

# **POTENCIAL ZETA COMO UNA HERRAMIENTA PARA DETERMINAR LA AGLOMERACIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN LA REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DEL LODO A DISPONER**

Luciano Sandoval Yoval, Leticia Montellano Palacios, Martín Piña Soberanis y Laura Olivia Sánchez Guzmán

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso. Jiutepec, Morelos. C.P. 62550  
Tel. (73) 19-42-99, (73) 19-40-00 ext. 433, fax (73) 19-43-81  
E-mail: lucsand@chac.imta.mx, letimont@tlaloc.imta.mx, mpina@chac.imta.mx

## **RESUMEN**

Las aguas superficiales contienen una gran variedad de impurezas coloidales que le confieren al agua un aspecto turbio y de color. Generalmente, la remoción de éstas es por la adición de un coagulante formando lodos químicos. Un factor importante que influye en la eliminación de las partículas es el potencial zeta, que permite determinar la carga de las mismas y que puede ser un parámetro indicativo de aglomeración, así como del tipo y dosis de reactivo a emplear.

Se realizaron determinaciones de este parámetro en lodos acondicionados con tres tipos de polímeros (catiónico, aniónico y no iónico), para evaluar el grado de desestabilización de la carga que generó cada uno de ellos en los sólidos, lo que permitió la eliminación del agua presente en el lodo y por tanto la reducción de su volumen a disponer. Además, también se evaluaron los tratamientos de espesamiento y acidificación.

## **1. TEORÍA**

Las aguas superficiales contienen partículas en suspensión que requieren ser eliminadas antes de su distribución al municipio o a la industria. Remover el material suspendido implica realizar una serie de procesos tales como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Arboleda, 1982).

## 1.1 Partículas coloidales

Los coloides tienen un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. Los límites enumerados en la figura 1, son aproximados, ya que el tamaño y la naturaleza del material son los que determinan si la partícula es coloidal (Richter, *et al.* 1992).

Existen varios términos para distinguir los tipos de sistemas coloidales. Para el tratamiento de agua, los más importantes son hidrofílico e hidrofóbico. Los coloides hidrofílicos (del griego philos, querido) muestran gran atracción por el agua, mientras que los hidrofóbicos (del griego phobe, fobia) muestran menos atracción (Richter, *et al.* 1992).

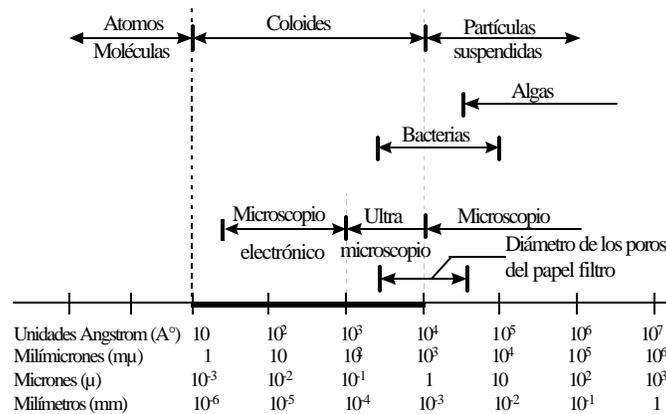


Figura 1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua (Arboleda, 1982)

Los coloides están en todas partes y la medición del potencial zeta puede ser utilizado para su conocimiento y control. Entre ellos pueden incluirse sistemas biológicos complejos como la sangre o sistemas funcionales como las pinturas. Los sistemas coloidales pueden ser tan espesos como una pasta, tipo cemento, o tan diluidos como las que enturbian las aguas de los lagos. El agua, la leche, el vino, el barro, la tinta, el papel y algunos productos farmacéuticos son buenos ejemplos de sistemas coloidales. Las suspensiones coloidales son comúnmente acuosas, aunque también pueden ser no acuosas (Coagulation & Flocculation, Zeta-Meter).

En cada caso las propiedades físicas y cualidades de las suspensiones están fuertemente afectadas por las propiedades de los coloides. Podremos cambiar las características de una suspensión al comprender las interacciones de un coloide individual con otro. En ocasiones buscamos maximizar las fuerzas repulsivas entre ellos, para así producir suspensiones estables. Las repulsiones mutuas entre partículas adyacentes impiden la unión de grandes y rápidas sedimentaciones de aglomerados. En los tratamientos de agua se debe, por el contrario, minimizar las fuerzas de repulsión entre las partículas que las enturbian, para que se formen grandes aglomerados que sedimenten y filtren fácilmente.

Por su tamaño microscópico, las fuerzas de unión en la superficie del coloide y el líquido son las que determinan su comportamiento. Uno de los mayores efectos de la superficie son los fenómenos electrocinéticos. Cada coloide tiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza negativa, aunque también puede ser positiva. Estas cargas producen fuerzas de repulsión electrostática entre los coloides vecinos. Si la carga es suficientemente elevada los coloides permanecen discretos, dispersos y en suspensión. Reduciendo o eliminando estas cargas se obtiene el efecto opuesto y los coloides se aglomeran y sedimentan (Coagulation & Flocculation, Zeta-Meter).

## 1.2 Potencial zeta

Es una medida de la estabilidad de una partícula e indica el potencial que se requiere para penetrar la capa de iones circundