la forma más directa que tiene la poza para comunicarse con el medio ambiente, es aquí donde ocurre la evaporación y donde el viento es capaz de generar mezcla en parte de la poza, esta mezcla depende de la altura de la poza y de la velocidad del viento que se encuentre afrontando la poza en aquel instante [12].

Aunque es cierto que muchos estudios intentan disminuir el grosor de esta zona, con el objetivo de obtener mayores almacenamientos de calor en las pozas, se ha comprobado que un grosor de por lo menos 0.1m - 0.2m es inevitable en una poza experimental de 10 m² de superficie y 0.6m de profundidad [9, 12].

En un análisis realizado en una poza de laboratorio (2 m² de superficie y 1m de profundidad, utilizando salmuera) por ArabPotash Co. se determina que la temperatura correspondiente a esta zona, generalmente debe ser 2°C o 3°C menor a la temperatura ambiental. Este fenómeno, se observa tanto en las mediciones de día como de noche. Investigadores afirman, que esta diferencia de temperatura se puede atribuir al enfriamiento que provoca la evaporación en la superficie de esta zona [1].

1.3.2 NCZ:

Esta zona, se destaca exclusivamente de las otras dos, por su carácter no convectivo que hace posible la existencia de gradientes de temperatura y densidades a lo largo de ella. Esta zona corresponde a salmuera saturada, la cual actúa como un aislante térmico que previene las pérdidas de calor por convección que podría producirse desde la LCZ, esta convección es suprimida por el gradiente de densidades existente en esta zona [1].

Es importante tener presente, que no porque se le llame una zona aislante, significa que no exista transferencia de calor a través de ella, es más, en esta zona también existen pérdidas de calor, estas pérdidas de calor son debidas a un fenómeno conductivo [7].

Es natural pensar que la radiación es solamente absorbida en las zonas convectivas (que es precisamente donde se desea que ocurra), también a lo largo de la NCZ ocurre una leve absorción de esta radiación que pasa a transformase en calor [7].

Dependiendo del grosor de la NCZ cerca del 15-25% de la radiación solar que penetra en la UCZ es absorbida en la NCZ [4].

El grosor de esta zona es sumamente importante, ya que cuando este aumenta, la temperatura de la UCZ y de la LCZ también aumenta. Esto significa que el perfil de temperatura de la poza en su totalidad aumenta, es decir, el almacenaje de calor en la poza es mayor, lo que en un contexto global significa mayor rendimiento de la poza. [4, 16].

Una forma de lograr aumentos en el ancho de la NCZ y de al mismo tiempo, disminuir el de las UCZ y LCZ, corresponde simplemente a elevar la concentración de las sales en la salmuera [17].

Factores como el viento, la evaporación y la forma de abastecer de agua la poza, son los principales en determinar si la NCZ crece o decrece [1].

1.3.3 LCZ:

Corresponde a la segunda y última zona convectiva de la poza por donde pasa la radiación solar. Al tratarse de un fondo negro [18], como la teoría lo indica, esta zona es también conocida como "Storage Zone", es decir, zona de almacenamiento, ya que las mayores cantidades de calor de la poza son almacenadas en esta zona. En esta zona es donde se absorbe entre el 20-30% de la radiación solar que incide en la poza, con esta energía y por medio de convección, es lo que hace posible que la temperatura se mantenga constante a lo largo de toda esta zona [7]. Además de poseer temperatura uniforme, en la LCZ es la zona en que en promedio, se alcanzan las máximas temperaturas a lo largo de toda la poza, esto se atribuye a las altas concentraciones de sales que posee la LCZ, caracterizándose por ser una zona sobresaturada [1].

Las únicas salidas que experimenta este calor en esta zona, corresponden a la transferencia de calor por medio de conducción térmica, hacia el fondo de la poza, a las paredes y por último hacia la NCZ [7].

La turbiedad en esta zona (al igual que en la UCZ) es considerada constante ya que es una zona de mezcla [15]. Al ser un foco de almacenaje energético y proveedor de calor a la poza, le da un papel fundamental al momento de mejorar eficiencias térmicas. Cuando se piensa en el diseño de SGSP pequeñas, en donde la pérdida de calor por las murallas y el fondo es sumamente relevante, existen propuestas como utilizar carpetas aislantes de estireno, en el fondo o en las murallas, con el fin de evitar pérdidas de calor hacia esas direcciones.

Finalmente, hay una tendencia a cometer el error de pensar que el grosor de esta zona debe ser grande para almacenar mayor energía. Estudios demuestran que se llega a un punto, para el cual entre más gruesa es la LCZ, menor temperatura esta zona posee [14, 16].

1.4 Características o factores que hacen una poza diferente a las demás.

1.4.1 Pozas de Fondo Blanco:

Se sabe que los fondos blancos son capaces de reflejar entre un 20%-30% [19] de la radiación solar que logra penetrar la capa líquida (del correspondiente 45% entrante en la UCZ). En la industria se han intentado diversas formas de paliar esto, la más popular de todas corresponde al uso del Verde Naftol, el cual añadido en proporciones de 5[gr/m^3] provoca que un 15%-20% de la energía a haber sido reflejada y perdida, sea retenida y utilizada en aumentar las tasas de evaporación, en aproximadamente las mismas proporciones, por esto grandes concentraciones de este colorante, el cual reduce la reflexión, es relativamente más eficiente [19].

Es importante tener presente que no cualquier químico tendrá el mismo efecto que el Verde Naftol. Se sabe de la existencia de químicos, capaces de disminuir hasta en un 60% las tasas de evaporación [20]. Los más comunes de estos corresponden al octadecil alcohol, óxido de etileno, hexadecanol, ácido oleico, cetil alcohol y el ácido esteárico [21-26]. Es más, también existen colorantes no-tóxicos capaces de disminuir entre un 6% a un 9% las tasas de evaporación [27].

Finalmente es posible aludir que la teoría UCZ-NCZ-LCZ es utilizable para pozas con estos fondos. Ya que al tener fondos blancos (al igual que en fondos negros), se absorbe radiación la cual posteriormente es emitida en forma de calor, el cual también formaría una LCZ. La principal diferencia del fondo blanco, es que refleja gran parte de esta radiación (20-30%), la cual posteriormente escapa de la poza y se pierde. Esto concluye con un menor almacenamiento de calor, lo que probablemente genera una temperatura menor en la LCZ, a la que tendría en un fondo negro. También, no es posible descartar que este menor almacenamiento, finalice generando un grosor de la LCZ menor al que tendría con un fondo negro.

1.5 Consideraciones Técnicas al problema térmico de pozas:

1.5.1 Efecto de los Suelos:

Diversos autores aseveran que el almacenamiento de calor en los fondos de las pozas solares, es de trascendental importancia. Para fondos negros se dice que el 6% de la radiación solar total incidente en la poza, se pierde en forma de calor hacia los suelos de estas [14]. Este 6% resulta bastante influyente, pensando que solamente un 32% de la radiación total incidente en la poza, es utilizado en la evaporación de la salmuera [14].

Otros autores concluyen que precisamente, esta es la razón por la cual las pozas solares no pueden operar en estado estacionario, ya que existen periodos de tiempo en los cuales se aprecia que el flujo de calor fluye a la inversa, es decir, fluye desde el suelo hacia la poza [13]. Estos autores, no establecen si estos períodos de tiempo corresponden únicamente a la noche o el día, pero resulta interesante que el análisis de gradientes de temperaturas entre la noche y el día presenta inversiones, lo que puede ser justificado por este último fenómeno.

La teoría de cuerpos negros, dice que para cuerpos opacos existe muy poca transmitancia, en el caso de fondos blancos esto resulta bastante interesante ya que existe la posibilidad que la transmitancia asociada a este fondo blanco, sea mayor a que si este fuese un fondo negro [28], lo que ayuda a explicar un mayor flujo calórico hacia el suelo en fondos blancos, que en fondos negros.

1.5.2 Turbiedad:

La literatura ha indicado que la turbiedad resulta ser una variable bastante sensible. Anteriormente se explica la importancia de mantener una película de agua fresca en la UCZ, con el objetico de no bloquear el trayecto de la radiación hacia el fondo de la poza. Altos niveles de turbiedad provocan mayor reflexividad en el fondo de la poza, lo que causa pérdida de una fracción de la radiación incidente en ésta. De esta manera disminuye la radiación que alcanza la LCZ [15].

Por otro lado, la misma turbiedad es la que previene la pérdida de radiación reflejada desde el fondo de la poza. Por esto, también resulta un efecto negativo, el trabajar con bajos niveles de turbiedad. Un efecto compensatorio debe ser usado hasta cierto grado, manteniendo la turbiedad acotada dentro de límites, que promuevan un óptimo en el rendimiento de la poza [15, 18].

1.5.3 Vientos y Olas:

Al igual que la turbiedad, los resultados experimentales en esta materia demuestran que los vientos son también una variable muy sensible.

La relación que muestran las tasas de evaporación y las condiciones de olas en las superficies de agua fresca, no son totalmente proporcionales, es decir, grandes olas no siempre van a llevar a grandes tasas de evaporación. Estudios indican que para condiciones de olas muy elevadas, se genera un fenómeno de aire muerto entre las olas, lo que provoca que flujos de aire queden atrapados sobre las olas, esto disminuye el transporte de vapor entre las fases, lo que consecuentemente disminuye las tasas de evaporación [29].

Por otro lado, para condiciones de olas más moderados, se ha concluido que estas sí aumentan las tasas de evaporación. Esto se justifica a que pequeñas olas aumentan el área de transferencia entre la interface, sin provocar estas zonas de aire estanco [30].

Otros estudios realizados en una poza de 2000 m² de superficie y de profundidad de 25cm, han demostrado que en climas secos con velocidades de viento con rango de valides de entre 2.86 m/s y 6.68 m/s, las tasas de evaporación efectivamente aumentan a medida que estas velocidades de viento aumentan [11].

Un último análisis estudiado, en una poza de 25m de profundidad, bajo condiciones de viento de 15m/s, generando olas de amplitud de 6cm. El estudio asevera que el efecto de las olas a lo alto de la poza disminuye exponencialmente y que la mayor parte de la energía de estas olas, es disipada en los primeros 0.4m de profundidad de la poza [12].

Finalmente, se sabe que las olas en condiciones naturales se originan principalmente por vientos. Se ha demostrado que en condiciones de aire seco las tasas de evaporación aumentan considerablemente, al igual que olas leves, son capaces de aumentar la transferencia de masa, cambiando el área de transferencia. El viento seco cambia la humedad relativa del aire, es decir, disminuye la concentración de vapor de agua en la fase de aire cercana a la superficie de la poza, lo que afecta directamente la fuerza motriz de la transferencia de masa, consecuentemente aumentando las tasas de evaporación.

1.5.4 Alturas de Poza:

Estudios realizados en una poza de superficie de 1500 m², han determinado que bajo condiciones climáticas de temperaturas elevadas, la altura óptima para el almacenamiento energético de las SGSP corresponde a 4.1m, correspondiendo 0.6m a la UCZ, 1.5m a la NCZ

y 2m a la LCZ [14]. Se debe tener presente que es el óptimo para un mayor almacenamiento energético, no para lograr mayores tasas de evaporación. Lo anterior puede ser discutido si se contrasta con información de (1.5.5).

1.5.5 Radiación Solar:

La absorción de la radiación solar a lo largo de la poza, es algo recurrente de intentar de entender y modelar. Se dice que la absorción de la radiación que pasa a través de la salmuera, no puede ser descrita por una simple exponencial, ya que la radiación solar corresponde a un espectro de radiación electromagnética con diferentes longitudes de onda. Se debe tener presente, que diferentes longitudes de onda representan diferentes coeficientes de absorción. Las ondas del espectro solar con longitudes de onda corta (cercanas al espectro ultravioleta), son capaces de penetrar varios metros a lo largo de la poza, mientras que las más cercanas al infrarrojo (es decir, con grandes longitudes de onda) son absorbidas en los primeros centímetros o hasta milímetros de profundidad de la poza.

Otros estudios avalan esto, diciendo que en agua pura únicamente el 1-2% de las ondas con longitudes mayores a 0.7µm penetran más allá de 1m, mientras que el 95% de la radiación de entre 0.2 y 0.6 µm es absorbida en fondos de 1m [16]. Se debe tener presente que para salmueras estas ondas debe penetrar en porcentajes aún menores [16].

1.6 Otros estudios relativos a pozas.

En general los estudios de pozas se enfocan a su capacidad de acumular energía solar, realizar balances de masa, Sólido – Liquido - Vapor, caracterizar y simular la composición de sales precipitadas y la distribución de tamaños de cristales por especie generada. Hay bibliografía relevante relativa a tamaño de critales y especies salinas precipitadas, descritas por Mersmamm et al. y otros autores [31-36]. También hay antecedentes de datos fisicoquimicos de sistemas multicomponentes para el sistema Na, K, Mg, Cl en solución, y sus sales derivadas tales Como KCl, NaCl, MgCl2*6H2O y otros. En ellos se observa que la solubiblidad de estas mezclas en el caso NaCl- KCl es practicamente invariante con la temperatura, no así las sales de magnesio quienes se ven afectadas de forma significativa. La solubilidad del sistema salino, NaCl – KCl, en fase acuosa depende de la cantidad másica relativa de ambas sales, siendo más soluble el KCl en general para estos sistemas en estudio

[37,38]. Estos estudios también presentan la posibilidad de visualizar sistemas multicomponentes de fases sólidas por medio de diagramas de fase, que pueden originarse en salmueras sometidas a procesos evaporativos en condiciones normales de presión y a diversas temperaturas (rangos de interés).

El problema de balances de masa, se puede plantaer de forma teórica, pero requiere una contraparte semiempírica de modo de ajustar los modelos y perfeccionarlos. Si se desea estudiar el comportamiento de las fracciones de masas de salmuera impregnada en el piso constituido por la sal precipitada en el fondo de la poza (caso fondo blanco), la bibliografía consultada, no indica antecedentes que aborden este estudio o similares. Este problema es de interés dado que permite una mejor comprensión del sistema térmico de la poza y por otro lado, es un dato relevante en la cosecha de sales, dado que las plantas productivas requieren un inventario de ley y cantidad de potasio contenido en la sal. Si hay una fracción líquida, a la hora de hacer la cosecha (o sea cuando la planta estima toda la salmuera se ha cocido y debe extraerse la sal y bombearse la salmuera remanente a pozas del string), esta cuantificación es bastante inexacta y genera problemas en la producción ya que sobreestima la producción. Además, el contenido de salmuera en este piso, debe tener una consecuencia energética, dado que la salmuera es conductora térmica y no asi la sal [39]

Las plantas productoras de sales cuyo interés es cuantificar ambas fracciones a la hora de cosecha de sal, le interesa conocer la fracción de sal y salmuera presente. Es indeseable salmuera de impregnación ya que en general significa pérdida de ley y/o materia prima, además que ofrece un mayor contenido de impurezas. Este problema posiblemente dependa de los tamaños de cristales (en forma significativa) y de las quimicas de las sales. Los cristales en estudio no son porosos, por lo que el cálculo se simplifica si se estudian sales anhidridas como es el caso de NaCl y KCl. Además se sabe que el tamaño de cristales y la composición de sales están relacionadas [31, 32, 35], por lo que podría estudiarse el problema de distribución de tamaños de cristales y/o rangos de tamaño, como priimer intento en cuantificar estas fracciones másicas de líquido y sólido presentes en una cosecha de una poza, dejando de lado la química en una primera aproximación.

Como primer esfuerzo puede realizarse el intento de simular en escala de laboratorio la impregnación de salmuera saturada, en una sal, seleccionando algunos rangos de tamaño de cristales de interés industrial.Para esto se puede adquirir una sal simple (NaCl, Halita de grado

técnico) y la salmuera saturada formada por sal de la misma especie en solución acuosa. Es deseable tener como condiciones de operación, temperatura constante de habitación de 16 a 18 °C y presión atmosférica. [39]. Una correlación matemática que vincule fracciones de sólido y líquido con rangos de tamaño de cristales parece ser un buen comienzo para estos estudios. Es indiscutible, antes de iniciar un esfuerzo de esta naturaleza, que es natural suponer un error apreciable entre los valores teóricos que pueden generarse y el observable físico de impregnación, pero es un esfuerzo interesante si se considera que en faena estos errores pueden alcanzar valores con errores del 300% con facilidad en las estimaciones y por lo general son números sobre los cuales se conoce poco [39].

1.7 SALARES

Los salares corresponden a cortezas salinas cuyo espesor varía desde pocos centímetros hasta varios metros formadas sobre sedimentos clásticos presentes en cuencas endorreicas (con drenaje hacia su interior) que existen en las regiones áridas de Latinoamérica y Norteamérica. Esto es debido a las altas tasas de evaporación existentes y escasas tasas de precipitaciones regionales [40-42]

Por ejemplo el Salar de atacama tiene una tasa de evaporación de 3.200mm/año y una tasa media de precipitaciones de 15mm/año, de modo que la mayor parte del agua precipitada se evapora y lo mismo ocurre con el agua que aportan los ríos San Pedro (0,9 m³/s), Vilama (0,25 m³/s), Hécar (0,23 m³/s), Socaire (0,15 m³/s), y el Lonas (0,09 m³/s); *BORIC ET AL., 1990*); esto redunda en la precipitación de las sales solubles transportadas por las aguas en las cuencas cerradas y acumulación de aguas salobres o salmueras en sub–superficie (localmente en laguas salobres).

En caso de Latinoamérica algunas de las cuencas endorreicas del Norte Grande del país hospedaban lagos salobres durante las épocas glaciales del Pleistoceno cuando las precipitaciones sobre todo en la Cordillera Principal deben haber sido mayores que las actuales. Por ejemplo Brüggen (1950) denomino Lago soledad a lo que fue un gran lago salobre cuya desecación formo el Salar de Lamara en la Región de Tarapacá.

Las costras salinas de los salares chilenos presentan, en general, superficie muy rugosas irregulares y de coloración marrón o pardo debido al polvo que es atrapado por las sales hidroscopias de las duras costras; las rugosidades de las costras salinas varían desde algunos

centímetros, hasta más de medio metro de altura dificultando significativamente el tránsito en ellos, sólo los salares que reciben lluvias estacionales, como es el caso de los salares en la zona volcánica (salares andinos) y por ejemplo en el gran Salar de Uyuni en Bolivia presentan costras salinas blancas, lisas y regulares debido a que regularmente se disuelven las sales superficiales.

Los salares contiene una gran variedad de depósitos salinos de interés económico incluyendo carbonatos, sulfatos, cloruros y boratos. Por ejemplo el Salar Grande en la cordillera de la Costa al Sur de Iquique presenta extensos depósitos de 99% NaCl (sal común) en una cuenca de 50 km de largo N-S y 5-8 km de ancho, perforaciones hechas en este salar indican que los depósitos salinos alcanzan hasta 162m de potencia; el Salar grande es la mayor fuente de sal común para el consumo interno y para la exportación a Norteamérica (se usa para derretir el hielo en las calles durante el invierno) y Japón.

Las sales tienen una zonación en los salares que está determinada por la solubilidad de las mismas, idealmente las menos solubles se depositan en los bordes del salar y las más solubles hacia su centro; aunque si la cuenca especifica es asimétrica las sales más solubles se depositan en la parte más profunda de la cuenca, que puede corresponder a un borde del salar.

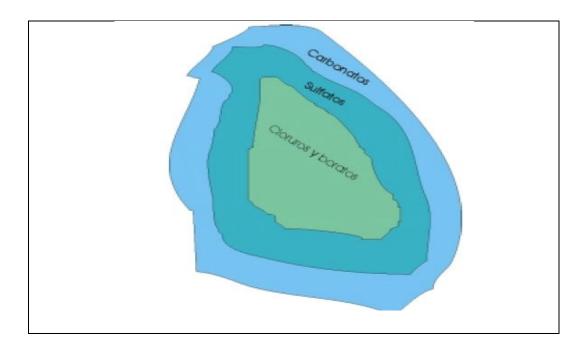


Figura 2: Se puede apreciar las diferentes concentraciones existentes en un salar.

Zonación típica en los depósitos salinos en los salares, Las sales más solubles (cloruros y boratos) se depositan en la parte más profunda de la cuenca, seguidas de los sulfatos y de los carbonatos; Estos últimos por ser menos solubles son los primeros en precipitar. Las condiciones locales de las cuencas pueden modificar la distribución de sales, pero las más solubles se depositaran siempre en la porción más profunda.

Además de los depósitos salinos los salares pueden contener salmueras de interés económico; por ejemplo de las salmueras del Salar de Atacama se extrae:

- Cloruro de potasio (utilizado para la producción de nitrato de potasio)
- Ácido bórico
- Sulfato de potasio
- Cloruro de magnesio.

1.7.1 Salar de Atacama

comercial.

El salar de Atacama es el mayor Deposito salino de chile, posee una superficie de 3000 km² y está formada en una cuenca cerrada de evaporación, entre las cordillera de Los Andes y de Domeyko. [40-42]

Situación geográfica: Ocupa la parte centro-oriente de la II Región, con una altura mínima de 2300 metros sobre el nivel del mar.

La hoya Hidrográfica del salar es alargada en sentido de norte a sur, disimétrica y de aproximadamente 200 km de largo por 100 km de ancho. Se puede definir como la unidad geomorfológica dinámica, condicionada por variaciones climáticas, evaporación, precipitación, escurrimientos superficiales, variaciones en el nivel de agua subterránea y de posición eólica. El cuerpo central se denomina "núcleo", ocupa aproximadamente 1400 km² y constituye el área de mayor concentración de salmuera ocluidas dentro de una masa salina-porosa, formada principalmente por cloruro de sodio. Este Núcleo constituye el área de mayor importación

1.7.2 La formación del salar de Atacama

La formación del salar de Atacama obedecería a varios procesos que están bien resumidos en el libro del Dr. Gustavo Lagos, "EL LITIO un nuevo recurso para chile" (pág. 214-215).

Textualmente dice:

"De acuerdo a los antecedentes presentados. Se desprende que la formación del salar obedecería a varios procesos.

- A. La formación del núcleo sólido de menor permeabilidad, constituido principalmente por cristales de NaCl (espesos de 600 m) no puede ser explicado considerando el mismo periodo de acumulación que para el Litio, ya se vio que de acuerdo a los cálculos realizados. Para precipitar todo el NaCl existente en el Salar, se necesita casi cincuenta veces más tiempo que el necesario para concentrar el Li. Se observa además, que el tiempo necesario para concentrar el Li, es el suficiente para concentrar el NaCl en las salmueras y precipitados cristalinos del horizonte más permeable del salar estimado en 15m de espesor promedio.
- B. Aportes subterráneos y superficiales llegaron al salar por los sectores norte, este y sureste, los cuales habrían sido los que aportaron las sales de K, Li, etc. De origen principalmente volcánica y que en general dieron la composición principal de las salmueras presentes en el salar. Se puede ver en el plano de razones K/Li que el mayor aporte de Li, proviene del sector noreste entre San Pedro y Tambillos. Al parecer en San Pedro, no aportaría concentraciones importantes de este elemento, siendo su aporte más relevante en las concentraciones de K, SO₄ y Mg.
- C. El salar de Atacama se originó a lo menos en dos etapas:
 - 1. Formación de una laguna, como consecuencia de los deshielos del Mindel-Riss o RissWurm (por su mayor duración parece más probable el Mindel-riss).
 - En tanto que las desglaciaciones del Gunz-Mindel, serían las responsables de los depósitos calizos de la formación el Tambo. El tiempo necesario para la acumulación de las sales y salmueras del núcleo de menor permeabilidad (considerando la misma composición actual de las aguas, y la misma tasa de

evaporación actual, que corresponde al de un periodo interglaciar frio como el del Mindel - Riss), sería como mínimo del orden de los 250.000 años. (La duración del periodo interglaciar Mindel-Riss es mayor de los 300.000 años) La recarga entregada por la fusión de los hielos se realizó a través de cauces superficiales y aguas subterráneas, cuando los glaciares se fundieron, la recarga subterránea con grandes caudales persistió por mucho tiempo asegurando el abastecimiento a la cuenca, hasta que los volúmenes evaporados que excedían cada vez más la recarga, terminaron por secar la laguna dejando un núcleo central de NaCl, de gran espesor, saturado con salmueras y rodeado de sulfatos y menor cantidad de carbonatos.

2. El núcleo superior de mayor permeabilidad y potencia comprendida entre 30 y 15 m, se habría formado en la última etapa como consecuencia de los deshielos del periodo post-Wurm, dejando como resultado las salmueras ahora presentes en el nivel, necesitando de un tiempo de 5.160 a 10.320 años, la primera cifra es considerando un espesor promedio de 15m. La duración 5-160 años, coincidiría con el tiempo necesario para concentrar el Li de las salmueras encontrándose además, dentro del lapso de duración del último periodo interglaciar, que lleva 25.000 años de duración."

Tabla N°1. Composición química de salmueras (Porcentaje peso)

Elemento	Salar de atacama
Na	7,600
K	1,850
Mg	0,960
Li	0,150
Ca	0,030
SO_4	1,650
Cl	16,000
В	0,060
Li / Mg	1/6,4



Figura 3: Se observan grandes pozas de salmueras de cristales NaCl y divididos por un camino por donde los camiones recolectores transportan la materia prima hacia la planta de producción.



Figura 4: Se observan cristales de NaCl con su característico color Blanco y que actualmente es una de las mayores atracciones turísticas de la zona norte del país por las grandes áreas de estos salares.



Figura 5: Se observan hectáreas de pozas de NaCl en donde un trabajador se ve bastante pequeño en comparación a estas gigantes pozas.

1.8 ANTECEDENTES GENERALES Y DE CONTEXTO

En diferentes industrias productivas un problema de interés en la industria minera es el poder cuantificar las fracciones de sólidos y líquidos presentes en una pulpa. La presente investigación intenta ofrecer un primer esfuerzo para comprender, con el uso de experiencias de laboratorio y modelos matemáticos, este tipo de fenómenos. En particular se elige un sistema solido—liquido compuesto por sales cloradas y su salmuera saturada (sistema NaCl (Halita) y la salmuera a saturación). [43]

Esta investigación tiene importancia particularmente en empresas que producen KCl, que son yacimientos en forma de salares. El trabajo que se desea abordar tiene relación con la caracterización de pisos de pozas, para lo cual se usa sal de mesa comercial y se simula en un laboratorio distribuciones de tamaño de estos cristales, de modo de relacionar tamaño de cristal y la capacidad que tienen para adsorber salmuera de impregnación.

El poder cuantificar esto es un problema difícil debido a que la humedad retenida por un sólido depende de varias condiciones como son el tiempo de drenado, y si fue sometido a procesos físicos como calefacción o alguna operación de separación. Es también necesario discriminar si el mineral posee agua de cristalización o no y por lo tanto, entender las distintas posibilidades de fases cristalinas que pueden encontrarse. El proyecto consiste básicamente en el estudio de propiedades físicas en medios granulares como son la impregnación y la humedad, sometiendo la materia prima a tres condiciones de operación distintas: impregnación in situ, impregnación post drenado e impregnación post filtrado (haciendo vacío con una bomba de modo de simular una correa de filtración industrial). Esta clase de estudio permite cuantificar los tres casos que podrían darse en industrias que manejen acopios de sólido y deseen estimar inventarios de sus materias primas o productos acotando los errores de sus estimaciones. Un ejemplo de lo anterior puede visualizarse en el siguiente link, que presenta una charla que se realizó en el sexto seminario internacional de Hidrometalurgia del cobre (Hydrocopper 2011) [web 6]:

Algunos grupos científicos buscan soluciones a estas preguntas, mediante modelos probabilísticas (Montecarlo), usando esferas rígidas probando hasta dos o tres tamaños distintos de partículas para simular estas materias primas, sin embargo, es aún lejano resolver estos sistemas por esta vía.

En otros casos se modela mediante factores de ajuste (factores de forma) para dar un acercamiento "teórico". El enfoque realizado en esta investigación permite que se pueda generar un modelo matemático, generar correlaciones para estos o sencillamente comprender este tipo de problemas y sus alcances e impacto en la industria.

De manera tal que se eligen porcentajes másicos de combinaciones de rangos de tamices obteniendo como resultado la impregnación in situ, que corresponde al valor de la impregnación total obtenidos por variados procesos de impregnación que puede tener una determinada cantidad de sales cloradas.

"En Chile la naturaleza tiene una diversidad de riquezas mineras interesantes que los chilenos desconocemos e ignoramos. Los chilenos, estamos acostumbrados a mirar la parte negativa que nos muestra cualquier tipo de comparación con el resto de los países del mundo y se da el caso que en riquezas minerales, somos favorecidos por la naturaleza.

Actualmente se conocen alrededor de 111 elementos químicos, de los cuales 90 existen libremente o combinados en la naturaleza, el resto fue creado por el hombre.

Dentro de esos 90 elementos desde el hidrógeno hasta el uranio, están repartidos en la tierra en diferentes proporciones en los distintos países. Chile, produce o tiene reservas conocidas de siete elementos a nivel mundial, considerando la expresión "a nivel mundial", que se encuentra entre los tres primeros países del mundo, ya sea en producción o en reservas conocidas hasta ahora." [42]

Se propone un caso de interés en el cual pueden aplicarse los resultados de impregnación que se obtengan a partir de este trabajo de tesis. Si bien no es el objetivo de este trabajo de tesis el desarrollo de este experimento, es interesante presentarlo para ver el impacto que pueden tener estudios de esta naturaleza. Lo anterior puede entenderse como la motivación del estudio y su grado de alcance, sus posibles aplicaciones y el impacto que puede tener en algunos problemas del sector industrial minero.

A continuación se presenta una posible aplicación a relaves de Halita con contenidos de sales de potasio, este ejemplo ilustra de buena forma las motivaciones de este estudio.

Se supone un acopio de releve de Halita al cual se desea extraer una materia de interés como potasio, con ley en el acopio de 5% en K (KCl, Silvita). El resto de la sal es NaCl (Halita).

Si se desea extraer de una pila de 8 metros el potasio (en forma de ion K+, por extracción por solvente), se puede intentar lixiviar¹ usando una salmuera saturada en Halita. Dado que el KCl es más soluble que el NaCl, se puede adicionar un volumen razonable de salmuera de manera de extraer dicha solución, volumen que es calculable. El problema radica en que queda una cantidad de volumen retenido en la columna el cual es la impregnación de salmuera en ella. En general el problema industrial está en calcular este valor dado que no hay claridad en cuanto volumen o peso de salmuera queda retenido por unidad de volumen o de peso en sal.

Los datos reportados en este trabajo permiten una estimación, de manera que es posible calcular esos números de manera aproximada y razonable.

Lo anterior es sólo posible si se conoce el tamaño de cristales y su proporción contenida en el acopio. Si hay homogeneidad el cálculo es factible. La figura 6 ilustra el caso en análisis.

¹ Es un proceso en donde se puede extraer más de un soluto de un sólido, utilizando un disolvente líquido. Ambos entrando en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase liquida, lo que provoca una separación de los componentes originales del sólido.

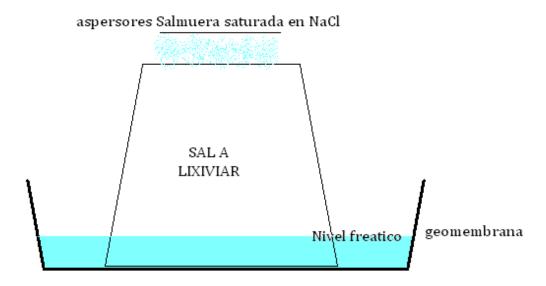


Figura 6: Lixiviación de acopio de Halita con salmuera saturada en Halita y pobre en Silvita.

El nivel freático de la figura ilustra el caso de salmuera con impregnación in situ. La superficie de la sal, posiblemente a pequeños espesores (deben determinarse en un experimento piloto éstos), da cuenta de la impregnación post filtrado y el resto de la sal, da cuenta de una medida post drenado. La integral de los tres perfiles ponderada por altura o cantidad de material asociado a cada clase de impregnación, da cuenta de la estimación que se busca. En general este tipo de valores es ciego en faena y se obtienen experimentalmente por balances de masa solo al término del proceso. Esto permite realizar cálculos de ingeniería básica ofreciendo valores que son mejores que la simple estimación, con una dependencia de la granulometría del sistema. Por supuesto hay otras variables que afectan estas medidas, como son la temperatura y la porosidad de los materiales, la capacidad de hidratación de las sales presentes, la geometría del acopio, la radiación solar, la presencia de viento y el tiempo de drenado del sistema. Las sales en estudio afortunadamente tienen porosidad reducida y son anhídridas en su fórmula química, lo cual simplifica el caso. Este estudio ofrece cotas máximas que son posibles de obtener para el caso de drenado y valores razonables para el caso in situ. Mejores resultados pueden obtenerse en estudios a escala industrial (pilotajes), pero estos están fuera de los alcances de este trabajo.

Hay muchas aplicaciones similares a estas, como es calcular el nivel freático en una poza de evaporación de Halita, los ripios o arenas en la industria cementera o aplicaciones en arenas.

Por supuesto cada caso requiere estimaciones para cada tipo de material, pero este estudio es una partida y una propuesta que apuesta a la solución de este tipo de problemas de la industria. Es innegable que esta manera de enfrentar el problema tiene un margen de error, pero se considera un primer intento en poder ofrecer soluciones cuantitativas para problemas que en general tienen en la industria interpretaciones cualitativas.

Como punto de partida, se busca resolver experimentalmente sistemas de tamices conocidos, variando las proporciones de contenido para diferentes mallas y tabulando el resultado de humedad y/o impregnación versus la distribución discreta de tamaños de partículas escogidos. Construyendo un sistema de muchos puntos, se pretende generar un ajuste en sistemas no porosos. El resultado esperado es ofrecer una relación entre tamaños de partículas, humedades y/o impregnaciones.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

a) Establecer una correlación matemática de modo de cuantificar la relación másica de las fracciones de sólido - líquido (NaCl saturado). A escala de laboratorio y usando como variable los tamices del sólido y como resultante la impregnación de la salmuera.

2.2 Objetivo Específicos:

- Realizar pruebas de marcha blanca para calibrar los instrumentos a utilizar en el experimento.
- b) Comprensión y aprendizaje exprés de un software matemático (MATHEMATICA) para realizar de una forma más rápida y eficiente, todos los cálculos.
- c) Realizar al menos 100 experimentos para poder entender de forma gráfica y matemática la correlación numérica que da cuenta de $Fn(X_1, X_2, X_3, X_4) =$ impregnación in situ, donde X_i son tamices escogidos y que serán explicados en el trabajo, con $\sum_{i}^{n} x_i = Constante = 100\%$.
- d) Comparar el ajuste teórico (correlación) con los datos experimentales de manera de ver las bondades del ajuste matemático.

CAPITULO III

MONTAJE DEL LABORATORIO

Para poder realizar esta investigación será necesario contar primero que todo con un laboratorio, el cual debe estar bien equipado, con los instrumentos, materiales de cristalería y lo necesario para poder llevar a cabo correcta y eficientemente los experimentos. A continuación se presenta el equipamiento utilizado en estas experiencias.

3.1.1Balanza

Es uno de los instrumentos más utilizados para esta investigación su objetivo es determinar el peso de los solutos y solventes para saber la cantidad exacta de la solución, en este caso se utilizó una balanza digital marca "SIENA", que es capaz de medir desde 1g hasta 3 kg. Y con una precisión de 1 g. Dado que la experiencia es en escala de dos kilos, hay un error asociados a las medidas aceptables de $\frac{1}{2000}$.



Figura 7: Balanza electrónica con un margen de error de 1 gr.

3.1.2 Mufla

Es un horno ideal para aplicaciones de alta temperatura hasta 1200 °C, para incineración de productos orgánicos, tratamiento térmico las principales especificaciones son las siguientes:



Figura 8: Mufla / JSMF-45T.

Temperatura máxima: hasta 1200 °C,

Control: PID digitales programables, 3 Plan 16 segmentos,

Calentador: Kanthal incrustado,

Aislamiento: Vacío moldeado de cerámica,

Capacidad: 0.3 / 4.5 / 12 / 27 litros

En nuestra investigación es utilizada específicamente para simular las condiciones reales de acopio donde el sol se encarga de secar las sales. La temperatura elegida para los

experimentos a realizar fue de 200°c esta razón es porque se asegura la eliminación del agua en 30 min sin cambiar o perder la propiedad estructural.

3.1.3 Aparato separador de tamiz (vibratorio)



Figura 9: Tamizador.

Dichos separadores son conocidos y generalmente usan uno o más tamices tensos de tamaño de malla seleccionado que están montados en o sobre un chasis que se soporta en una base por montajes elastoméricos, muelles u otros elementos elásticos. El chasis está acoplado a un motor que mueve lastres descentrados para impartir vibración al chasis y por ello al tamiz o tamices de la criba.

Se usan ampliamente separadores en muchas industrias, y el uso viene determinado por los materiales a tamizar o separar, y estos materiales (en

este caso sales) determinan el tamaño de malla del tamiz.

Para nuestra investigación utilizamos tamices #8, #20, #40, #70, #-70

Como se señala en los objetivos específicos, la función Fn (X_1, X_2, X_3, X_4) = Impregnación In situ. Corresponderán a los tamices ordenados de la siguiente forma.

Tabla N°2. La relación entre la función $Fn(X_1, X_2, X_3, X_4) = Imp$. In situ y los tamaños de las mallas tamiz.

Rango de malla tamiz asociados a la función	$F(X_1, X_2, X_3, X_4) = Imp. In situ$
# 8 - #20	X_1
# 20 - # 40	X_2
# 40 - # 70	X_3
# 70 - # -70	X_4

La función $Fn(X_1, X_2, X_3, X_4)$, esta medido en porcentajes en donde su sumatoria corresponderá a 100%. Pero como los tamices son medidos en [gr] se deja claro que existirá otra función $Fn(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$ que su sumatoria es de 2000 [gr] de forma constante.

$$\frac{y_1}{y_1 + y_2 + y_3 + y_4} = x_1$$

$$\frac{Y_1}{\sum_{i=i}^4 y_1} = \chi_1$$

 X_1 representa por lo tanto un porcentaje másico que satisface un requerimiento de tamaño dado por las mallas.

La Impregnación in situ. Cuyo significado da cuenta de la fracción de salmuera saturada que es capaz de cubrir totalmente y de forma exacta los 2 kilogramos de sal NaCl, cuya composición en fracción de tamaño varía. Esta salmuera se mide en $\frac{[gr] de \, salmuera}{2000[gr] de \, NaCl}$, por lo que es una estimación de porcentaje másico de líquido (salmuera saturada) v/s el sólido que es la sal.

Es una medida de los intersticios que deja el sólido, asumiendo que tiene una porosidad baja o nula.

3.1.4 Bomba de vacío (filtrado)

La filtración al vacío es una técnica de separación de mezclas sólido-líquido. La mezcla se introduce en un embudo plano con el papel de filtro acoplado al fondo. Desde el fondo del embudo se aplica con una bomba un vacío que succiona la mezcla, quedando el sólido atrapado entre los poros del filtro. El resto de la mezcla atraviesa el filtro y queda depositada en el fondo del recipiente. Esta técnica es más rápida que la filtración habitual por gravedad y está indicada cuando dichos procesos de filtración son muy lentos.



Figura 10: Filtrado al vacío.

Después de tener las herramientas mencionadas anteriormente se procede a realizar el experimento que responderá a la incógnita planteada.

3.2 Procedimiento de experimentación

Es necesario contar con bastante cantidad de cristales de NaCl y H₂O para realizar una simulación del salar de atacama. Para esto se puede utilizar cualquier tipo de sal de mesa existente en el mercado, pero la mayoría de los cristales utilizados en el laboratorio, fueron obtenidos desde la faena que se encuentra ubicada en Antofagasta.

De acuerdo a lo anterior, para poder saber con exactitud el comportamiento que tienen los conjuntos de cristales NaCl sumergidos en una mezcla de sal y agua (salmuera), los tamizadores fueron de mucha ayuda para poder visualmente distinguir y separar los cristales

de acuerdo a su tamaño. Esto fue posible gracias a las mallas Tyler de los tamices que tienen una apertura que se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla N°3. Tipo de malla y sus aperturas

Tamaño de la malla	Apertura de la malla
# 8	1250 Mic
# 20	850 Mic
# 40	425 Mic
# 70	212 Mic
# -70	> 150 Mic

Antes de que el tamizador comience a funcionar se debe definir el tiempo que estará en movimiento, ya que mientras más cantidad de sales es introducida en el sistema, más tiempo demorará en poder separar las sales en los distintos tamaños. Las mallas Tyler son colocadas unas encima de otras, ordenándolas verticalmente desde la malla que tiene una menor apertura hasta llegar a la apertura mayor.

Para la realización de este experimento la cantidad de cristales de NaCl introducidos en el tamizador fueron de 1 kg y con un tiempo en funcionamiento de 100 s.

Primero se deposita la muestra granulada de un 1 kg en la parte superior, específicamente en la malla #8 una vez cerrado se enciende todo el sistema en agitación durante 100 s de modo que el granulado pase desde de la malla #8 hasta la malla #-70 debido a las vibraciones verticales que el tamizador produce. Los gránulos más pequeños irán descendiendo sucesivamente los distintos tamices, mientras que los de mayor tamaño se quedarán en los tamices superiores.

Una vez que la vibración concluye, se puede observar que un conjunto de cristales de NaCl están separados según su tamaño.



Figura 11: Sales de NaCl separados por tamaño. La parte superior corresponde a la malla #8. La imagen fue tomada en el laboratorio de la universidad Mayor.

Para acelerar el tiempo del experimento, es conveniente almacenar las sales en diferentes envases (para no tamizar cada vez que se necesite un tamaño específico de NaCl).

Es importante mantener seco los envases que contienen las sales de NaCl, para que la humedad del ambiente no afecte su estado dentro del recipiente.



Figura 12: Tamaño de los cristales de NaCl malla. #8.



Figura 13: Tamaño de los cristales de NaCl malla. #40.



Figura 14: Tamaño de los cristales de NaCl malla #70.



Figura 15: Tamaño de los cristales de NaCl malla #-70.

Luego de tener los cristales separados por tamaño se procede a la preparación de la salmuera que básicamente es agua saturada con sal, para esto se utilizan los gránulos de NaCl, mezclándolos con agua para así formar la salmuera. Es necesario que la solución este saturada, en otras palabras que las sales precipiten (se debe observar sal en el fondo del recipiente), tal como se ve en la siguiente imagen.

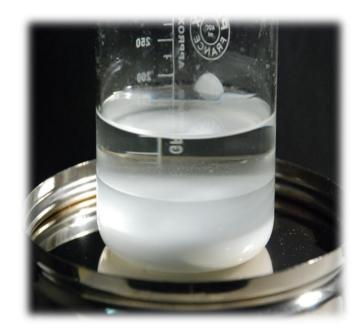


Figura 16: Solución saturada de NaCl en un envase de vidrio.

Cabe destacar que se utiliza sólo la salmuera sin el resto de sal precipitada. En palabras más simples solamente se utiliza el líquido.

Se vierte una cantidad determinada de cristales de NaCl previamente tamizado en un recipiente transparente y se vierte la salmuera a ras de las sales, calculando previamente la cantidad de sales de NaCl existente en la solución en gramos y la cantidad de la salmuera que se vierte en gramos.

Para los experimentos realizados en el laboratorio se utilizaron 2000gramos de cristales de NaCl y una cantidad de salmuera a ras de las sales superficiales. La cantidad de salmuera varía con respecto a la cantidad de sal que es introducida. Es recomendable utilizar una tabla Excel para llevar los registros de los resultados que se obtienen.

3.2.1 Proceso de drenaje

Como se ha mencionado anteriormente se vierten 2000 gramos de NaCl en un recipiente de vidrio previamente pesado con la balanza y luego se le agrega la salmuera hasta cubrir exactamente el total de las sales del recipiente, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 17: Salmuera saturada cubriendo las sales del recipiente.

Después de pesar en una balanza electrónica la solución, comprobando visualmente que la salmuera cumple el requerimiento explicado con anterioridad (figura No. 17), comenzamos a drenar la solución. La solución es vertida en otro recipiente de vidrio limpio puesto con una malla plástica que se puede encontrar en el mercado para evitar que la mayoría de las sales caigan junto con la salmuera.

Para los experimentos realizados en laboratorio se utilizan mallas plásticas utilizados en la cocina como medio para restringir la salida de los cristales en el proceso de drenado. (Véase figura No. 18).

El proceso de drenado dura aproximadamente una hora, esto es debido a que durante los experimentos realizados en el laboratorio se pudo comprobar de forma visual que las sales dejaban de drenar líquido después de 30 a 40 minutos una vez comenzado el proceso de drenado.

Luego de observar que ya no se puede drenar más líquido se procede a calcular la cantidad de líquido obtenido durante este proceso el cual lo denominaremos como "Salmuera I". Posterior a esta medición, realizamos el segundo drenado con la ayuda de las bombas de vacío.



Figura 18: Proceso de drenado de 500 [gr] de NaCl.

Es muy probable que algunos cristales caigan junto a la salmuera, por lo que utilizamos papel filtro (que previamente fue pesado en la balanza electrónica) en todo el proceso de drenado. Las sales residuales que quedan en el papel filtro deben ser contabilizadas junto a las sales restantes.

Es muy importante calcular la cantidad en gramos de líquido que se impregna en el papel filtro. La cual es calculada de la siguiente forma.

Impregnacion I[g] = filtro seco [g] - filtro impregnado [g]

Y llamaremos como "Drenado 1" a la cantidad de líquido drenado desde las sales húmedas.

3.2.2 Proceso post drenado

En este proceso vamos a filtrar las sales que se utilizaron en el procedo de drenaje.

Es necesario colocar un papel filtro en la base del embudo y junto a un tapón de goma (para lograr hacer el vacío necesario) este embudo es colocado en un matraz Kitasato. Luego las sales son puestas dentro del embudo tal como se muestra en la siguiente la figura.



Figura 19: Matraz Kitasato y bomba de vacío.

Este procedimiento al igual que en el proceso de drenado es puesto en funcionamiento durante una hora. Después de ese lapso de tiempo se calcula la cantidad de líquido que se drena como también la impregnación que se obtuvo en el papel filtro, tal como se hizo en el procedimiento anterior.

Impregnacion II [g] = filtro seco [g] - filtro impregnado [g]

Y llamaremos como "Drenado 2" a la cantidad de líquido drenado desde las sales húmedas a través del sistema de vacío.

3.2.3 Proceso de filtrado

Aunque los cristales de NaCl se sometieron a 2 procesos de drenado estos aún se encuentran húmedos. Para poder quitar la totalidad de la humedad existente en las sales, los cristales de

NaCl ahora son introducidos a la mufla con un recipiente de vidrio resistente al calor (Pyrex), sometiéndolos a una temperatura de 200 [°C].

Es necesario medir el peso neto del Pyrex que para esta ocasión fue de 545 [gr]. Si se utiliza más de un Pyrex es recomendado rotular el peso del recipiente en la parte posterior para no confundir los distintos pesos.

Las sales se deben pesar antes de que sean introducidas a la mufla. Para el siguiente ejemplo el peso de las sales fueron 2045[gr].



Figura 20: Cristales húmedos dentro del Pyrex, antes de ser introducidos a la mufla a una temperatura de 200 [°C].

El tiempo de funcionamiento de la mufla fue de 30 minutos, esto es debido a que cuando las sales se encuentran en altas temperaturas por un prolongado periodo de tiempo, estas cambian su estado. Solo es necesaria la evaporación del agua impregnada en las sales, por lo que se trabajó a 200 [°C] durante 30 minutos.

Una vez finalizado el proceso de secado de las sales es necesario esperar a que se enfríen durante un momento para poder volver a pesar el NaCl y comparar con el peso de la muestra antes de haber ingresado a la mufla.



Figura 21: Peso de las sales después de finalizado el proceso de secado (referencial).

Luego del secado en la mufla se constata que el peso total fue de 2553 g. Restando el peso neto del envase del Pyrex (545 g), obtendremos el peso exacto de la sal que es de 2008 g. Ahora al realizar la comparación con el peso de la sal antes de ser sometido a la mufla tendremos una diferencia de 37g que suponemos que es el agua.

En este ejemplo cabe mencionar que la relación existente entre la cantidad de agua y la cantidad de sal en equilibrio, es de una relación de 30% a 70%. Es decir en una solución salina el 30% corresponderá a los cristales de NaCl y el 70% corresponde a H₂0 a una presión atmosférica normal. Si la cantidad de sal supera el 30% se puede decir que la solución está saturada.

En el proceso en donde la sal fue sometida a altas temperaturas se evaporará el 70% de agua de los 30% de los cristales asociados, por lo que se deberá calcular cuánto es la cantidad exacta de cristales de NaCl están sujetos al 70% de agua evaporada. Esto lo podemos calcular de la siguiente forma.

En el experimento ejemplificado anteriormente, ya sabemos que la diferencia entre el peso de la sal antes de la mufla y el peso de la sal después de la mufla fue de 37[gr], valor que

representa el 70% dentro de los 100% de la solución salina. Con esta información podemos proceder a calcular la cantidad de las sales asociados a esos 70% de agua evaporada.

$$\frac{70\%}{37 \text{ [gr]}} = \frac{100\%}{X \text{ [gr]}} = ((100 \text{ x } 37)/70) = 52,86 \text{ [gr]}$$

Total de la solución salina es de 52,86g por lo que restando los 37g obtendremos un resultado de 15,86g que corresponden a la cantidad de sal asociada a 37 g de agua.

Salmuera III = Peso NaCl antes de Mufla - Peso NaCl después de Mufla

CAPITULO IV

EXPERIMENTO DE CALIBRACION Y MARCHA BLANCA

Para comenzar a buscar los resultados y no cometer errores en los cálculos, ya que esto puede llevar a una mala formulación e interpretación de los resultados, se plantea que se debe realizar algunas pruebas de calibración. Esto con el objetivo de entrenar y agudizar las capacidades de respuesta y formación de planteamiento para la elaboración de un marco teórico estable (experimentos de prueba).

Se realizan un total de 23 experimentos de pruebas de los cuales los resultados están representados en la tabla No. 6.

Las cantidades de sales, salmueras, impregnación y pérdidas están presentadas en porcentajes con respecto al peso total de la solución. A su vez se plantea una nueva forma de representar los resultados obtenidos dividiendo los resultados en tres agrupaciones.

Tabla Nº4. Interpretación de los tres métodos de procesos para los resultados del experimento Halita

Tabla Nº5. Interpretación de los resultados en etapas

IN SITU = Filtrado + Vacío + Drenado	
POST DRENADO = Filtrado + Vacío	
POST FILTRADO = Filtrado	_

A continuación se presenta la tabla $N^{\circ}6$, que da cuenta de las variables X_1 , X_2 , X_3 , X_4 y la obtención del resultado experimental impregnación que es la suma de tres impregnaciones. Esa suma se presenta en la tabla $N^{\circ}7$.

Tabla $N^{\circ}6$. 112 Experimentos representados en porcentajes.

Tamiz	NaCl(gr)	salmuera(gr)	Drenado 1	Impregnación I	Drenado II	Impregnación II	H20 evaporado	100% Salmuera	Filtrado
# 8	68.26%	31.74%	16.72%	3.41%	10.24%	0.34%	1.00	1.43	0.49%
	63.80%	36.20%	26.63%	0.48%	5.58%	0%	13.00	18.57	2.96 %
	62.02%	37.98%	28.84%	0.47%	5.74%	0%	12.00	17.14	2.66 %
	60.54%	39.46%	30.68%	0.00%	4.14%	0.30%	28.00	40.00	4.04 %
# 20	64.52%	35.48%	6.13 %	2.90%	20.97%	0%	11.00	15.71	5.07 %
	62.31%	37.69%	13.86%	0.47%	18.38%	0%	21.00	30.00	4.67 %
	59.35%	40.65%	14.84%	0.30%	21.07%	0%	17.00	24.29	3.60 %
	64.79%	35.21%	21.54%	1.93%	8.68%	0.48%	15.00	21.43	3.45 %
	66.37%	33.63%	19.58%	1.00%	9.73%	0.22%	24.00	34.29	3.79 %
# 40	74.63%	25.37%	0.00 %	0.75%	22.01%	0%	5.00	7.14	2.67 %
	70.67%	29.33%	0.00%	3.89%	15.90%	0%	9.00	12.86	4.54 %
	68.49%	31.51%	3.25%	1.54%	22.77%	0%	14.00	20.00	3.42 %
	73.82%	26.18%	2.06%	1.03%	18.09%	0.59%	19.00	27.14	3.99 %
	68.97%	31.03%	4.14%	0.34%	22.07%	0. 23 %	19.00	27.14	3.12 %
# 70	68.73%	31.27%	6.53%	4.81%	13.06%	0%	20.00	28.57	9.82 %
	69.20%	30.80%	2.08 %	2.77%	21.80%	0%	5.00	7.14	2.47 %
	74.52%	25.48%	5.22%	0.60%	14.46%	0.30%	38.00	54.29	8.09 %
# 100	66.67%	33.33%	7.29%	1.56%	20.83%	0%	7.00	10.00	5.21 %
	62.22%	37.78%	11.11%	4.44%	13.33%	4.44%	2.00	2.86	6.35 %
	70.54%	29.46%	3.47%	0.99%	19.31%	0.50%	6.00	8.57	2.12 %
# 200	59.42%	40.58%	5.80%	4.35%	20.29%	0%	1.00	1.43	2.07 %
	59.05%	40.95%	11.43%	4.76%	23.81%	0%	1.00	1.43	1.36 %
# - 200	68.09%	31.91%	6.38%	8.51%	4.26%	4.26%	3.00	4.29	9.12 %

Tabla $N^{\circ}7$. Resultados de los experimentos ordenados por las 3 etapas

Malla tamiz	N Experimento	POST FILTRADO	POST DRENADO	IN SITU
# 8	1	0.49 %	11.07 %	31.69 %
	2	2.96 %	8.54 %	38.62 %
	3	2.66 %	8.39 %	40.35 %
	4	4.04 %	8.48 %	43.19 %
# 20	1	5.07 %	26.04 %	40.14 %
	2	4,67 %	23.04 %	42.06 %
	3	3.60 %	24.67 %	43.41 %
	4	3.45 %	12.13 %	39.04 %
	5	3.79 %	13.53 %	37.90 %
# 40	1	2.67 %	24.68 %	28.09 %
	2	4.54 %	20.44 %	28.87 %
	3	3.42 %	26.20 %	34.42 %
	4	3.99 %	22.67 %	29.75 %
	5	3.12 %	25.42 %	33.02 %
# 70	1	9.82 %	22.88 %	44.04 %
	2	2.47 %	24.27 %	44.04 %
	3	8.09 %	22.84 %	36.75 %
# 100	1	5.21 %	26.04 %	40.10 %
	2	6.35 %	24.13 %	46.03 %
	3	2.12 %	21.92 %	28.50 %
# 200	1	2.07 %	22.36 %	34.58 %

Tabla N°7. (Continuación)

	2	1.36 %	25.17 %	42.72 %
# - 200	1	9.12 %	17.63 %	41.64 %

Gracias a las experiencias obtenidas por los experimentos de pruebas, se puede realizar de una forma rápida y perfecta una cantidad exacta de 111 pruebas (incluyendo los experimentos de marcha blanca). Estos son los resultados obtenidos que están ordenados por los tamaños de la malla tamiz y en la última columna con el resultado del IN SITU. Todos los resultados están representados en porcentajes de peso con respecto al peso total, es decir:

Ej.: Cantidades de NaCl del Experimento No. 2 expresados en P/P en las diferentes mallas del tamiz

N	# 20	# 40	# 70	-# 70
2	56,1 %	30,6 %	8,7 %	4,7 %

Si se tuviesen 2 [kg] de cristales NaCl, en la malla #20 tendríamos el 56,1% de 2 [kg], es decir 1,120 [gr], en la malla #30 el 30,6% de 2 [kg] y así sucesivamente representado en la siguiente tabla.

Tabla N°8. Tabla Explicativa del experimento 2 representados en cantidades de [kg] en porcentajes

N	# 20	# 40	# 70	-# 70
2	56,1%	30,6%	8,7%	4,7%

Tabla Nº8. (Continuación)

1.120 Gr	612 gr	174 gr	94 gr

 $\label{eq:convalor} \textbf{Tabla N}^{o}\textbf{9. Tabla de resultados experimentales con valor final INSITU en porcentajes de todos los experimentos realizados en laboratorio.}$

				IMP.	
N	\mathbf{X}_1	\mathbf{X}_2	X_3	X ₄	IN SITU
1	0	0	0	0	100%
2	56,1%	30,6%	8,7%	4,7%	31,70%
3	38,8%	46,5%	12,2%	2,5%	27,21%
4	43,8%	41,4%	11,8%	3%	31,54%
5	4,8%	37,3%	39,2%	18,7%	28,17%
6	13,8%	55%	25,1%	6,1%	31,78%
7	40,1%	43,7%	13,2%	3,1%	28,79%
8	18,5%	40,8%	30,3%	10,4%	25,63%
9	19,1%	47,8%	23,2%	9,8%	34,44%
10	18%	60,7%	17,5%	3,7%	27,81%
11	29,8%	47,6%	18,5%	4,1%	37,22%
12	34%	24,4%	22,2%	19,5%	22,16%

Tabla Nº9. (Continuación)

13	22,9%	49,8%	22,8%	4,4%	28,23%
14	34,1%	47,8%	14,9%	3,2%	32,79%
15	33,7%	37,2%	22,6%	6,5%	21,99%
16	33,8%	48,7%	15%	2,6%	28,80%
17	31,4%	49,7%	16,5%	2,5%	32,43%
18	34.89%	22.22%	15.56%	27.34%	22.64%
19	42,11%	31,89%	17,22%	8,79%	21,37%
20	52,11%	22,67%	15,33%	9,89%	23,96%
21	69,78%	17,33%	8,33%	4,56%	28,39%
22	4,45%	56,01%	25,61%	13,91%	41,83%
23	28,41%	50,05%	14,38%	7,15%	36,84%
24	8,23%	66,15%	19,87%	5,75%	32,49%
25	27,87%	54,21%	13,91%	4,02%	33,37%
26	12,11%	67,96%	14,15%	5,79%	38,18%%
27	65,98%	25,66%	5,98%	2,39%	35,73%
28	36.04%	47,06%	10,67%	8,8%	34,40%
29	39,89%	46,86%	9,15%	4,11%	36,71%
30	31,15%	47,50%	16%	5,3%	21,46%

Tabla Nº9. (Continuación)

	1	1	T	1	
31	39,15%	45,1%	11,75%	4%	25,07%
32	40,95%	47,05%	9,95%	2,05%	22,83%
33	45,65%	42,45%	9,55%	2,35%	26,27%
34	36,32%	45,28%	12,65%	5,76%	35,72%
35	46,79%	39,74%	9,97%	3,51%	33,93%
36	30,65%	50,15%	14,74%	4,47%	27,66%
37	47,34%	38,22%	10,87%	3,59%	36,16%
38	31,82%	43,44%	13,69%	11,07%	44,89%
39	65,4%	25,31%	6,66%	2,64%	45,89%
40	49,42%	35,81%	12,1%	2,67%	33,91%
41	59,69%	29,03%	8,54%	2,76%	47,30%
42	30,5%	48,6%	16,39%	4,525%	34,94%
43	42,37%	43,84%	10,825%	2,965%	27,92%
44	50,88%	36,84%	9,741%	2,543%	23,77%
45	39,58%	41,64%	14,77%	4,011%	22,63%
46	26,67%	52,89%	14,94%	5,51%	42,70%
47	9,84%	66,59%	20,07%	3,5%	41,10%
48	31,92%	49,2%	16,13%	2,74%	35,62%
	I	I			

Tabla Nº9. (Continuación)

49	42,61%	43,47%	11,37%	2,55%	34,27%
50	32,54%	47,77%	15,52%	4,19%	24,83%
51	46,35%	40,65%	10,04%	2,95%	31,05%
52	32,52%	46,91%	15,81%	4,76%	31,13%
53	49,98%	37,88%	9,29%	2,86%	33,67%
54	45,63%	34,29%	15,37%	4,72%	16,71%
55	42,5%	37,03%	15,09%	5,38%	16,67%
56	61,98%	26,42%	9,04%	2,57%	28,53%
57	53,24%	32,79%	11,45%	2,52%	30,71%
58	52,01%	35,03%	10,11%	2,84%	50,22%
59	36,59%	43,14%	18,25%	2,02%	52,76%
60	54,83%	34,71%	10,18%	0,29%	57,11%
61	59,43%	31,46%	9%	0,12%	48,50%
62	0,03%	46,36%	43,4%7	11,15%	25,10%
63	0,23%	44,31%	48,5%	6,97%	27,93%
64	0,13%	48,35%	45.59%	5,94%	26,78%
65	0,85%	48,26%	43,33%	7,56%	28,13%
66	0%	0,14%	31,36%	68,51%	29,33%

Tabla Nº9. (Continuación)

67	0.01%	0,92%	44,25%	54,83%	24,22%
68	0,06%	1,55%	35,01%	63,39%	25,46%
69	0,03%	2,21%	26,19%	72,58%	33,56%
70	0%	0%	0%	100%	61,73%
71	0%	0%	0%	100%	37,34%
72	0%	0%	100%	0%	27,20%
73	0%	100%	0%	0%	40,35%
74	100%	0%	0%	0%	33,24%
75	0%	40%	0%	60%	30,35%
76	0%	70%	0%	30%	29,44%
77	50%	0%	10%	40%	24,07%
78	40%	0%	40%	20%	34,98%
79	50%	0%	0%	50%	28.86%
80	0%	50%	0	50%	28,86%
81	0%	0%	50%	50%	52,24%
82	0%	0%	0%	100%	25,79%
83	0%	50%	50%	0%	32,92%
84	0%	0%	30%	70%	35,83%

Tabla Nº9. (Continuación)

85	70%	0%	10%	20%	23,25%
86	60%	5%	30	5%	31,27%
87	30%	40%	0%	30%	32,65%
88	20%	40%	0%	30%	33,24%
89	40%	0%	0%	60%	31,12%
90	5%	0%	10%	85%	34,36%
91	0%	15%	30%	55%	34,05%
92	0%	0%	50%	50%	46%
93	0%	50%	25%	25%	35.93%
94	100%	0%	0%	0%	40,14%
95	100%	0%	0%	0%	42,06%
96	100%	0%	0%	0%	43,41%
97	100%	0%	0%	0%	39,04%
98	100%	0%	0%	0%	37,90%
99	0%	100%	0%	0%	28,09%
100	0%	100%	0%	0%	28,87%
101	0%	100%	0%	0%	34,42%
102	0%	100%	0%	0%	29,75%

Tabla Nº9. (Continuación)

103	0%	100%	0%	0%	33,02%
104	0%	0%	100%	0%	44,04%
105	0%	0%	100%	0%	36,75%
106	0%	0%	0%	100%	40,10%
107	0%	0%	0%	100%	46,03%
108	0%	0%	0%	100%	28,50%
109	0%	0%	0%	100%	34,58%
110	0%	0%	0%	100%	42,72%
111	0%	0%	0%	100%	41,64%

La tabla N°9 da cuenta de los datos a correlacionar matemáticamente. El problema es complejo, ya que requiere algunas condiciones que son un desafío de envergadura ya que se deben cumplir lo siguiente:

- I. Generar una función analítica de $\mathbb{R}^4 \to \mathbb{R}$ en lo posible. Podría aceptarse incluso de $\mathbb{R}^4 \to \mathbb{C}$ pero con algunas restricciones.
- II. Debe tener sentido físico ya que los valores negativos no son aceptables.
- III. Debe interpretar los datos experimentales

La tabla N°9 es la resultante de todos los experimentos realizados.

En el capítulo V, se desea en base a estos datos formular la correlación numérica que dé cuenta de este ajuste.

CAPITULO V

AJUSTE MATEMATICO

Se plantea que existe una solución posible a estos problemas industriales ordenando los datos experimentales para luego junto a los conocimientos matemáticos. Crear una fórmula algebraica de varios factores para resolver estos problemas.

Luego de la obtención de los puntos que se utilizan, se procede a realizar la formulación matemática sobre todos los puntos experimentales, los cual permite resolver el problema planteado.

La solución de este problema es crear un modelo matemático que simule los experimentos que hemos realizado en el laboratorio sin la necesidad de tener que realizar estos mismos para calcular la impregnación que tienen las masas de sólido en un ambiente líquido, que llevados nivel industrial implican costos muy elevados así como también del tiempo necesario para realizar estos experimentos.

Para modelar un esquema matemático del problema utilizamos un software matemático llamado *MATHEMATICA* (*V.4.1 de la empresa WOLFRAM.*). Este software tiene la particularidad de poder calcular de una forma eficiente y a la vez simple este tipo de problemas de ajuste de correlaciones.

Para este caso se utiliza conocimientos probabilísticos tal como la Varianza Muestral² que podemos observar a continuación:

Se utilizaran los términos $X_1, X_2,..., X_n$ que en la algebra corresponden a las variables aleatorias de una muestra aleatoria de tamaño n, y en donde las variables aleatorias dan la varianza de la muestra o varianza muestral está definida por:

²Probabilidad y Estadística 2da. Edición. Murray R. Spiegel, Ph. D. &Jhon J. Schiller, Ph. D. (McGraw Hill) [Capítulo 5], página.170.

57

$$S^{2} = \frac{(X_{1} - \bar{X})^{2} + (X_{2} - \bar{X})^{2} + \dots + (X_{n} - \bar{X})^{2}}{n}$$

Ahora, Siempre que el valor esperado de un estadístico sea igual al parámetro poblacional correspondiente, decimos que el estadístico es un estimador insesgado y que el valor es un estimado insesgado de este parámetro. Sin embargo, resulta que:

$$E(S^2) = \mu_{S^2} \frac{n-1}{n} \sigma^2$$

Lo cual es muy cercano a σ^2 sólo para valores grandes de n (digamos, $n \ge 30$). El estimador insesgado deseado se define por:

$$\hat{S}^2 = \frac{n}{n-1} S^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}$$

De manera que:

$$E(\hat{S}^2) = \sigma^2$$

Debido a esto, algunos estudiosos de la estadística prefieren definir la varianza muestral por \hat{S}^2 en vez de S^2 y simplemente remplazan n por n-1 en el denominador. Sin embargo, debemos continuar definiendo la varianza muestral sin reemplazar n por n-1, porque al hacerlo, se simplifican muchos resultados posteriores.

Como se menciona anteriormente se definen los X, que en este caso corresponden a los Cristales de NaCl que previamente fueron diferenciados por su tamaño y utilizados en el experimento.

IMPREG. IN SITU = f (X1, X₂, X₃, X₄)
DONDE
$$X_{1}$$
 = Rango # 8 ~ # 20
 X_{1} = Rango # 20 ~ # 40
 X_{1} = Rango # 40 ~ # 70
 X_{1} = Rango # 70 ~ #- 70

Transformando la fórmula de la varianza muestral explicada anteriormente. La fórmula quedará de la siguiente forma.

$$Varianza(x) = \int_{i=1}^{2} (x_{\exp i} - x_{Ti})^{2}$$

Se propone una correlación matemática, no-lineal de ajuste, que en Mathematica se realiza con la función "NonlinearFit". Se debe destacar que todos los puntos obtenidos en los experimentos son ordenados en forma matricial IMPREG. $IN SITU = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$ y que los valores X_1 hasta el X_4 corresponden a la cantidad en porcentaje de sales NaCl que son utilizadas en cada experimento. En Mathematica, se prueba con la función declarada a continuación.

NonlinearFit(aa,
$$100 + a * x1 + b * x2 + c * x3 + d * x4 + e * \sqrt{x1 * x2} + f * \sqrt{x1 * x3} + g * \sqrt{x1 * x4} + h * \sqrt{x2 * x3} + i * \sqrt{x2 * x4} + j * \sqrt{x3 * x4} + k * \sqrt[3]{x1 * x2 * x3} + l * \sqrt[3]{x1 * x2 * x4} + m * \sqrt[3]{x2 * x3 * x4} + n * \sqrt[3]{x1 * x3 * x4} + o * \sqrt[4]{x1 * x2 * x3 * x4}, (x1, x2, x3, x4), (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o)).$$

Función no-lineal, donde X_1 , X_2 , X_3 , X_4 son las variables declaradas y a, b, c,..., o son parámetros a encontrar de manera de lograr el valor de la impregnación in situ.

2

³Función "NonlinearFit" explicada en ANEXO 1.

A continuación es necesario ordenar de forma matricial todos los puntos obtenidos de los experimentos y ordenarlos por porcentajes P/P de la cantidad de sales existentes en cada malla.

Esto es posible con la matriz "aa" donde se guardan los datos experimentales reportados en la tabla N°7 (el nombre de la matriz puede ser puede ser una combinación de varias letras, donde en esta ocasión es llamada "aa").

```
Ej.: (#20, #40, #70, -#70, IMPREG. INSITU.)

"aa": = { { 0,0,0,0100}, { 56.1,30.6,8.7,4.7,27.21},......}
```

Luego de ingresar una cantidad N de puntos en el programa (en nuestro caso fueron 112 puntos), se ejecuta a través de las teclas "SHIFT + ENTER", logrando mostrar los puntos ordenados de forma matricial.

Luego de este procedimiento se deriva a calcular una frmula de 4 variables y 15 parámetros a definir, que interpole todos los puntos que hemos obtenidos con los experimentos. Todo esto utilizando la transformación de la fórmula de la varianza lo cual quedando de la siguiente manera.

```
100 - 0.608635 \times 1 - 0.669035 \times 2 - 0.189034 \sqrt{x1} \times 2 - 0.637229 \times 3 - 0.230237 \sqrt{x1} \times 3 + 0.00904915 \sqrt{x2} \times 3 + 1.04612 (x1 x2 x3)^{1/3} - 0.609394 x4 - 0.120667 \sqrt{x1} \times 4 - 0.0875489 \sqrt{x2} \times 4 + 0.315671 (x1 x2 x4)^{1/3} + 0.011099 \sqrt{x3} \times 4 - 0.0445387 (x1 x3 x4)^{1/3} - 0.0579119 (x2 x3 x4)^{1/3} - 1.29738 (x1 x2 x3 x4)^{1/4}
```

Este es el modelo matemático experimental que interpola todos los puntos experimentales obtenidos por el software.

Luego se crea un nuevo modelo en base a esta interpolación para crear una fórmula más general incluyendo los X_1 , X_2 , X_3 , X_4 .

```
 \begin{split} &\text{ff}[\texttt{x1\_, x2\_, x3\_, x4\_}] := 100 - 0.607224506004174 ` \texttt{x1} - 0.6685834259117271 ` \texttt{x2} - \\ & 0.21384377156013692 ` \sqrt{\texttt{x1}\,\texttt{x2}} - 0.6385699818229652 ` \texttt{x3} - 0.09617979368258506 ` \sqrt{\texttt{x1}\,\texttt{x3}} + \\ & 0.009255297538921571 ` \sqrt{\texttt{x2}\,\texttt{x3}} + 0.9201069321329436 ` (\texttt{x1}\,\texttt{x2}\,\texttt{x3})^{1/3} - 0.6089909402312157 ` \texttt{x4} - \\ & 0.11550695856180028 ` \sqrt{\texttt{x1}\,\texttt{x4}} - 0.08940260906301264 ` \sqrt{\texttt{x2}\,\texttt{x4}} + 0.32981736608520973 ` (\texttt{x1}\,\texttt{x2}\,\texttt{x4})^{1/3} + \\ & 0.01375842114660823 ` \sqrt{\texttt{x3}\,\texttt{x4}} - 0.16999958561545556 ` (\texttt{x1}\,\texttt{x3}\,\texttt{x4})^{1/3} - \\ & 0.06847252808830044 ` (\texttt{x2}\,\texttt{x3}\,\texttt{x4})^{1/3} - 1.1303114737215483 ` (\texttt{x1}\,\texttt{x2}\,\texttt{x3}\,\texttt{x4})^{1/4}; \end{split}
```

Esta es la fórmula teórica que permite interpolar los datos de laboratorio obtenidos, pero es necesario comparar la evaluación de la fórmula con los datos experimentales de manera de ver su potencial. Se hacen comparaciones de los resultados en forma matricial entre ambas los datos teóricos y experimentales. Se realiza un cálculo del error:

En lenguaje de Mathematica se escribe:

Tabla $N^{\circ}10$. Diferencia Teórico - Experimental

Teórico	Experimenta	al Teo. – Exp.
100	100	0
31.260	5 31.7	-0.439452
34.412	28 27.21	7.20285
33.643	32 31.54	2.10323
35.284	1 31.87	3.41411
25.205	55 28.17	-2.96451
30.867	9 31.78	-0.912118
33.61	5 28.79	4.82502
27.826	4 25.63	2.19642
28.063	34.44	-6.37656
32.967	3 27.81	5.1573
32.847	2 37.22	-4.37277
23.066	2 22.16	0.906218
32.811	3 28.23	4.58131
33.693	32.79	0.903178
30.55	3 21.99	8.563
34.603	33 28.8	5.80327
34.977	5 32.43	2.54747
21.378	7 22.64	-1.2613
28.414	21.37	7.04419
38.991	7 23.96	15.0317
31.733	28.39	3.34317
26.537	9 41.83	-15.2921
29.382	8 36.84	-7.45721
30.62	5 32.49	-1.86504
32.287	6 33.37	-1.08236
30.207	4 38.18	-7.9726
33.71	8 35.73	-2.01199
26.272	25 34.4	-8.12747
31.61	2 36.71	-5.09799
31.248	4 21.46	9.7884
32.210	7 25.07	7.14075
34.721	2 22.83	11.8912

Tabla Nº10. (Continuación)

Teórico	Experimental	Error
30.460	7 35.72	-5.25926
32.639	9 33.93	-1.29009
31.942	3 27.66	4.2823
32.713	7 36.16	-3.44629
26.830	4 44.89	-18.0596
33.529	8 45.89	-12.3602
34.319	3 33.91	0.409325
33.637	6 47.3	-13.6624
32.083	7 34.94	-2.85634
33.464	3 27.92	5.54426
34.056	6 23.77	10.2866
32.661	8 22.63	10.0318
30.810	6 42.7	-11.8894
33.005	2 41.1	-8.09483
34.578	4 35.62	-1.04162
34.236	1 34.27	-0.033892
32.407	2 24.83	7.57719
33.408	4 31.05	2.35839
31.791	8 31.13	0.661835
33.444	4 33.67	-0.225597
31.941	5 16.71	15.2315
31.180	8 16.67	14.5108
34.076	7 28.53	5.54671
34.503	3 30.71	3.79329
33.712	3 50.22	-16.5077
36.410	1 52.76	-16.3499
41.059	9 57.11	-16.051
42.378	5 48.5	-6.12149
29.676	6 25.1	4.5766
30.548	6 27.93	2.61859
30.876	5 26.78	4.09653
30.043	1 28.13	1.9131
38.080	3 29.33	8.75033
34.763	5 24.22	10.5435

Tabla Nº10. (Continuación)

Teórico	Experimenta	al Error
33.140	8 25.46	7.68085
34.310	1 33.56	0.750134
39.100	9 61.73	-22.6291
39.100	9 37.34	1.76091
36.143	3 27.2	8.943
33.141	7 40.35	-7.20834
39.277	5 33.24	6.03755
32.337	4 30.35	1.98739
30.832	5 29.44	1.39249
27.237	8 24.07	3.16783
25.866	2 34.98	-9.11382
33.413	9 38.73	-5.31612
31.651	2 28.86	2.79115
38.309	9 52.24	-13.9301
39.100	9 25.79	13.3109
35.105	1 32.92	2.18509
38.844	4 35.83	3.01402
28.159	6 23.25	4.90955
30.364	8 31.27	-0.905174
33.690	6 32.65	1.04056
34.332	2 33.24	1.09203
33.512	9 31.12	2.3929
33.400	1 34.36	-0.959923
33.511	5 34.05	-0.538495
38.309	9 46.	-7.69013
30.735	4 35.93	-5.19462
39.277	5 40.14	-0.862451
39.277	5 42.06	-2.78245
39.277	5 43.41	-4.13245
39.277	5 39.04	0.237549
39.277	5 37.9	1.37755
33.141	7 28.09	5.05166
33.141	7 28.87	4.27166
33.141	7 34.42	-1.27834

Tabla Nº10. (Continuación)

Teórico E	xperimenta	al Error
33.1417	33.02	0.121657
36.143	44.04	-7.897
36.143	36.75	-0.606998
39.1009	40.1	-0.999094
39.1009	46.03	-6.92909
39.1009	28.5	10.6009
39.1009	34.58	4.52091
39.1009	42.72	-3.61909
39.1009	41.64	-2.53909

La tabla 10, refleja el resultado del cálculo comparando la impregnación in situ calculada (teórico) y el valor experimental. Se refleja además el error punto a punto.

A través del programa Mathematica existe la posibilidad de desplegar todos los resultados que se pueden obtener por la combinación de diferentes mallas y lograr conocer la impregnación teórica⁴.

5.1 Gráficos de los resultados de impregnación en medios granulares en malla #20 #40 de impregnación.

A continuación se presentan curvas de nivel 3D, construidas por distintos valores de X_3 . $X_4 = 100 - X_1 - X_2 - X_3$ [no graficado], dado que es una variable redundante si se consideran las otras tres (las fracciones suman 100%). Todos los gráficos consideran el rango X_1 y X_2 en las gráficas simbolizados por #20 y #40 respectivamente.

_

⁴Estas tablas se encuentran disponibles en ANEXO 2.

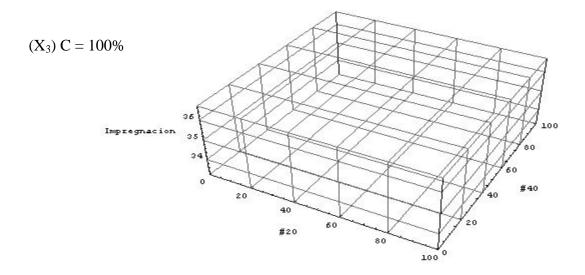


Gráfico No. [1]

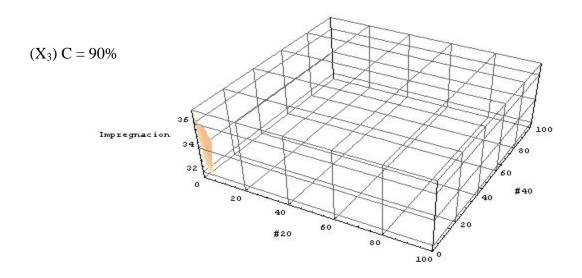


Gráfico No. [2]

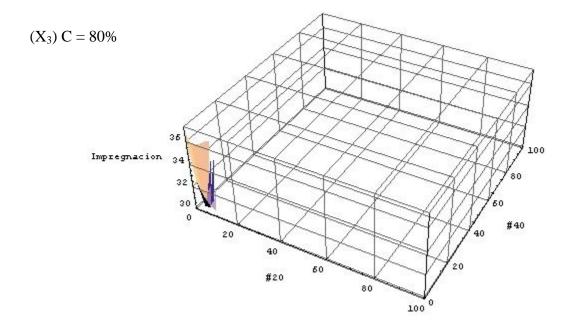


Gráfico No. [3]

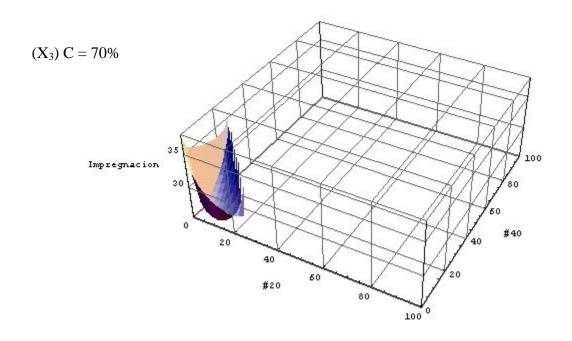


Gráfico No. [4]

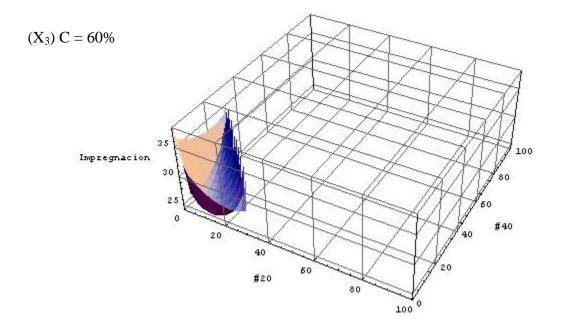


Gráfico No. [5]

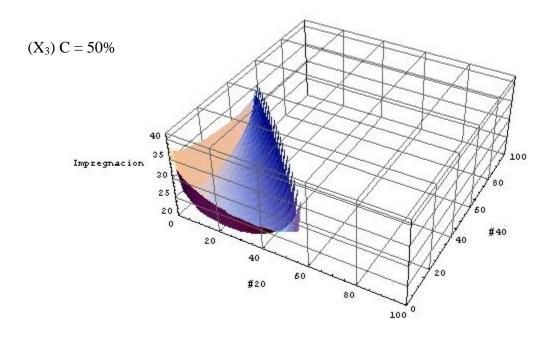


Gráfico No. [6]

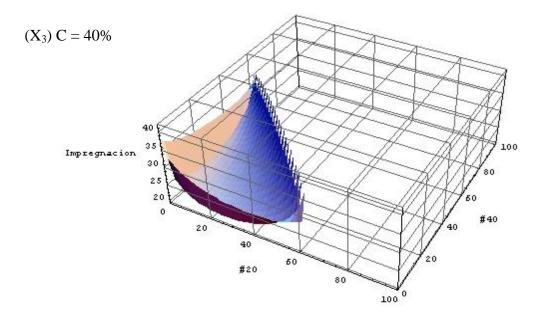


Gráfico No. [7]

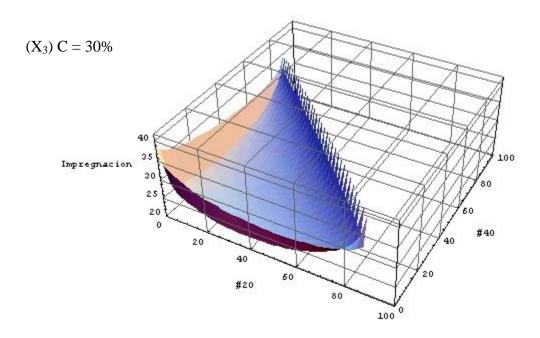


Gráfico No. [8]

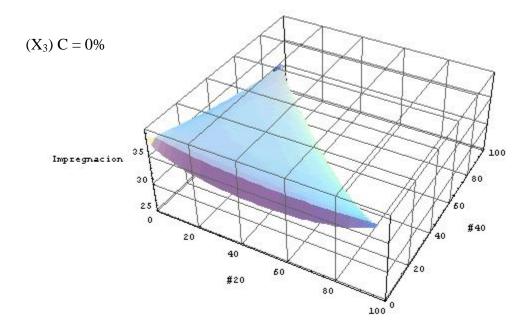


Gráfico No. [9]

Los resultados en forma de tabla, con todas las combinaciones de las mallas, se encuentran expresados en el ANEXO 2.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Al concluir el desarrollo de este estudio, se puede tomar en consideración las siguientes conclusiones basadas en los más de 100 experimentos en el laboratorio de la Universidad Mayor sin dejar de lado las pruebas de marcha blanca realizada para calibrar los instrumentos que se utilizaron durante toda esta investigación, dando total cumplimiento a los objetivos específicos ya que a su vez se logra el aprendizaje y uso del software matemático (MATHEMATICA), en donde utilizando como variable los 4 tamaños de los cristales NaCl separados por tamices (X1, X2, X3, X4), se ha podido determinar en una escala de laboratorio, una correlación matemática capaz de representar como resultado la impregnación de la salmuera de forma teórica.

Es importante destacar el cumplimiento de los objetivos generales, ya que con el conocimiento obtenido y desarrollado en el transcurso de la investigación se logra establecer una correlación matemática pudiendo cuantificar la relación másica de las fracciones de solido – liquido (NaCl saturado).

Los resultados de esta correlación teórica (impregnación in situ teórica) son comparados con los resultados experimentales, donde se observa que el valor mínimo de error es de un 0,1%, el valor máximo de un 91,2% y el error promedio es de un 17,7%. A su vez se calcula la desviación estándar de la impregnación modelada y calculada, dando como resultado un 6,4 (ver ANEXO 3).

En ANEXO 2 se aprecian 2.300 combinaciones de las diferentes mezclas de cristales de NaCl y sus impregnaciones obtenidas por la formula teórica encontrada (la totalidad del reporte está disponible en el software Mathematica). En dichos resultados se logra ver valores que están expresados en números reales y números complejos. Los números reales son el reporte numérico de los gráficos de impregnación entregados, en cambio los números

complejos no tienen realidad Física, esto es debido a que en dichos casos la suma de X1 + X2 + X3 es mayor que un 100%, no afectando así el resultado final.

Concluyendo que la utilidad de esta correlación matemática radica en la posibilidad de identificar las características de las impregnaciones de la salmuera en los cristales NaCl, sin la necesidad de hacer experimentos y a su vez satisfacer los problemas existentes hoy en día en el proceso de separación de sólidos y líquidos para los tamaños involucrados en el estudio.

REFERENCIAS

Referencias Bibliográficas

- [1]. F. A. Banat, S.E. El-Sayed and S.A. El-Temtamy. Carnalite salt gradient solar ponds: an experimental study. University of Jordan. Cairo, Egipto: s.n., 1993.
- [2]. Tabor, H. Non-Convecting solar ponds. Hebrew University. Jerusalem, Israel: s.n., 1980.
- [3]. M. Arulanantham, P. Ananti, N. Kaushika. Solar pond with honeycomb surface insulation system. Indian Institute of Technology. New Delhi, India: s.n., 1997.
- [4]. V. Velmurugan, K. Srithar. Prospects and scopes of solar pond: A detailed review. Infant Jesus College of Engineering. Tamil Nadu, India: s.n., 2007.
- [5]. Ali, H. M. An experimental study on a modified design compact shallow solar pond. Atomic Energy Organization of Iran. Tehran, Iran: s.n., 1986.
- [6]. R. Boehm, T. Newell. Key questions in the application of salt-stratified solar ponds. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Seattle, US: s.n., 1980.
- [7]. A. Rabl, C.E. Nielsen. Solar Ponds for Space Heating. The Ohio State University. Ohio, US: s.n., 1974.
- [8]. M. Karakilcik, K. Kiymac, I. Dincer. Experimental and theorical temperature distributions in a solar pond. University of Cukurova. Adana, Turkey: s.n., 2004.
- [9]. Y. Wang, A. Akbarzadeh. A study on the transient behaviour of solar ponds. University of Melbourne. Victoria, Australia: s.n., 1981.
- [10]. Jaefarzadeh, M. R. Thermal behavior of a small salinity-gradient solar pond with wall shading effect. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran: s.n., 2004.

- [11]. M. K. Smith, T. A. Newell. Simulation and economic evaluation of a solar evaporation system for concentrating sodium chloride brines. University of Illinois. Illinois, US: s.n., 1991.
- [12]. A. Akbarzadeh, W. MacDonald, Y. Wang. Reduction of surface mixing in solar ponds by floating rings. University of Melbourne. Melbourne, Australia: s.n., 1981.
- [13]. A. Akbarzadeh, G. Ahmadi. Under ground thermal storage in the operation of solar ponds. Shiraz University. Shiraz, Iran: s.n., 1979.
- [14]. M.A. Hassab, I.A. Tag, I.A. Jassim, F.Y. Al-Juburi. Solar pond design for Arabian Gulf Conditions. University of Qatar. Qatar: s.n., 1987.
- [15]. M. Husain, P. Patil, S.K. Samdarshi. Combines effect of bottom reflectivity and water turbidity on steady state thermal efficiency of salt gradient solar pond. North Maharshtra University. Jalgaon, India: s.n., 2003.
- [16]. F. Muñoz, R. Almanza. A survey of solar pond developments. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Mexico: s.n., 1991.
- [17]. B. Jubran, H. Al-Abdali, S. Al-Hiddabi. Numerical modelling of convective layers in solar ponds. Sultan Qaboos University and University of Jordan. Amman, Jordan: s.n., 2004.
- [18]. J. Wang, J. Seyed-Yagoobi. Effect of water turbidity on thermal performance of a salt-gradient solar pond. Texas A&M University. Texas, US: s.n., 1994.
- [19]. Kenat, J. The production of potassium Chloride from the Dead Sea by crystallization. Dead Sea Works Ltd. Beer-Sheva, Israel: s.n., 1976.
- [20]. Jones, F. E. Evaporation of water, with emphasis on applications and measurments. Michigan, US: s.n., 1991.

- [21]. R. N. Skula, S. B. Kulkarni. Retardation of water evaporation by monolayers of Octadecyl Alcohol and its condensation products with ethylene glycol. 1964.
- [22]. V. K. La Mer, T. W. Healy. Evaporation of water: Its retardation by monolayers. 1965.
- [23]. G. T. Barnes, V. K. la Mer. Retardation of evaporation by monolayers. NY, US: s.n., 1962.
- [24]. MacRitchie, F. Evaporation retarded by monolayers. 1969.
- [25]. —. Role of monolayers in retardation of evaporation. 1969.
- [26]. Jarvis, N. L. The effect of monomolecular films on surface temperature and convective motion at the water/air interface. 1962.
- [27]. Cooley, K. R. Evaporation reduction: summary of long-term tank studies. 1983.
- [28]. Boyes, Walt. Instrumentation Reference Book. Maple Valley, Washington, US: s.n., 2003.
- [29]. Easterbrook, C. A study of the effects of waves on evaporation from free water surface. Cornell Aeronautical Laboratory. US: s.n., 1968.
- [30]. H. Massaldi, J. Gottifredi, J. Ronco. Effects of interfacial waves on mass transfer during evaporation of water from a free surface. US: s.n., 1976.
- [31] "General prediction of median crystal sizes", A.Mersmann et al., Sep. Technol., 1992, vol 2, Abril, Elsevier, 85-97.
- [32] "Crystallization and precipitation", A. Mersmann, Chemical Enginnering and Processing 38, Elsevier, (1999) 345-353.
- [33] "Computer Simulation of the performance of a solar pond in the Southern part of Iran", A. Aliakbar and G. Ahmadi, Solar Energy, vol 24, 1980, Pergamon press, 143-151

- [34] "Solar Evaporation of Salt Brines", M.R. Bloch et al, Industrial and Engineering Chemistry, Vol 43, 7, (1951), 1544 1553
- [35] Parameters Influencing the Mean Particle Size of a Crystalline Product, A. Mersmann et al, Chem. Eng. Technol. 12 (1989), 414-419.
- [36] Crystallization of potash, D.E. Garret, Chem. Eng., Progress, vol 59, 10, (1963), 59-64
- [37] Formation and chemical evolution of magnesium chloride brines by evaporate dissolution processes Implications for evaporate geochemistry, R. Krupp, Geochimica et Cosmochimica Acta, vol 69, No 17, (2005) 4283 4299.`
- [38] Crystallization Kinetics of NaCl in Multicomponent Solutions, Cryst. Res. Technol., 30, (1995), 5, 651-658.
- [39] Comunicación Personal, Doctor Andrés Soto Bubert, Escuela de Ingeniería, Universidad Mayor, Santiago, 2012.
- [40] Handbook of lithium and natural calcium chloride their deposits, processing, uses and properties, D.E. Garrett, Elsevier, ISBN: 978-0-12-276152-2, part 1 (2004).
- [41] Hidrochemistry of two adjacent acid saline lakes in the Andes northern Chile, F. Risacher et al., Chemical Geology 187, (2002), 39-57
- [42] Riquezas minerals de Chile a nivel mundial, A. González, Universidad de Chile, Fac.Cs. Fcas y Matemáticas, primera edición, (2000) 170-190
- [43] Comunicación Personal, Doctor Andrés Soto Bubert, Escuela de Ingeniería, Universidad Mayor, Santiago, 2012.

Fuentes de imágenes desde la Red

[Web 3] Imagen obtenida desde el documento público "la memoria anual 2010 – SQM S.A" http://www.sqm.com/PDF/Investors/AnnualReport/SQM-Memoria Anual 2010 ES.pdf

[Web 4] Imagen obtenida desde:

http://www.rutaschile.com/men1/paquetesdetalles.php?p=7

[Web 5] Imagen obtenida desde el documento público "la Memoria anual 2011 – SQM S.A" http://sqm.cl/PDF/Investors/AnnualReport/MEMORIAFINAL2011.pdf

[Web 6] www.hydrocopper.cl/evento2011/images/stories/docs/ppts/S5_Rudi_Fester.pdf

Fuentes de las tablas

[44] FUENTE: II Simposio Chileno del Litio (1994), Pág. 18.

Fuentes de los Anexos

[45] Bates, DM y Watts, DG (1988). Análisis de regresión no lineal y sus aplicaciones, John Wiley&Sons, New York.

[46] Meyer, RR y Roth, PM (1972)."Modificado amortiguadas Mínimos Cuadrados: Un algoritmo para la estimación no lineal", J. Inst. Math. Appl. 9, 218-233.

[47] Ratkowsky, David A. (1983). Modelos de regresión no lineal, Un enfoque práctico unificado, Marcel Dekker, Nueva York.

ANEXO 1

ESTADISTICAS `NonlinearFit`

La función incorporada Fit encuentra un ajuste de mínimos cuadrados a una lista de datos para un modelo que es una combinación lineal de las funciones de bases dadas; los coeficientes de la combinación lineal son los parámetros del ajuste. A menudo se desea un modelo más sofisticado, donde el modelo no es lineal en los parámetros. La función NonlinearFit permite llevar a cabo este tipo de ajuste de mínimos cuadrados. NonlinearFit da una expresión para el modelo, similar a la salida de la función Fit incorporada.

La función NonlinearFit se encuentra dentro de los paquetes estadísticos llamado:

<< Statistics`NonlinearFit`

La estructura de la función es:

NonlinearFit [datos, función, variables, parámetros].

Esta ajusta los datos al modelo con los parámetros y variables nombradas, tal que devuelvan el modelo evaluado por los parámetros estimados, logrando el ajuste de mínimos cuadrados.

El argumento del modelo NonlinearFit debe ser completamente especificado por los símbolos en el argumento de las variables y los símbolos en el argumento de los parámetros. El argumento de las variables especifica las variables independientes representadas en los datos. El argumento de los parámetros especifican los parámetros del modelo que se desearían estimar.

El argumento de datos puede ser una lista de vectores, cada vector consiste en los valores de las variables independientes X_1, X_2, \ldots , seguido por el valor observado de la respuesta asociada. El argumento de datos también puede ser un vector, en este caso, se asume que el

vector representa los valores observados de la variable de respuesta, con la variable(s) independiente(s) para i^{th} respondiendo igual que i.

Formas de especificar los datos en "NonlinearFit":

 $\{y_1, y_2, \dots\}$ Puntos de datos indicados por una lista de valores de respuesta, donde i es el valor de la variable independiente asociada con i^{th} en respuesta de y_i .

 $\{\{X_{11}, X_{12}, \dots, y_1\}, \{X_{21}, X_{22}, \dots, y_2\}, \dots\}$ Puntos de datos especificados por una matriz, donde X_{ik} es el valor de i^{th} por causa de la k^{th} variable independiente, e y_i en respuesta de i^{th} .

Las estimaciones de los parámetros del modelo se eligen para minimizar gracias a la función dada por la suma de los residuos cuadrados $\sum_i \varepsilon_i^2$. Los métodos de optimización utilizados por NonlinearFit son iterativos por lo que los valores iniciales son necesarios para la búsqueda de la estimación del parámetro. Es necesario elegir cuidadosamente los valores iniciales, como las estimaciones de los parámetros encontrados por NonlinearFit los cuales pueden representar un mínimo local en X^2 gracias a la función.

La forma más sencilla de especificar un parámetro es mediante un símbolo, asumiendo un punto de partida de 1.0, o como un $\{símbolo, inicio\}$ par. Cuando elementos del parámetro son especificados como $\{símbolo, min, max\}$, los valores de los parámetros iniciales son tomados para que sean ellos los que minimicen X^2 mérito de la función formando un conjunto 2^p diseño factorial basado en los intervalos de parámetros, donde p es el número de parámetros. Por ejemplo, si la lista de parámetros se especifica como $\{\{a, 0, 1\}, \{b, 0, 3\}\}$, entonces el valor de $\{a, b\}$ en $\{\{1/3, 1\}, \{1/3, 2\}, \{2/3, 1\}, \{2/3, 2\}\}$ lo que obtiene el mínimo X^2 entregando los valores iniciales de los parámetros de a y b.

Si un parámetro es especificado como $\{s\'{imbolo}, \{start_0, start_1\}\}$, entonces la búsqueda de los parámetros estimados utilizan $start_0$, y $start_1$ como los dos primeros valores del $s\'{imbolo}$. Esta forma debe ser utilizada si los derivados simbólicos de X^2 con respecto a los parámetros no pueden ser encontrados.

ANEXO 2 Resultados del modelo matemático en combinación de los primeros valores que toman los X_1 , X_2 , X_3 , correspondientes a la cantidad en porcentajes peso/peso de las sales de NaCl. (Se muestran los primeros 2163 combinaciones de un total de 7056 probables).

Tabla Nº11. Valores de X_1 , X_2 , X_3 , in situ.

X_1	X_2	X ₃ in situ	X	$X_1 X_2$	X_3	in situ		$X_1 X_2$	X_3	in situ
(0	0 0	39.1009	(0	5	0	36.8545	1	(0 10	0	35.8229
0	0 5		ĺΙο	5	5	36.1994	ĺ	0 10	5	34.9905
0	0 1	39.2179	0	5	10	36.0215		0 10	10	34.7928
0	0 1	39.1485	0	5	15	35.8837		0 10	15	34.6535
0	0 2	39.0597	0	5	20	35.7652		0 10	20	34.5434
0	0 2	38.9572	0	5	25	35.659		0 10	25	34.4528
0	0 3	38.844	0	5	30	35.562		0 10	30	34.3772
0	0 3	38.7219	0	5	35	35.4727		0 10	35	34.3147
0	0 4	38.5918	0	5	40	35.3906		0 10	40	34.2645
0	0 4.	38.4543	0	5	45	35.3155		0 10	45	34.2265
0	0 5	38.3099	0	5	50	35.2476		0 10	50	34.2016
0	0 5.	38.1585	0	5	55	35.1877		0 10	55	34.1912
0	0 6	38.0002	0	5	60	35.1369		0 10	60	34.1977
0	0 6	37.8345	0	5	65	35.097		0 10	65	34.225
0	0 7	37.6609	0	5	70	35.0706		0 10	70	34.2795
0	0 7	37.4782	0	5	75	35.0623		0 10	75	34.3723
0	0 8	37.2849	0	5	80	35.0799		0 10	80	34.5261
0	0 8	37.078	0	5	85	35.1394		0 10	85	34.8029
0	0 9	36.8515	0	5	90	35.2848		0 10	90	36.1205
0	0 9	36.5908	0	5	95	36.1946		0 10	95	35.4047 - 1.32912 i
0	0 10	0 36.143	(0	5	100	35.5873 - 0.944176 i		0 10	100	35.1022 - 1.7365 i

Tabla Nº11. (Continuación)

$X_1 X_2$	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ
(0 15	0	35.0147	١	(0	20	0	34.333)	(0	25	0	33.7398
0 15	5	34.0732		0	20	5	33.3173		0	25	5	32.6731
0 15	10	33.8685		0	20	10	33.1127		0	25	10	32.4741
0 15	15	33.7346		0	20	15	32.9888		0	25	15	32.3638
0 15	20	33.6372		0	20	20	32.9071		0	25	20	32.3009
0 15	25	33.5645		0	20	25	32.8548		0	25	25	32.2718
0 15	30	33.5115		0	20	30	32.8265		0	25	30	32.2713
0 15	35	33.476		0	20	35	32.8201		0	25	35	32.2975
0 15	40	33.4574		0	20	40	32.8355		0	25	40	32.3511
0 15	45	33.4561		0	20	45	32.8738		0	25	45	32.4348
0 15	50	33.4736		0	20	50	32.9381		0	25	50	32.554
0 15	55	33.5129		0	20	55	33.0335		0	25	55	32.7179
0 15	60	33.5785		0	20	60	33.1684		0	25	60	32.9432
0 15	65	33.6779		0	20	65	33.3582		0	25	65	33.2644
0 15	70	33.8248		0	20	70	33.6342		0	25	70	33.7746
0 15	75	34.0466		0	20	75	34.0812		0	25	75	35.7934
0 15	80	34.418		0	20	80	35.9129		0	25	80	34.9211 - 2.00194 i
0 15	85	36.0233		0	20	85	35.0777 - 1.82058 i		0	25	85	34.5752 - 2.65494 i
0 15	90	35.2379 -1.60307 i		0	20	90	34.7424 - 2.40566 i		0	25	90	34.2816 - 3.14209 i
0 15	95	34.9164 - 2.10854 i		0	20	95	34.4567 - 2.84045 i		0	25	95	34.0122 - 3.54695 i
0 15	100	34.641 - 2.48225 i		0	20	100	34.1942 - 3.20075 i		0	25	100	33.7573 - 3.90042 i /

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1 X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ
(0 30	0	33.2162	1 1	0	35	0	32.7509)	(0	40	0	32.3374
0 30	5	32.1159		0	35	5	31.6317		0	40	5	31.2122
0 30	10	31.9271		0	35	10	31.4576		0	40	10	31.0573
0 30	15	31.834		0	35	15	31.3854		0	40	15	31.0105
0 30	20	31.7932		0	35	20	31.3707		0	40	20	31.0266
0 30	25	31.7909		0	35	25	31.3996		0	40	25	31.0925
0 30	30	31.8221		0	35	30	31.4679		0	40	30	31.2053
0 30	35	31.8858		0	35	35	31.5762		0	40	35	31.3683
0 30	40	31.9842		0	35	40	31.729		0	40	40	31.5908
0 30	45	32.1224		0	35	45	31.9363		0	40	45	31.8922
0 30	50	32.3102		0	35	50	32.2167		0	40	50	32.3131
0 30	55	32.5654		0	35	55	32.6094		0	40	55	32.9655
0 30	60	32.9251		0	35	60	33.2208		0	40	60	35.3959
0 30	65	33.4895		0	35	65	35.534		0	40	65	34.4615 - 2.41063 i
0 30	70	35.6667		0	35	70	34.6135 - 2.29226 i		0	40	70	34.0968 - 3.2247 i
0 30	75	34.7666 - 2.15724 i		0	35	75	34.2534 - 3.05812 i		0	40	75	33.788 - 3.83764 i
0 30	80	34.4127 - 2.86983 i		0	35	80	33.9485 - 3.63311 i		0	40	80	33.505 - 4.35031 i
0 30	85	34.1127 - 3.40322 i		0	35	85	33.6692 - 4.11311 i		0	40	85	33.2373 - 4.8002 i
0 30	90	33.8379 - 3.84755 i		0	35	90	33.405 - 4.53368 i		0	40	90	32.98 - 5.20603 i
0 30	95	33.5779 - 4.23623 i		0	35	95	33.1511 - 4.91259 i		0	40	95	32.7302 - 5.57869 i
0 30	100	33.3279 - 4.58592 i		0	35	100	32.9045 - 5.26018 i	<i>]</i>	0	40	100	32.486 - 5.92519 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_I	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ
(0	45	0	31.9715)	(0	50	0	31.6512)	(0	55	0	31.3756
0	45	5	30.8527		0	50	5	30.5511		0	55	5	30.3073
0	45	10	30.7222		0	50	10	30.4508		0	55	10	30.2444
0	45	15	30.7058		0	50	15	30.4714		0	55	15	30.3103
0	45	20	30.7588		0	50	20	30.5692		0	55	20	30.4644
0	45	25	30.8693		0	50	25	30.7354		0	55	25	30.7028
0	45	30	31.0373		0	50	30	30.9746		0	55	30	31.0404
0	45	35	31.2707		0	50	35	31.3051		0	55	35	31.5197
0	45	40	31.5888		0	50	40	31.7695		0	55	40	32.2635
0	45	45	32.0337		0	50	45	32.4878		0	55	45	34.9527
0	45	50	32.7215		0	50	50	35.1051		0	55	50	34.0095 - 2.68567 i
0	45	55	35.2528		0	50	55	34.1596 - 2.60605 i		0	55	55	33.6388 - 3.62167 i
0	45	60	34.3102 - 2.5147 i		0	50	60	33.7897 - 3.50465 i		0	55	60	33.3232 - 4.33243 i
0	45	65	33.9423 - 3.37282 i		0	50	65	33.4756 - 4.18502 i		0	55	65	33.0331 - 4.93029 i
0	45	70	33.6304 - 4.02071 i		0	50	70	33.1873 - 4.75624 i		0	55	70	32.7581 - 5.45715 i
0	45	75	33.3445 - 4.56365 i		0	50	75	32.9143 - 5.25894 i		0	55	75	32.4932 - 5.93396 i
0	45	80	33.074 - 5.04079 i		0	50	80	32.6516 - 5.7134 i		0	55	80	32.2358 - 6.37298 i
0	45	85	32.8138 - 5.47168 i		0	50	85	32.3964 - 6.1315 i		0	55	85	31.9841 - 6.78211 i
0	45	90	32.561 - 5.86774 i		0	50	90	32.147 - 6.52085 i		0	55	90	31.737 - 7.16676 i
0	45	95	32.3141 - 6.23629 i		0	50	95	31.9021 - 6.8867 i		0	55	95	31.4937 - 7.53089 i
0	45	100	32.0717 - 6.58239 i)	0	50	100	31.6611 - 7.23286 i	<i>j</i>	0	55	100	31.2536 - 7.87746 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ
(0	60	0	31.1455
0	60	5	30.1234
0	60	10	30.1071
0	60	15	30.2302
0	60	20	30.4575
0	60	25	30.7956
0	60	30	31.2846
0	60	35	32.0483
0	60	40	34.7956
0	60	45	33.86 - 2.75409 i
0	60	50	33.4895 - 3.72482 i
0	60	55	33.1731 - 4.46418 i
0	60	60	32.8816 - 5.08733 i
0	60	65	32.605 - 5.63721 i
0	60	70	32.3383 - 6.13537 i
0	60	75	32.0789 - 6.59442 i
0	60	80	31.8252 - 7.02248 i
0	60	85	31.576 - 7.42515 i
0	60	90	31.3306 - 7.80651 i
0	60	95	31.0883 - 8.16961 i
0	60	100	30.8489 - 8.51683 i

_				
	$\overline{X_1}$	X_2	X_3	in situ
/	0	65	0	30.9632
	0	65	5	30.0041
	0	65	10	30.0468
	0	65	15	30.2445
	0	65	20	30.5732
	0	65	25	31.0649
	0	65	30	31.8427
	0	65	35	34.6336
	0	65	40	33.7112 - 2.81147 i
	0	65	45	33.342 - 3.81454 i
	0	65	50	33.0254 - 4.58104 i
	0	65	55	32.733 - 5.22835 i
	0	65	60	32.4549 - 5.80036 i
	0	65	65	32.1866 - 6.31908 i
	0	65	70	31.9254 - 6.79743 i
	0	65	75	31.6699 - 7.24376 i
	0	65	80	31.4188 - 7.66382 i
	0	65	85	31.1714 - 8.06181 i
	0	65	90	30.9272 - 8.44088 i
	0	65	95	30.6857 - 8.80347 i
	0	65	100	30.4467 - 9.15155 i

X_1	X_2	X_3	in situ
(0	70	0	30.8325
0	70	5	29.9576
0	70	10	30.0777
0	70	15	30.3787
0	70	20	30.8631
0	70	25	31.6474
0	70	30	34.4662
0	70	35	33.5631 -2.85753 i
0	70	40	33.1964 - 3.89087 i
0	70	45	32.8801 - 4.6833 i
0	70	50	32.5871 - 5.35394 i
0	70	55	32.3079 - 5.94737 i
0	70	60	32.0381 - 6.48605 i
0	70	65	31.7754 - 6.98317 i
0	70	70	31.5181 - 7.44726 i
0	70	75	31.2652 - 7.88424 i
0	70	80	31.0159 - 8.29839 i
0	70	85	30.7699 - 8.69296 i
0	70	90	30.5265 - 9.07049 i
0	70	95	30.2856 - 9.43297 i
0	70	100	30.0468 - 9.78204 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1 X_2 X_3	in situ	X_1	X_2 X	in situ		X_1 .	X_2 X	in situ
(5 0 0	36.5923	(5 5	5 0	37.7176	· \	5 10	0	37.3564
5 0 5	34.0949	5 5	5 5	27.5185		5 10	5	26.236
5 0 10	33.4001	5 5	5 10	25.8476		5 10	10	24.5264
5 0 15	32.9105	5 5	5 15	24.8629		5 10	15	23.5618
5 0 20	32.5248	5 5	5 20	24.2184		5 10	20	22.9696
5 0 25	32.2065	5 5	5 25	23.7949		5 10	25	22.6224
5 0 30	31.9379	5 5	5 30	23.5372		5 10	30	22.4623
5 0 35	31.7094	5 5	5 35	23.417		5 10	35	22.4607
5 0 40	31.5155	5 5	5 40	23.4196		5 10	40	22.6043
5 0 45	31.3531	5 5	5 45	23.5391		5 10	45	22.8905
5 0 50	31.2209	5 5	5 50	23.7765		5 10	50	23.3253
5 0 55	31.119	5 5	5 55	24.1392		5 10	55	23.9245
5 0 60	31.049	5 5	5 60	24.6424		5 10	60	24.7172
5 0 65	31.0143	5 5	5 65	25.3126		5 10	65	25.7545
5 0 70	31.0209	5 5	5 70	26.1952		5 10	70	27.1302
5 0 75	31.079	5 5	5 75	27.3733		5 10	75	29.0423
5 0 80	31.207	5 5	5 80	29.021		5 10	80	32.052
5 0 85	31.4434	5 5	5 85	31.6322		5 10	85	47.6785
5 0 90	31.894	5 5	5 90	45.2933		5 10	90	37.3386 - 11.8155 i
5 0 95	34.2035	5 5	5 95	36.2045 - 10.3953 i		5 10	95	35.2033 - 14.5497 i
5 0 100	32.8476 - 2.26802 i	5 5	5 100	34.2786 - 12.796 i	<i>)</i>	5 10	100	33.683 - 16.5381 i

Tabla Nº11. (Continuación)

$X_1 X_2$	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ
(5 15	0	36.95	١	(5	20	0	36.5361)	(5	25	0	36.1245
5 15	5	25.3953		5	20	5	24.788		5	25	5	24.3406
5 15	10	23.7095		5	20	10	23.1597		5	25	10	22.7951
5 15	15	22.7995		5	20	15	22.3253		5	25	15	22.054
5 15	20	22.2813		5	20	20	21.8972		5	25	20	21.7312
5 15	25	22.0249		5	20	25	21.7453		5	25	25	21.6995
5 15	30	21.9725		5	20	30	21.814		5	25	30	21.9068
5 15	35	22.0971		5	20	35	22.0795		5	25	35	22.3351
5 15	40	22.3887		5	20	40	22.5374		5	25	40	22.9885
5 15	45	22.8497		5	20	45	23.1986		5	25	45	23.8923
5 15	50	23.4947		5	20	50	24.0914		5	25	50	25.1
5 15	55	24.3532		5	20	55	25.2705		5	25	55	26.7172
5 15	60	25.4789		5	20	60	26.8396		5	25	60	28.9712
5 15	65	26.972		5	20	65	29.02		5	25	65	32.5117
5 15	70	29.0444		5	20	70	32.4418		5	25	70	50.7065
5 15	75	32.2984		5	20	75	50.0674		5	25	75	38.8297 -13.6946 i
5 15	80	49.1141		5	20	80	38.512 - 13.2733 i		5	25	80	36.4611 - 16.9239 i
5 15	85	38.0404 - 12.6801 i		5	20	85	36.1868 - 16.3802 i		5	25	85	34.789 - 19.2976 i
5 15	90	35.7875 - 15.6292 i		5	20	90	34.5427 - 18.6553 i		5	25	90	33.4277 - 21.2726 i
5 15	95	34.1905 - 17.7811 i		5	20	95	33.2035 - 20.5431 i		5	25	95	32.2455 - 23.0086 i
5 15	100	32.8878 - 19.5622 i		5	20	100	32.0403 - 22.1991 i)	5	25	100	31.1807 - 24.5819 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_{I}	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_{I}	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
/ 5	30	0	35.7187	١	(5	35	0	35.3197)	5	40	0	34.9281
5	30	5	24.0193		5	35	5	23.8069		5	40	5	23.6951
5	30	10	22.5787		5	35	10	22.4929		5	40	10	22.5307
5	30	15	21.9484		5	35	15	21.9921		5	40	15	22.1815
5	30	20	21.748		5	35	20	21.9344		5	40	20	22.2917
5	30	25	21.8553		5	35	25	22.2051		5	40	25	22.7585
5	30	30	22.2245		5	35	30	22.7681		5	40	30	23.5614
5	30	35	22.8465		5	35	35	23.6294		5	40	35	24.733
5	30	40	23.7401		5	35	40	24.8336		5	40	40	26.37
5	30	45	24.9558		5	35	45	26.4833		5	40	45	28.7025
5	30	50	26.599		5	35	50	28.8104		5	40	50	32.4044
5	30	55	28.9006		5	35	55	32.4858		5	40	55	51.3771
5	30	60	32.5234		5	35	60	51.3267		5	40	60	39.1631 - 14.2991 i
5	30	65	51.1116		5	35	65	39.1382 - 14.1875 i		5	40	65	36.78 - 17.7692 i
5	30	70	39.0313 - 13.9909 i		5	35	70	36.7436 - 17.5934 i		5	40	70	35.0991 - 20.3544 i
5	30	75	36.6408 - 17.3178 i		5	35	75	35.055 - 20.1185 i		5	40	75	33.728 - 22.5253 i
5	30	80	34.9548 - 19.7734 i		5	35	80	33.6794 - 22.232 i		5	40	80	32.5341 - 24.4461 i
5	30	85	33.5821 - 21.8223 i		5	35	85	32.4831 - 24.0976 i		5	40	85	31.4555 - 26.1954 i
5	30	90	32.3894 - 23.6271 i		5	35	90	31.404 - 25.7938 i		5	40	90	30.4586 - 27.8177 i
5	30	95	31.3145 - 25.2653 i		5	35	95	30.4078 - 27.3648 i		5	40	95	29.5226 - 29.3407 i
5	30	100	30.3232 - 26.7807 i		5	35	100	29.4736 - 28.8383 i	, ,	5	40	100	28.6342 - 30.7833 i)

Tabla Nº11. (Continuación)

	X_1	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
1	5	45	0	34.5436)	(5	50	0	34.1658) .	5	55	0	33.7942
	5	45	5	23.6817		5	50	5	23.7693		5	55	5	23.9655
	5	45	10	22.6929		5	50	10	22.987		5	55	10	23.4289
	5	45	15	22.5222		5	50	15	23.0299		5	55	15	23.7334
	5	45	20	22.8338		5	50	20	23.5899		5	55	20	24.6126
	5	45	25	23.5431		5	50	25	24.6124		5	55	25	26.0683
	5	45	30	24.657		5	50	30	26.1584		5	55	30	28.2886
	5	45	35	26.2607		5	50	35	28.44		5	55	35	31.9221
	5	45	40	28.5785		5	50	40	32.1216		5	55	40	50.6397
	5	45	45	32.2825		5	50	45	51.0311		5	55	45	38.8073 - 14.1859 i
	5	45	50	51.2766		5	50	50	38.9948 - 14.2961 i		5	55	50	36.5474 - 17.7828 i
	5	45	55	39.1139 - 14.334 i		5	50	55	36.6788 - 17.8598 i		5	55	55	34.9449 - 20.5117 i
	5	45	60	36.757 – 17.856 i		5	50	60	35.0408 - 20.5454 i		5	55	60	33.6278 - 22.8297 i
	5	45	65	35.093 - 20.4942 i		5	50	65	33.6991 - 22.8171 i		5	55	65	32.4719 - 24.8965 i
	5	45	70	33.7333 - 22.7173 i		5	50	70	32.5255 - 24.8372 i		5	55	70	31.4204 - 26.7888 i
	5	45	75	32.547 - 24.6892 i		5	50	75	31.461 - 26.6834 i		5	55	75	30.4424 - 28.5504 i
	5	45	80	31.4735 - 26.4881 i		5	50	80	30.4734 - 28.3999 i		5	55	80	29.5192 - 30.2088 i
	5	45	85	30.4795 - 28.1585 i		5	50	85	29.5432 - 30.0145 i		5	55	85	28.6388 - 31.7827 i
	5	45	90	29.545 - 29.7282 i		5	50	90	28.6577 - 31.5459 i		5	55	90	27.7929 - 33.2857 i
	5	45	95	28.6568 - 31.216 i		5	50	95	27.8083 - 33.0075 i		5	55	95	26.9755 - 34.7278 i
/	5	45	100	27.8059 - 32.6354 i)	5	50	100	26.9887 - 34.4095 i]	5	55	100	26.1823 - 36.1168 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ
(5	60	0	33.4276
5	60	5	24.2842
5	60	10	24.0457
5	60	15	24.6833
5	60	20	26.
5	60	25	28.1269
5	60	30	31.683
5	60	35	50.095
5	60	40	38.5505 - 14.0006 i
5	60	45	36.3634 - 17.6237 i
5	60	50	34.8064 - 20.3936 i
5	60	55	33.5208 - 22.757 i
5	60	60	32.3878 - 24.8701 i
5	60	65	31.3532 - 26.8083 i
5	60	70	30.388 - 28.6149 i
5	60	75	29.4745 - 30.3169 i
5	60	80	28.6014 - 31.9333 i
5	60	85	27.7609 - 33.4773 i
5	60	90	26.9475 - 34.9592 i
5	60	95	26.157 - 36.3866 i
5	60	100	25.3863 - 37.766 i

X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(5	65	0	33.0645
5	65	5	24.7484
5	65	10	24.8836
5	65	15	25.9719
5	65	20	27.959
5	65	25	31.4019
5	65	30	49.381
5	65	35	38.2209 - 13.7338 i
5	65	40	36.1256 - 17.3781 i
5	65	45	34.6253 - 20.1885 i
5	65	50	33.3787 - 22.5979 i
5	65	55	32.2739 - 24.7584 i
5	65	60	31.2605 - 26.7436 i
5	65	65	30.3113 - 28.5959 i
5	65	70	29.4101 - 30.3424 i
5	65	75	28.5466 - 32.0017 i
5	65	80	27.7134 - 33.5871 i
5	65	85	26.9056 - 35.1089 i
5	65	90	26.1193 - 36.575 i
5	65	95	25.3516 - 37.9917 i
5	65	100	24.6003 - 39.3641 i

X_{I}	X_2	X_3	in situ
(5	70	0	32.7026
5	70	5	25.3971
5	70	10	26.0266
5	70	15	27.793
5	70	20	31.0742
5	70	25	48.4701
5	70	30	37.8116 - 13.3739 i
5	70	35	35.8311 - 17.0371 i
5	70	40	34.4005 - 19.8901 i
5	70	45	33.2014 - 22.3485 i
5	70	50	32.1308 - 24.5591 i
5	70	55	31.1429 - 26.5937 i
5	70	60	30.2131 - 28.4939 i
5	70	65	29.327 - 30.2864 i
5	70	70	28.4751 - 31.9899 i
5	70	75	27.6511 - 33.6179 i
5	70	80	26.8505 - 35.1805 i
5	70	85	26.0698 - 36.6858 i
5	70	90	25.3063 - 38.1403 i
5	70	95	24.5582 - 39.5492 i
5	70	100	23.8237 - 40.9169 i

Tabla Nº11. (Continuación)

$X_1 X_2 $	X ₃ in situ	$X_1 X_2$	X_3	in situ		X_1 X_2	X_3	in situ
(10 0	0 35.6534	(10 5	0	37.4402	١	10 10	0	37.1848
10 0	5 32.453	10 5	5	25.7757		10 10	5	24.6011
10 0 1	10 31.5831	10 5	10	23.905		10 10	10	22.7248
10 0 1	15 30.9859	10 5	15	22.8294		10 10	15	21.7013
10 0 2	30.5283	10 5	20	22.1522		10 10	20	21.1094
10 0 2	25 30.1622	10 5	25	21.737		10 10	25	20.8057
10 0 3	30 29.8645	10 5	30	21.5217		10 10	30	20.7266
10 0 3	35 29.6226	10 5	35	21.475		10 10	35	20.842
10 0 4	29.4298	10 5	40	21.5824		10 10	40	21.1407
10 0 4	29.2824	10 5	45	21.8404		10 10	45	21.6249
10 0 5	29.1796	10 5	50	22.2547		10 10	50	22.31
10 0 5	55 29.1227	10 5	55	22.8414		10 10	55	23.228
10 0 6	29.1157	10 5	60	23.6301		10 10	60	24.4368
10 0 6	29.1662	10 5	65	24.6733		10 10	65	26.0446
10 0 7	70 29.2874	10 5	70	26.0677		10 10	70	28.2808
10 0 5	75 29.5038	10 5	75	28.0169		10 10	75	31.7969
10 0 8	29.866	10 5	80	31.0988		10 10	80	49.9614
10 0 8	30.5135	10 5	85	47.0849		10 10	85	38.0153 - 13.7192 i
10 0 9	33.5711	10 5	90	36.5461 - 12.169 i		10 10	90	35.5788 - 16.9193 i
10 0 9	95 31.9153 – 2.99172 i	10 5	95	34.3365 - 15.0103 i		10 10	95	33.8503 - 19.2563 i
10 0 1	00 31.2879 - 3.89183 i /	10 5	100	32.755 - 17.0791 i		10 10	100	32.4397 - 21.1918 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(10	30	0	35.6482	١	(10	35	0	35.2401	 \	10	40	0	34.8296
10	30	5	22.8076		10	35	5	22.7138		10	40	5	22.7308
10	30	10	21.3561		10	35	10	21.4382		10	40	10	21.6609
10	30	15	20.8112		10	35	15	21.0703		10	40	15	21.5005
10	30	20	20.7613		10	35	20	21.2154		10	40	20	21.8784
10	30	25	21.0792		10	35	25	21.7599		10	40	25	22.7016
10	30	30	21.725		10	35	30	22.6819		10	40	30	23.9796
10	30	35	22.7058		10	35	35	24.0184		10	40	35	25.8092
10	30	40	24.0719		10	35	40	25.879		10	40	40	28.4441
10	30	45	25.9391		10	35	45	28.5234		10	40	45	32.6442
10	30	50	28.5684		10	35	50	32.7122		10	40	50	54.2179
10	30	55	32.715		10	35	55	54.2152		10	40	55	40.3612 - 16.1913 i
10	30	60	54.0025		10	35	60	40.335 - 16.1283 i		10	40	60	37.7166 - 20.1481 i
10	30	65	40.2006 - 15.9648 i		10	35	65	37.6624 - 20.0233 i		10	40	65	35.8597 - 23.1141 i
10	30	70	37.5192 - 19.7819 i		10	35	70	35.7864 - 22.9271 i		10	40	70	34.3481 - 25.6158 i
10	30	75	35.6365 - 22.6135 i		10	35	75	34.2614 - 25.3675 i		10	40	75	33.0327 - 27.8366 i
10	30	80	34.1071 - 24.9852 i		10	35	80	32.9367 - 27.5283 i		10	40	80	31.8445 - 29.8641 i
10	30	85	32.7801 - 27.0803 i		10	35	85	31.7421 - 29.4977 i		10	40	85	30.7461 - 31.7481 i
10	30	90	31.5849 - 28.9864 i		10	35	90	30.6395 - 31.3251 i		10	40	90	29.7145 - 33.5195 i
10	30	95	30.4831 - 30.7529 i		10	35	95	29.6055 - 33.0419 i		10	40	95	28.735 - 35.1996 i
10	30	100	29.451 - 32.4108 i	, '	10	35	100	28.625 - 34.6688 i	, 1	10	40	100	27.7973 - 36.8032 i /

Tabla Nº11. (Continuación)

X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_{I}	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(10	45	0	34.417	. (10	50	0	34.0015) 1	10	55	0	33.5817
10	45	5	22.8596		10	50	5	23.1076		10	55	5	23.4893
10	45	10	22.0309		10	50	10	22.5644		10	55	10	23.291
10	45	15	22.1175		10	50	15	22.9524		10	55	15	24.0609
10	45	20	22.7809		10	50	20	23.9811		10	55	20	25.5884
10	45	25	23.9627		10	50	25	25.6566		10	55	25	28.0262
10	45	30	25.7332		10	50	30	28.1933		10	55	30	32.077
10	45	35	28.3332		10	50	35	32.3263		10	55	35	53.0567
10	45	40	32.515		10	50	40	53.64		10	55	40	39.8574 - 15.8324 i
10	45	45	54.0249		10	50	45	40.1201 - 16.0429 i		10	55	45	37.4121 - 19.9037 i
10	45	50	40.2881 - 16.1619 i		10	50	50	37.5881 - 20.0855 i		10	55	50	35.6843 - 23.0203 i
10	45	55	37.6902 - 20.1671 i		10	50	55	35.8049 - 23.1559 i		10	55	55	34.2641 - 25.6827 i
10	45	60	35.8642 - 23.188 i		10	50	60	34.3455 - 25.7668 i		10	55	60	33.0159 - 28.0658 i
10	45	65	34.3745 - 25.7459 i		10	50	65	33.0685 - 28.0971 i		10	55	65	31.8784 - 30.2538 i
10	45	70	33.0751 - 28.0226 i		10	50	70	31.9089 - 30.2325 i		10	55	70	30.8184 - 32.2946 i
10	45	75	31.8987 - 30.105 i		10	50	75	30.832 - 32.2219 i		10	55	75	29.8161 - 34.2188 i
10	45	80	30.8088 - 32.0425 i		10	50	80	29.8164 - 34.096 i		10	55	80	28.8586 - 36.0472 i
10	45	85	29.7835 - 33.8661 i		10	50	85	28.8486 - 35.8758 i		10	55	85	27.9373 - 37.7948 i
10	45	90	28.8083 - 35.5967 i		10	50	90	27.9193 - 37.5763 i		10	55	90	27.0459 - 39.4729 i
10	45	95	27.8734 - 37.2495 i		10	50	95	27.0216 - 39.2087 i		10	55	95	26.1798 - 41.0902 i
10	45	100	26.9718 - 38.8356 i		10	50	100	26.1508 - 40.7816 i) \	10	55	100	25.3354 - 42.6536 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(10	60	0	33.1549	(10	65	0	32.7168) (10	70	0	32.2597
10	60	5	24.0296		10	65	5	24.771		10	70	5	25.79
10	60	10	24.2615		10	65	10	25.5692		10	70	10	27.4087
10	60	15	25.5459		10	65	15	27.6242		10	70	15	30.909
10	60	20	27.8348		10	65	20	31.3786		10	70	20	49.8597
10	60	25	31.7635		10	65	25	51.2113		10	70	25	38.4409 - 14.5529 i
10	60	30	52.258		10	65	30	39.0293 - 15.1044 i		10	70	30	36.4199 - 18.6871 i
10	60	35	39.4966 - 15.5237 i		10	65	35	36.833 - 19.2173 i		10	70	35	34.9531 - 21.9508 i
10	60	40	37.1615 - 19.6174 i		10	65	40	35.2605 - 22.4267 i		10	70	40	33.7129 - 24.7826 i
10	60	45	35.5032 - 22.7793 i		10	65	45	33.9483 - 25.1965 i		10	70	45	32.5962 - 27.339 i
10	60	50	34.1316 - 25.4939 i		10	65	50	32.7795 - 27.6902 i		10	70	50	31.5581 - 29.6975 i
10	60	55	32.9194 - 27.9307 i		10	65	55	31.7022 - 29.9878 i		10	70	55	30.5752 - 31.9036 i
10	60	60	31.8091 - 30.1721 i		10	65	60	30.689 - 32.1354 i		10	70	60	29.6336 - 33.9868 i
10	60	65	30.7703 - 32.2653 i		10	65	65	29.7235 - 34.1629 i		10	70	65	28.7246 - 35.9679 i
10	60	70	29.7846 - 34.2402 i		10	65	70	28.7953 - 36.0909 i		10	70	70	27.8422 - 37.8621 i
10	60	75	28.8404 - 36.1177 i		10	65	75	27.8975 - 37.9344 i		10	70	75	26.9821 - 39.6809 i
10	60	80	27.9296 - 37.9127 i		10	65	80	27.0249 - 39.7049 i		10	70	80	26.1412 - 41.4335 i
10	60	85	27.0465 - 39.6365 i		10	65	85	26.1738 - 41.4113 i		10	70	85	25.3172 - 43.1272 i
10	60	90	26.187 - 41.298 i		10	65	90	25.3414 - 43.0607 i		10	70	90	24.5081 - 44.7681 i
10	60	95	25.3478 - 42.9042 i		10	65	95	24.5255 - 44.659 i		10	70	95	23.7124 - 46.3612 i
10	60	100	24.5265 - 44.4609 i /	(10	65	100	23.7243 - 46.2112 i]	10	70	100	22.9289 - 47.9107 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1 X	X_2 X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(15 0	0	35.003	(15	5	0	37.1813)	15	10	0	36.9801
15 0	5	31.3314		15	5	5	24.6993		15	10	5	23.6244
15 0	10	30.347		15	5	10	22.7381		15	10	10	21.6917
15 0	15	29.6827		15	5	15	21.6388		15	10	15	20.676
15 0	20	29.1836		15	5	20	20.9762		15	10	20	20.1309
15 0	25	28.7938		15	5	25	20.6049		15	10	25	19.9057
15 0	30	28.4867		15	5	30	20.4598		15	10	30	19.9353
15 0	35	28.2483		15	5	35	20.5097		15	10	35	20.1918
15 0	40	28.0711		15	5	40	20.7424		15	10	40	20.6688
15 0	45	27.9519		15	5	45	21.1594		15	10	45	21.3782
15 0	50	27.8911		15	5	50	21.775		15	10	50	22.3511
15 0	55	27.8924		15	5	55	22.6194		15	10	55	23.6486
15 0	60	27.9641		15	5	60	23.7487		15	10	60	25.3867
15 0	65	28.1213		15	5	65	25.2673		15	10	65	27.8137
15 0	70	28.3922		15	5	70	27.3972		15	10	70	31.6361
15 0	75	28.8359		15	5	75	30.7681		15	10	75	51.3384
15 0	0 8 0	29.6151		15	5	80	48.184		15	10	80	38.4426 - 14.8877 i
15 0	85	33.1789		15	5	85	36.7741 - 13.2755 i		15	10	85	35.8293 - 18.3904 i
15 0	90	31.325 - 3.49082 i		15	5	90	34.3931 - 16.4063 i		15	10	90	33.977 - 20.9587 i
15 0	95	30.6259 - 4.55991 i		15	5	95	32.6899 - 18.6948 i		15	10	95	32.4656 - 23.0921 i
15 0	100	30.0448 - 5.35603 i	(15	5	100	31.2918 - 20.591 i	,	15	10	100	31.1515 - 24.965 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ	X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(15	15	0	36.6534	15	20	0	36.2789) (15	25	0	35.8799
15	15	5	22.9793	15	20	5	22.5673		15	25	5	22.3216
15	15	10	21.1387	15	20	10	20.8568		15	25	10	20.7723
15	15	15	20.2408	15	20	15	20.1012		15	25	15	20.1833
15	15	20	19.8342	15	20	20	19.8539		15	25	20	20.1193
15	15	25	19.7698	15	20	25	19.9707		15	25	25	20.4453
15	15	30	19.986	15	20	30	20.3975		15	25	30	21.1189
15	15	35	20.4615	15	20	35	21.1235		15	25	35	22.1472
15	15	40	21.2002	15	20	40	22.1703		15	25	40	23.5834
15	15	45	22.231	15	20	45	23.5975		15	25	45	25.5495
15	15	50	23.6156	15	20	50	25.5287		15	25	50	28.321
15	15	55	25.4759	15	20	55	28.2353		15	25	55	32.6949
15	15	60	28.0747	15	20	60	32.4968		15	25	60	55.1705
15	15	65	32.163	15	20	65	54.4052		15	25	65	40.5922 - 16.8517 i
15	15	70	53.2025	15	20	70	40.1441 - 16.4478 i		15	25	70	37.7626 - 20.8812 i
15	15	75	39.465 - 15.8322 i	15	20	75	37.3436 - 20.3512 i		15	25	75	35.7763 - 23.8716 i
15	15	80	36.7304 - 19.5686 i	15	20	80	35.3741 - 23.2353 i		15	25	80	34.1631 - 26.3775 i
15	15	85	34.8014 - 22.318 i	15	20	85	33.7739 - 25.6443 i		15	25	85	32.7635 - 28.5918 i
15	15	90	33.232 - 24.6081 i	15	20	90	32.3857 - 27.7684 i		15	25	90	31.5032 - 30.6071 i
15	15	95	31.8697 - 26.6227 i	15	20	95	31.1363 - 29.6981 i		15	25	95	30.3414 - 32.4753 i
15	15	100	30.6433 - 28.4501 i	15	20	100	29.9852 - 31.4847 i) (15	25	100	29.2532 - 34.229 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(15	30	0	35.4657	(:	.5	35	0	35.0407	۱ ۱	15	40	0	34.6062
15	30	5	22.2132		.5	35	5	22.2301		15	40	5	22.3699
15	30	10	20.8556	:	.5	35	10	21.0971		15	40	10	21.5001
15	30	15	20.4604	:	.5	35	15	20.9284		15	40	15	21.6004
15	30	20	20.6098	:	.5	35	20	21.3315		15	40	20	22.3134
15	30	25	21.1834	:	.5	35	25	22.208		15	40	25	23.5779
15	30	30	22.1579	:	.5	35	30	23.5681		15	40	30	25.4692
15	30	35	23.5725	:	.5	35	35	25.515		15	40	35	28.2444
15	30	40	25.5434	:	.5	35	40	28.3185		15	40	40	32.7052
15	30	45	28.3458	:	.5	35	45	32.7868		15	40	45	55.6716
15	30	50	32.7863	:	.5	35	50	55.7613		15	40	50	40.9875 - 17.2217 i
15	30	55	55.604		.5	35	55	40.9903 - 17.2168 i		15	40	55	38.2265 - 21.4825 i
15	30	60	40.8642 - 17.0985 i		.5	35	60	38.1832 - 21.4191 i		15	40	60	36.2899 - 24.6981 i
15	30	65	38.0337 - 21.2253 i		.5	35	65	36.2153 - 24.5709 i		15	40	65	34.7118 - 27.4224 i
15	30	70	36.0489 - 24.3032 i		.5	35	70	34.6148 - 27.2304 i		15	40	70	33.3366 - 29.8482 i
15	30	75	34.4363 - 26.891 i	:	.5	35	75	33.223 - 29.5923 i		15	40	75	32.0923 - 32.0679 i
15	30	80	33.0361 - 29.1833 i		.5	35	80	31.9665 - 31.7496 i		15	40	80	30.9401 - 34.134 i
15	30	85	31.774 - 31.2732 i		.5	35	85	30.8053 - 33.7547 i		15	40	85	29.8565 - 36.0792 i
15	30	90	30.6093 - 33.2132 i		.5	35	90	29.7152 - 35.6408 i		15	40	90	28.8261 - 37.9258 i
15	30	95	29.5174 - 35.0361 i		.5	35	95	28.6803 - 37.43 i		15	40	95	27.8385 - 39.6899 i
15	30	100	28.4821 - 36.7641 i	(:	.5	35	100	27.6897 - 39.1382 i	, ,	15	40	100	26.8862 - 41.3831 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(15	45	0	34.1621	-	15	50	0	33.7069	۱ ۱	15	55	0	33.2375
15	45	5	22.6385		15	50	5	23.05		15	55	5	23.6299
15	45	10	22.0798		15	50	10	22.8662		15	55	10	23.9127
15	45	15	22.5072		15	50	15	23.7071		15	55	15	25.3087
15	45	20	23.6154		15	50	20	25.3532		15	55	20	27.7735
15	45	25	25.4122		15	50	25	27.9695		15	55	25	31.9887
15	45	30	28.1272		15	50	30	32.3079		15	55	30	53.97
15	45	35	32.5455		15	50	35	54.7848		15	55	35	40.267 - 16.5919 i
15	45	40	55.3467		15	50	40	40.6255 - 16.9118 i		15	55	40	37.7874 - 20.9578 i
15	45	45	40.8649 - 17.1198 i		15	50	45	38.026 - 21.2515 i		15	55	45	36.0326 - 24.333 i
15	45	50	38.1727 - 21.4256 i		15	50	50	36.1949 - 24.5762 i		15	55	50	34.5839 - 27.2328 i
15	45	55	36.2814 - 24.6979 i		15	50	55	34.6923 - 27.4182 i		15	55	55	33.3049 - 29.8376 i
15	45	60	34.7359 - 27.4822 i		15	50	60	33.3732 - 29.9634 i		15	55	60	32.1342 - 32.2348 i
15	45	65	33.3849 - 29.9685 i		15	50	65	32.1718 - 32.3014 i		15	55	65	31.0392 - 34.4743 i
15	45	70	32.159 - 32.2479 i		15	50	70	31.0528 - 34.4831 i		15	55	70	30.0003 - 36.5882 i
15	45	75	31.0209 - 34.3723 i		15	50	75	29.9949 - 36.5409 i		15	55	75	29.0053 - 38.5984 i
15	45	80	29.9481 - 36.3743 i		15	50	80	28.9847 - 38.4969 i		15	55	80	28.0455 - 40.521 i
15	45	85	28.926 - 38.2762 i		15	50	85	28.0126 - 40.367 i		15	55	85	27.1149 - 42.3678 i
15	45	90	27.9447 - 40.0938 i		15	50	90	27.0722 - 42.1631 i		15	55	90	26.2091 - 44.1482 i
15	45	95	26.997 - 41.839 i		15	50	95	26.1585 - 43.8946 i		15	55	95	25.3247 - 45.8698 i
15	45	100	26.0776 - 43.5212 i	(15	50	100	25.2678 - 45.5688 i	, ,	15	55	100	24.459 - 47.5386 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ	X_{I}	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_{I}	X_2	X_3	in situ
(15	60	0	32.7483	 15	65	0	32.2299) i	15	70	0	31.6644
15	60	5	24.4224	15	65	5	25.5083		15	70	5	27.0563
15	60	10	25.3176	15	65	10	27.2878		15	70	10	30.4088
15	60	15	27.5429	15	65	15	31.0635		15	70	15	49.504
15	60	20	31.5794	15	65	20	51.4185		15	70	20	38.3514 - 14.778 i
15	60	25	52.8686	15	65	25	39.152 - 15.5561 i		15	70	25	36.4676 - 19.2258 i
15	60	30	39.7811 - 16.1476 i	15	65	30	37.0182 - 19.9676 i		15	70	30	35.0729 - 22.7879 i
15	60	35	37.4539 - 20.5354 i	15	65	35	35.4763 - 23.4547 i		15	70	35	33.87 - 25.8973 i
15	60	40	35.7941 - 23.9631 i	15	65	40	34.1747 - 26.4832 i		15	70	40	32.7695 - 28.7123 i
15	60	45	34.4117 - 26.9237 i	15	65	45	33.0035 - 29.2191 i		15	70	45	31.7338 - 31.3129 i
15	60	50	33.1815 - 29.591 i	15	65	50	31.9147 - 31.7447 i		15	70	50	30.7437 - 33.747 i
15	60	55	32.0482 - 32.0499 i	15	65	55	30.8836 - 34.1081 i		15	70	55	29.788 - 36.0461 i
15	60	60	30.9823 - 34.3493 i	15	65	60	29.8956 - 36.3409 i		15	70	60	28.8599 - 38.2326 i
15	60	65	29.9667 - 36.521 i	15	65	65	28.9415 - 38.465 i		15	70	65	27.9545 - 40.323 i
15	60	70	28.9903 - 38.5869 i	15	65	70	28.0149 - 40.4964 i		15	70	70	27.0685 - 42.3299 i
15	60	75	28.0456 - 40.5628 i	15	65	75	27.1115 - 42.4476 i		15	70	75	26.1994 - 44.2635 i
15	60	80	27.1274 - 42.461 i	15	65	80	26.228 - 44.3282 i		15	70	80	25.3453 - 46.1318 i
15	60	85	26.2317 - 44.2908 i	15	65	85	25.362 - 46.1461 i		15	70	85	24.5048 - 47.9414 i
15	60	90	25.3555 - 46.0601 i	15	65	90	24.5114 - 47.9076 i		15	70	90	23.6764 - 49.6981 i
15	60	95	24.4966 - 47.7749 i	15	65	95	23.6747 - 49.6181 i		15	70	95	22.8593 - 51.4063 i
15	60	100	23.6529 - 49.4404 i	15	65	100	22.8506 - 51.2821 i	, ,	15	70	100	22.0525 - 53.0703 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1 X_2 X_3	in situ	X	1 4	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(20 0 0	34.516	(2	0 :	5	0	36.951)	20	10	0	36.7779
20 0 5	30.4918	2) i	5	5	23.9741		20	10	5	22.9973
20 0 10	29.4252	2) i	5	10	21.9806		20	10	10	21.0683
20 0 15	28.7159	2) i	5	15	20.8959		20	10	15	20.1005
20 0 20	28.1927	2) i	5	20	20.2776		20	10	20	19.6338
20 0 25	27.7941	2) i	5	25	19.9756		20	10	25	19.5151
20 0 30	27.4909	2) i	5	30	19.9244		20	10	30	19.6813
20 0 35	27.2682	2) i	5	35	20.0952		20	10	35	20.1093
20 0 40	27.1189	2) i	5	40	20.4806		20	10	40	20.8026
20 0 45	27.0409	2) i	5	45	21.0907		20	10	45	21.7888
20 0 50	27.0371	2) i	5	50	21.9544		20	10	50	23.129
20 0 55	27.1155	2) i	5	55	23.1287		20	10	55	24.9435
20 0 60	27.2926	2) i	5	60	24.7231		20	10	60	27.4927
20 0 65	27.599	2) i	5	65	26.9716		20	10	65	31.5206
20 0 70	28.1003	2) i	5	70	30.5405		20	10	70	52.2676
20 0 75	28.9765	2) i	5	75	48.9461		20	10	75	38.7447 - 15.6942 i
20 0 80	32.9227	2) i	5	80	36.948 - 14.0546 i		20	10	80	36.0157 - 19.4205 i
20 0 85	30.9217 - 3.87602 i	2) i	5	85	34.4505 - 17.4014 i		20	10	85	34.0809 - 22.164 i
20 0 90	30.1659 - 5.07912 i	2	O i	5	90	32.6629 - 19.8574 i		20	10	90	32.501 - 24.4495 i
20 0 95	29.5375 - 5.97831 i	2) i	5	95	31.1944 - 21.898 i		20	10	95	31.1261 - 26.4605 i
20 0 100	28.9701 - 6.72983 i	2) i	5	100	29.9111 - 23.6896 i	, ।	20	10	100	29.8859 - 28.2846 i /

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ	$\Big] \Big[$	X_1	X_2	X_3	in situ
(20	15	0	36.4596	١	(20	20	0	36.0828	۱ (20	25	0	35.6739
20	15	5	22.443		20	20	5	22.1224		20	25	5	21.9727
20	15	10	20.6413		20	20	10	20.4878		20	25	10	20.5399
20	15	15	19.8238		20	20	15	19.8477		20	25	15	20.1064
20	15	20	19.5299		20	20	20	19.7513		20	25	20	20.2384
20	15	25	19.6107		20	20	25	20.0582		20	25	25	20.8104
20	15	30	20.0097		20	20	30	20.724		20	25	30	21.7975
20	15	35	20.7148		20	20	35	21.7552		20	25	35	23.2398
20	15	40	21.7474		20	20	40	23.2057		20	25	40	25.2566
20	15	45	23.1673		20	20	45	25.2		20	25	45	28.131
20	15	50	25.0993		20	20	50	28.0197		20	25	50	32.6934
20	15	55	27.8177		20	20	55	32.4797		20	25	55	56.1637
20	15	60	32.1106		20	20	60	55.4221		20	25	60	41.0008 - 17.6049 i
20	15	65	54.2027		20	20	65	40.545 - 17.233 i		20	25	65	38.0811 - 21.8591 i
20	15	70	39.8335 - 16.6365 i		20	20	70	37.643 - 21.3626 i		20	25	70	36.0313 - 25.0333 i
20	15	75	36.9888 - 20.5989 i		20	20	75	35.602 - 24.4285 i		20	25	75	34.3647 - 27.7027 i
20	15	80	34.982 - 23.5277 i		20	20	80	33.9422 - 26.9982 i		20	25	80	32.9168 - 30.0678 i
20	15	85	33.3479 - 25.9747 i		20	20	85	32.5008 - 29.2694 i		20	25	85	31.6111 - 32.2245 i
20	15	90	31.9281 - 28.1325 i		20	20	90	31.2019 - 31.3366 i		20	25	90	30.4059 - 34.2267 i
20	15	95	30.6487 - 30.0932 i		20	20	95	30.0038 - 33.2533 i		20	25	95	29.2758 - 36.1085 i
20	15	100	29.4689 - 31.9086 i	, ,	20	20	100	28.8813 - 35.0528 i	, ,	20	25	100	28.2041 - 37.8925 i /

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(20	30	0	35.2434	1	20	35	0	34.7957) 1	20	40	0	34.332
20	30	5	21.9683		20	35	5	22.1006		20	40	5	22.3722
20	30	10	20.7734		20	35	10	21.1848		20	40	10	21.7863
20	30	15	20.581		20	35	15	21.278		20	40	15	22.226
20	30	20	20.983		20	35	20	22.0086		20	40	20	23.3743
20	30	25	21.877		20	35	25	23.313		20	40	25	25.2395
20	30	30	23.2729		20	35	30	25.269		20	40	30	28.0604
20	30	35	25.2772		20	35	35	28.1431		20	40	35	32.6535
20	30	40	28.1687		20	35	40	32.7673		20	40	40	56.3824
20	30	45	32.7835		20	35	45	56.6022		20	40	45	41.3012 - 17.8057 i
20	30	50	56.5383		20	35	50	41.3544 - 17.8701 i		20	40	50	38.5023 - 22.2829 i
20	30	55	41.2601 - 17.8078 i		20	35	55	38.4886 - 22.2919 i		20	40	55	36.537 - 25.687 i
20	30	60	38.3536 - 22.157 i		20	35	60	36.4783 - 25.6303 i		20	40	60	34.9314 - 28.5844 i
20	30	65	36.3149 - 25.42 i		20	35	65	34.8403 - 28.4594 i		20	40	65	33.528 - 31.1726 i
20	30	70	34.6562 - 28.1743 i		20	35	70	33.4127 - 30.9794 i		20	40	70	32.2548 - 33.5461 i
20	30	75	33.2135 - 30.6209 i		20	35	75	32.121 - 33.2858 i		20	40	75	31.0727 - 35.7586 i
20	30	80	31.9108 - 32.856 i		20	35	80	30.9249 - 35.433 i		20	40	80	29.9585 - 37.8441 i
20	30	85	30.7067 - 34.934 i		20	35	85	29.8 - 37.455 i		20	40	85	28.8971 - 39.8257 i
20	30	90	29.5762 - 36.8888 i		20	35	90	28.7303 - 39.3749 i		20	40	90	27.8779 - 41.7197 i
20	30	95	28.5029 - 38.7435 i		20	35	95	27.7051 - 41.2091 i		20	40	95	26.8937 - 43.5387 i
20	30	100	27.4756 - 40.5146 i /		20	35	100	26.7165 - 42.9701 i) \	20	40	100	25.939 - 45.2922 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(20	45	0	33.8514	(20	50	0	33.3506) 1	20	55	0	32.8235
20	45	5	22.7959		20	50	5	23.3968		20	55	5	24.2201
20	45	10	22.6071		20	50	10	23.7013		20	55	10	25.1707
20	45	15	23.4835		20	50	15	25.1629		20	55	15	27.504
20	45	20	25.1985		20	50	20	27.738		20	55	20	31.7263
20	45	25	27.9245		20	50	25	32.1387		20	55	25	53.9919
20	45	30	32.4448		20	50	30	55.0993		20	55	30	40.2964 - 16.8573 i
20	45	35	55.8853		20	50	35	40.7755 - 17.3068 i		20	55	35	37.8763 - 21.4349 i
20	45	40	41.1081 - 17.6191 i		20	50	40	38.1953 - 21.8579 i		20	55	40	36.1531 - 25.0133 i
20	45	45	38.4035 - 22.1381 i		20	50	45	36.3716 - 25.3784 i		20	55	45	34.7189 - 28.1058 i
20	45	50	36.4999 - 25.6018 i		20	50	50	34.8669 - 28.4044 i		20	55	50	33.4431 - 30.8931 i
20	45	55	34.9385 - 28.5639 i		20	50	55	33.5389 - 31.1237 i		20	55	55	32.2678 - 33.4635 i
20	45	60	33.5682 - 31.2177 i		20	50	60	32.3236 - 33.6269 i		20	55	60	31.1624 - 35.8679 i
20	45	65	32.3204 - 33.6561 i		20	50	65	31.1869 - 35.9662 i		20	55	65	30.1092 - 38.1393 i
20	45	70	31.1582 - 35.9321 i		20	50	70	30.1086 - 38.1748 i		20	55	70	29.0965 - 40.3004 i
20	45	75	30.0596 - 38.0792 i		20	50	75	29.0757 - 40.2756 i		20	55	75	28.1166 - 42.3679 i
20	45	80	29.0104 - 40.1206 i		20	50	80	28.0793 - 42.285 i		20	55	80	27.1641 - 44.3544 i
20	45	85	28.001 - 42.0726 i		20	50	85	27.1133 - 44.2157 i		20	55	85	26.2348 - 46.2697 i
20	45	90	27.0244 - 43.9478 i		20	50	90	26.173 - 46.0772 i		20	55	90	25.3257 - 48.1218 i
20	45	95	26.0756 - 45.7557 i		20	50	95	25.2549 - 47.8775 i		20	55	95	24.4344 - 49.9172 i
20	45	100	25.1506 - 47.5041 i		20	50	100	24.3562 - 49.6228 i	, 1	20	55	100	23.559 - 51.6612 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(20	60	0	32.2594	1	20	65	0	31.6376) 1	20	70	0	30.9136
20	60	5	25.349		20	65	5	26.9586		20	70	5	29.5436
20	60	10	27.2304		20	65	10	30.4908		20	70	10	47.7282
20	60	15	31.1894		20	65	15	50.4976		20	70	15	37.7381 - 14.3478 i
20	60	20	52.4988		20	65	20	38.8205 - 15.4366 i		20	70	20	36.1492 - 19.0718 i
20	60	25	39.6548 - 16.2475 i		20	65	25	36.872 - 20.082 i		20	70	25	34.9121 - 22.9091 i
20	60	30	37.4397 - 20.8527 i		20	65	30	35.4324 - 23.8058 i		20	70	30	33.8025 - 26.2732 i
20	60	35	35.8422 - 24.4959 i		20	65	35	34.1909 - 27.0587 i		20	70	35	32.7591 - 29.3224 i
20	60	40	34.4945 - 27.6618 i		20	65	40	33.0549 - 30.0049 i		20	70	40	31.7581 - 32.1394 i
20	60	45	33.282 - 30.5231 i		20	65	45	31.9853 - 32.7278 i		20	70	45	30.7876 - 34.775 i
20	60	50	32.1549 - 33.1655 i		20	65	50	30.9622 - 35.2771 i		20	70	50	29.841 - 37.2631 i
20	60	55	31.0872 - 35.639 i		20	65	55	29.9743 - 37.6857 i		20	70	55	28.9142 - 39.6278 i
20	60	60	30.0639 - 37.9764 i		20	65	60	29.0144 - 39.9769 i		20	70	60	28.0045 - 41.8871 i
20	60	65	29.0754 - 40.2004 i		20	65	65	28.0776 - 42.1677 i		20	70	65	27.1098 - 44.055 i
20	60	70	28.1154 - 42.3279 i		20	65	70	27.1606 - 44.2715 i		20	70	70	26.2286 - 46.1426 i
20	60	75	27.1792 - 44.3717 i		20	65	75	26.2609 - 46.2987 i		20	70	75	25.3597 - 48.1586 i
20	60	80	26.2634 - 46.3419 i		20	65	80	25.3764 - 48.2578 i		20	70	80	24.5021 - 50.1105 i
20	60	85	25.3656 - 48.2466 i		20	65	85	24.5057 - 50.1556 i		20	70	85	23.6549 - 52.0044 i
20	60	90	24.4836 - 50.0925 i		20	65	90	23.6474 - 51.998 i		20	70	90	22.8176 - 53.8455 i
20	60	95	23.6159 - 51.8852 i		20	65	95	22.8006 - 53.79 i		20	70	95	21.9893 - 55.6383 i
20	60	100	22.7612 - 53.6294 i	(20	65	100	21.9645 - 55.5356 i)	20	70	100	21.1698 - 57.3865 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1 X	X_2 X_3	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(25 C	0 C	34.1435	1	25	5	0	36.748)	25	10	0	36.5864
25 C	5	29.8442		25	5	5	23.487		25	10	5	22.6102
25 C	0 10	28.7172		25	5	10	21.5023		25	10	10	20.729
25 C	15	27.9788		25	5	15	20.4615		25	10	15	19.8411
25 C	20	27.4448		25	5	20	19.9124		25	10	20	19.4814
25 C	25	27.0491		25	5	25	19.7037		25	10	25	19.4984
25 C	30	26.7612		25	5	30	19.7717		25	10	30	19.8339
25 C	35	26.5661		25	5	35	20.0925		25	10	35	20.4745
25 C	0 40	26.4577		25	5	40	20.6677		25	10	40	21.4401
25 C	3 45	26.4365		25	5	45	21.5219		25	10	45	22.7885
25 C	50	26.5098		25	5	50	22.7113		25	10	50	24.6413
25 C	55	26.694		25	5	55	24.3477		25	10	55	27.2663
25 C	0 60	27.022		25	5	60	26.6733		25	10	60	31.4339
25 C	0 65	27.5638		25	5	65	30.3806		25	10	65	52.9095
25 C	70	28.5139		25	5	70	49.4955		25	10	70	38.9659 - 16.2697 i
25 C	75	32.7619		25	5	75	37.0887 - 14.6257 i		25	10	75	36.1606 - 20.1705 i
25 C	08 C	30.6462 - 4.18808 i		25	5	80	34.5096 - 18.143 i		25	10	80	34.1695 - 23.055 i
25 C	3 85	29.8428 - 5.50305 i		25	5	85	32.6612 - 20.7345 i		25	10	85	32.5416 - 25.4652 i
25 C	90	29.1738 - 6.48903 i		25	5	90	31.1406 - 22.8938 i		25	10	90	31.1228 - 27.5907 i
25 C	95	28.5695 - 7.31493 i		25	5	95	29.81 - 24.7935 i		25	10	95	29.8415 - 29.5219 i
25 0	100	28.005 - 8.04234 i	(25	5	100	28.6048 - 26.5166 i)	25	10	100	28.6578 - 31.31 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(25	15	0	36.2656	(25	20	0	35.8785) i	25	25	0	35.4531
25	15	5	22.1491	ĺ	25	20	5	21.9236		25	25	5	21.8756
25	15	10	20.4332		25	20	10	20.4152		25	25	10	20.6145
25	15	15	19.7316		25	20	15	19.931		25	25	15	20.3837
25	15	20	19.5839		25	20	20	20.0258		25	25	20	20.763
25	15	25	19.8461		25	20	25	20.5701		25	25	25	21.6463
25	15	30	20.4717		25	20	30	21.5372		25	25	30	23.0426
25	15	35	21.4662		25	20	35	22.9667		25	25	35	25.0594
25	15	40	22.8824		25	20	40	24.9785		25	25	40	27.9796
25	15	45	24.8443		25	20	45	27.8578		25	25	45	32.6518
25	15	50	27.6324		25	20	50	32.4417		25	25	50	56.7385
25	15	55	32.0592		25	20	55	56.0578		25	25	55	41.2462 - 18.0875 i
25	15	60	54.8636		25	20	60	40.8053 - 17.7591 i		25	25	60	38.284 - 22.5132 i
25	15	65	40.088 - 17.1942 i		25	20	65	37.847 - 22.0624 i		25	25	65	36.202 - 25.8345 i
25	15	70	37.1756 - 21.3316 i		25	20	70	35.7643 - 25.274 i		25	25	70	34.5058 - 28.6385 i
25	15	75	35.1191 - 24.4042 i		25	20	75	34.0677 - 27.9753 i		25	25	75	33.0291 - 31.1295 i
25	15	80	33.442 - 26.9798 i		25	20	80	32.5917 - 30.3689 i		25	25	80	31.6947 - 33.4054 i
25	15	85	31.9828 - 29.2564 i		25	20	85	31.2594 - 32.5517 i		25	25	85	30.4608 - 35.5215 i
25	15	90	30.6659 - 31.3287 i		25	20	90	30.0288 - 34.5784 i		25	25	90	29.3018 - 37.5124 i
25	15	95	29.4499 - 33.2501 i		25	20	95	28.8741 - 36.4832 i		25	25	95	28.2013 - 39.4015 i
25	15	100	28.3097 - 35.054 i		25	20	100	27.7787 - 38.2891 i	, ,	25	25	100	27.1476 - 41.2055 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ]	X_1	X_2	X_3	in situ
(25	30	0	35.0004	-	25	35	0	34.5245	-) i	25	40	0	34.0257
25	30	5	21.9835		25	35	5	22.2441		25	40	5	22.6669
25	30	10	21.0138		25	35	10	21.6188		25	40	10	22.4562
25	30	15	21.0822		25	35	15	22.0495		25	40	15	23.3423
25	30	20	21.806		25	35	20	23.2091		25	40	20	25.0913
25	30	25	23.1185		25	35	25	25.1052		25	40	25	27.8795
25	30	30	25.0983		25	35	30	27.9816		25	40	30	32.5109
25	30	35	28.0171		25	35	35	32.674		25	40	35	56.5623
25	30	40	32.7235		25	35	40	56.9527		25	40	40	41.3914 - 18.0825 i
25	30	45	57.0186		25	35	45	41.5151 - 18.2299 i		25	40	45	38.6122 - 22.7225 i
25	30	50	41.4721 - 18.2354 i		25	35	50	38.644 - 22.8172 i		25	40	50	36.655 - 26.28 i
25	30	55	38.54 - 22.7532 i		25	35	55	36.6261 - 26.3061 i		25	40	55	35.0491 - 29.3233 i
25	30	60	36.4803 - 26.1648 i		25	35	60	34.9764 - 29.2765 i		25	40	60	33.6394 - 32.0503 i
25	30	65	34.8004 - 29.0567 i		25	35	65	33.5339 - 31.9302 i		25	40	65	32.3554 - 34.5564 i
25	30	70	33.3353 - 31.6329 i		25	35	70	32.2248 - 34.3642 i		25	40	70	31.1593 - 36.896 i
25	30	75	32.0092 - 33.9912 i		25	35	75	31.0092 - 36.6335 i		25	40	75	30.0286 - 39.1035 i
25	30	80	30.7807 - 36.1869 i		25	35	80	29.8632 - 38.7728 i		25	40	80	28.9487 - 41.2024 i
25	30	85	29.6251 - 38.2548 i		25	35	85	28.7713 - 40.8056 i		25	40	85	27.9097 - 43.2098 i
25	30	90	28.5261 - 40.2184 i		25	35	90	27.723 - 42.7489 i		25	40	90	26.9045 - 45.1383 i
25	30	95	27.4726 - 42.0947 i		25	35	95	26.7105 - 44.6154 i		25	40	95	25.9278 - 46.9978 i
25	30	100	26.4567 - 43.8961 i)	(25	35	100	25.7283 - 46.4147 i		25	40	100	24.9758 - 48.7963 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ	X_{I}	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(25	45	0	33.5013	(25	50	0	32.945)	25	55	0	32.3452
25	45	5	23.2761	25	50	5	24.1167		25	55	5	25.2735
25	45	10	23.5796	25	50	10	25.0925		25	55	10	27.2159
25	45	15	25.0743	25	50	15	27.4916		25	55	15	31.2975
25	45	20	27.7151	25	50	20	31.836		25	55	20	53.2752
25	45	25	32.2342	25	50	25	54.7697		25	55	25	40.0225 - 16.7427 i
25	45	30	55.8442	25	50	30	40.6549 - 17.3547 i		25	55	30	37.7442 - 21.4886 i
25	45	35	41.1061 - 17.794 i	25	50	35	38.1644 - 22.0679 i		25	55	35	36.1018 - 25.2452 i
25	45	40	38.452 - 22.4742 i	25	50	40	36.3916 - 25.754 i		25	55	40	34.7164 - 28.5111 i
25	45	45	36.5757 - 26.096 i	25	50	45	34.916 - 28.9407 i		25	55	45	33.4697 - 31.4636 i
25	45	50	35.0274 - 29.21 i	25	50	50	33.6033 - 31.8136 i		25	55	50	32.3107 - 34.1909 i
25	45	55	33.6607 - 32.0091 i	25	50	55	32.3938 - 34.4636 i		25	55	55	31.2127 - 36.7444 i
25	45	60	32.4098 - 34.5863 i	25	50	60	31.2563 - 36.9429 i		25	55	60	30.1601 - 39.1578 i
25	45	65	31.2398 - 36.9952 i	25	50	65	30.1723 - 39.2855 i		25	55	65	29.1433 - 41.4545 i
25	45	70	30.1297 - 39.2698 i	25	50	70	29.1299 - 41.5147 i		25	55	70	28.1556 - 43.6518 i
25	45	75	29.0664 - 41.4337 i	25	50	75	28.1213 - 43.6476 i		25	55	75	27.1923 - 45.7629 i
25	45	80	28.0407 - 43.5037 i	25	50	80	27.1408 - 45.6971 i		25	55	80	26.2499 - 47.7982 i
25	45	85	27.0462 - 45.4928 i	25	50	85	26.1842 - 47.6735 i		25	55	85	25.326 - 49.7661 i
25	45	90	26.0781 - 47.4109 i	25	50	90	25.2484 - 49.5848 i		25	55	90	24.4183 - 51.6735 i
25	45	95	25.1329 - 49.2661 i	25	50	95	24.3308 - 51.4377 i		25	55	95	23.5253 - 53.526 i
25	45	100	24.2076 - 51.0648 i	25	50	100	23.4296 - 53.2377 i)	25	55	100	22.6455 - 55.3285 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_{I}	X_2	X_3	in situ	X	1	X_2	X_3	in situ] [X_1	X_2	X_3	in situ
(25	60	0	31.6796	(2	5	65	0	30.8995) (25	70	0	29.8602
25	60	5	26.9259	2	5	65	5	29.583		25	70	5	43.9379
25	60	10	30.5786	2	5	65	10	48.3761		25	70	10	36.5609 -13.2134 i
25	60	15	51.2345	2	5	65	15	38.0651 - 14.7962 i		25	70	15	35.4868 - 18.2844 i
25	60	20	39.1787 - 15.9161 i	2	5	65	20	36.4408 - 19.6715 i		25	70	20	34.5078 - 22.4386 i
25	60	25	37.1779 - 20.7072 i	2	5	65	25	35.1763 - 23.6347 i		25	70	25	33.5494 - 26.0784 i
25	60	30	35.7006 - 24.5503 i	2	5	65	30	34.041 - 27.111 i		25	70	30	32.6016 - 29.3704 i
25	60	35	34.4266 - 27.9089 i	2	5	65	35	32.9727 - 30.2628 i		25	70	35	31.6631 - 32.4051 i
25	60	40	33.2603 - 30.9518 i	2	5	65	40	31.9468 - 33.1756 i		25	70	40	30.7339 - 35.2387 i
25	60	45	32.1619 - 33.7649 i	2	5	65	45	30.9516 - 35.9013 i		25	70	45	29.8142 - 37.9088 i
25	60	50	31.1109 - 36.3992 i	2	5	65	50	29.9804 - 38.4748 i		25	70	50	28.904 - 40.4428 i
25	60	55	30.0957 - 38.8885 i	2	5	65	55	29.0291 - 40.9212 i		25	70	55	28.0032 - 42.8607 i
25	60	60	29.1091 - 41.2568 i	2	5	65	60	28.095 - 43.2589 i		25	70	60	27.1117 - 45.1783 i
25	60	65	28.1461 - 43.5217 i	2	5	65	65	27.176 - 45.5023 i		25	70	65	26.2291 - 47.4076 i
25	60	70	27.2033 - 45.697 i	2	5	65	70	26.2706 - 47.6627 i		25	70	70	25.3554 - 49.5588 i
25	60	75	26.278 - 47.7932 i	2	5	65	75	25.3776 - 49.7494 i		25	70	75	24.4901 - 51.64 i
25	60	80	25.3683 - 49.8192 i	2	5	65	80	24.4961 - 51.7699 i		25	70	80	23.633 - 53.6581 i
25	60	85	24.4727 - 51.7821 i	2	5	65	85	23.6251 - 53.7305 i		25	70	85	22.7838 - 55.6186 i
25	60	90	23.5898 - 53.6879 i	2	5	65	90	22.7641 - 55.6366 i		25	70	90	21.9423 - 57.5267 i
25	60	95	22.7186 - 55.5415 i	2	5	65	95	21.9124 - 57.4928 i		25	70	95	21.108 - 59.3865 i
25	60	100	21.8582 - 57.3475 i	\ 2	5	65	100	21.0695 - 59.303 i) (25	70	100	20.2809 - 61.2018 i

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	<i>X</i> ₃	in situ
(30	0	0	33.8607	1	30	5	0	36.5705) 1	30	10	0	36.4073
30	0	5	29.3437		30	5	5	23.1841		30	10	5	22.4117
30	0	10	28.1734		30	5	10	21.2423		30	10	10	20.6164
30	0	15	27.419		30	5	15	20.2717		30	10	15	19.8391
30	0	20	26.8856		30	5	20	19.8165		30	10	20	19.6167
30	0	25	26.5041		30	5	25	19.7269		30	10	25	19.8032
30	0	30	26.2432		30	5	30	19.9443		30	10	30	20.3503
30	0	35	26.0888		30	5	35	20.4535		30	10	35	21.2616
30	0	40	26.0371		30	5	40	21.2711		30	10	40	22.5871
30	0	45	26.0934		30	5	45	22.4493		30	10	45	24.4463
30	0	50	26.2734		30	5	50	24.1		30	10	50	27.1108
30	0	55	26.6109		30	5	55	26.4704		30	10	55	31.3679
30	0	60	27.1797		30	5	60	30.2714		30	10	60	53.3391
30	0	65	28.1857		30	5	65	49.8904		30	10	65	39.1274 - 16.6759 i
30	0	70	32.6759		30	5	70	37.2063 - 15.0459 i		30	10	70	36.2748 - 20.7168 i
30	0	75	30.4687 - 4.44709 i		30	5	75	34.5709 - 18.7016 i		30	10	75	34.2469 - 23.7188 i
30	0	80	29.6239 - 5.85817 i		30	5	80	32.6785 - 21.4066 i		30	10	80	32.5855 - 26.2353 i
30	0	85	28.9189 - 6.91946 i		30	5	85	31.1189 - 23.667 i		30	10	85	31.1351 - 28.4595 i
30	0	90	28.2813 - 7.81033 i		30	5	90	29.752 - 25.66 i		30	10	90	29.8231 - 30.484 i
30	0	95	27.6855 - 8.59621 i		30	5	95	28.5121 - 27.4705 i		30	10	95	28.6094 - 32.3608 i
30	0	100	27.1188 - 9.30933 i	(30	5	100	27.3629 - 29.1465 i	, ।	30	10	100	27.4696 - 34.1228 i /

Tabla Nº11. (Continuación)

X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ		X_1	X_2	X_3	in situ
(30	15	0	36.0756	. (′ 30	20	0	35.6714) 1	′ 30	25	0	35.2236
30	15	5	22.0493		30	20	5	21.9263		30	25	5	21.9902
30	15	10	20.4615		30	20	10	20.592		30	25	10	20.9566
30	15	15	19.9119		30	20	15	20.3072		30	25	15	20.9834
30	15	20	19.9482		30	20	20	20.6426		30	25	20	21.6778
30	15	25	20.4374		30	20	25	21.4885		30	25	25	22.9703
30	15	30	21.3511		30	20	30	22.8524		30	25	30	24.9387
30	15	35	22.727		30	20	35	24.8405		30	25	35	27.8558
30	15	40	24.6829		30	20	40	27.7353		30	25	40	32.5754
30	15	45	27.5004		30	20	45	32.385		30	25	45	56.9879
30	15	50	32.0071		30	20	50	56.4025		30	25	50	41.3645 - 18.3648 i
30	15	55	55.27		30	20	55	40.9581 - 18.0911 i		30	25	55	38.3974 - 22.9245 i
30	15	60	40.2566 - 17.5695 i		30	20	60	37.9781 - 22.5313 i		30	25	60	36.3075 - 26.3686 i
30	15	65	37.3086 - 21.8459 i		30	20	65	35.8763 - 25.8641 i		30	25	65	34.6 - 29.2882 i
30	15	70	35.2233 - 25.0382 i		30	20	70	34.1601 - 28.678 i		30	25	70	33.1091 - 31.8893 i
30	15	75	33.5194 - 27.7234 i		30	20	75	32.6634 - 31.178 i		30	25	75	31.7584 - 34.2705 i
30	15	80	32.0336 - 30.1028 i		30	20	80	31.3095 - 33.4622 i		30	25	80	30.5064 - 36.4877 i
30	15	85	30.6904 - 32.2726 i		30	20	85	30.0565 - 35.5859 i		30	25	85	29.3282 - 38.5758 i
30	15	90	29.448 - 34.2871 i		30	20	90	28.8788 - 37.5841 i		30	25	90	28.2073 - 40.5588 i
30	15	95	28.2814 - 36.1804 i		30	20	95	27.76 - 39.4801 i		30	25	95	27.1327 - 42.4536 i
30	15	100	27.1738 - 37.9755 i		30	20	100	26.6885 - 41.2907 i) \	30	25	100	26.0962 - 44.2728 i

ANEXO 3

Teórico	Experimental	Teo - Exp.	Error
31.26	31.7	0.44	1.39%
34.41	27.21	7.20	26.47%
33.64	31.54	2.10	6.67%
35.28	31.87	3.41	10.71%
25.21	28.17	2.96	10.52%
30.87	31.78	0.91	2.87%
33.62	28.79	4.83	16.76%
27.83	25.63	2.20	8.57%
28.06	34.44	6.38	18.52%
32.97	27.81	5.16	18.54%
32.85	37.22	4.37	11.75%
23.07	22.16	0.91	4.09%
32.81	28.23	4.58	16.23%
33.69	32.79	0.90	2.75%
30.55	21.99	8.56	38.94%
34.60	28.8	5.80	20.15%
34.98	32.43	2.55	7.86%
21.38	22.64	1.26	5.57%
28.41	21.37	7.04	32.96%

ANEXO 3. (Continuación)

38.99	23.96	15.03	62.74%
31.73	28.39	3.34	11.78%
26.54	41.83	15.29	36.56%
29.38	36.84	7.46	20.24%
30.63	32.49	1.87	5.74%
32.29	33.37	1.08	3.24%
30.21	38.18	7.97	20.88%
33.72	35.73	2.01	5.63%
26.27	34.4	8.13	23.63%
31.61	36.71	5.10	13.89%
31.25	21.46	9.79	45.61%
32.21	25.07	7.14	28.48%
34.72	22.83	11.89	52.09%
34.20	26.27	7.93	30.20%
30.46	35.72	5.26	14.72%
32.64	33.93	1.29	3.80%
31.94	27.66	4.28	15.48%
32.71	36.16	3.45	9.53%
26.83	44.89	18.06	40.23%
33.53	45.89	12.36	26.93%
34.32	33.91	0.41	1.21%

ANEXO 3. (Continuación)

33.64	47.3	13.66	28.88%
32.08	34.94	2.86	8.17%
33.46	27.92	5.54	19.86%
34.06	23.77	10.29	43.28%
32.66	22.63	10.03	44.33%
30.81	42.7	11.89	27.84%
33.01	41.1	8.09	19.70%
34.58	35.62	1.04	2.92%
34.24	34.27	0.0339	0.10%
32.41	24.83	7.58	30.52%
33.41	31.05	2.36	7.60%
31.79	31.13	0.66	2.13%
33.44	33.67	0.23	0.67%
31.94	16.71	15.23	91.15%
31.18	16.67	14.51	87.05%
34.08	28.53	5.55	19.44%
34.50	30.71	3.79	12.35%
33.71	50.22	16.51	32.87%
36.41	52.76	16.35	30.99%
41.06	57.11	16.05	28.11%
42.38	48.5	6.12	12.62%

ANEXO 3. (Continuación)

29.68	25.1	4.58	18.23%
30.55	27.93	2.62	9.38%
30.88	26.78	4.10	15.30%
30.04	28.13	1.91	6.80%
38.08	29.33	8.75	29.83%
34.76	24.22	10.54	43.53%
33.14	25.46	7.68	30.17%
34.31	33.56	0.75	2.24%
39.10	61.73	22.63	36.66%
39.10	37.34	1.76	4.72%
36.14	27.2	8.94	32.88%
33.14	40.35	7.21	17.86%
39.28	33.24	6.04	18.16%
32.34	30.35	1.99	6.55%
30.83	29.44	1.39	4.73%
27.24	24.07	3.17	13.16%
25.87	34.98	9.11	26.05%
33.41	38.73	5.32	13.73%
31.65	28.86	2.79	9.67%
38.31	52.24	13.93	26.67%
39.10	25.79	13.31	51.61%
			1

ANEXO 3. (Continuación)

35.11	32.92	2.19	6.64%
38.84	35.83	3.01	8.41%
28.16	23.25	4.91	21.12%
30.36	31.27	0.91	2.89%
33.69	32.65	1.04	3.19%
34.33	33.24	1.09	3.29%
33.51	31.12	2.39	7.69%
33.40	34.36	0.96	2.79%
33.51	34.05	0.54	1.58%
38.31	46	7.69	16.72%
30.74	35.93	5.19	14.46%
39.28	40.14	0.86	2.15%
39.28	42.06	2.78	6.62%
39.28	43.41	4.13	9.52%
39.28	39.04	0.24	0.61%
39.28	37.9	1.38	3.63%
33.14	28.09	5.05	17.98%
33.14	28.87	4.27	14.80%
33.14	34.42	1.28	3.71%
33.14	29.75	3.39	11.40%
33.14	33.02	0.12	0.37%

ANEXO 3. (Continuación)

36.14	44.04	7.90	17.93%
36.14	36.75	0.61	1.65%
39.10	40.1	1.00	2.49%
39.10	46.03	6.93	15.05%
39.10	28.5	10.60	37.20%
39.10	34.58	4.52	13.07%
39.10	42.72	3.62	8.47%
39.10	41.64	2.54	6.10%
		Error Promedio	17.69 %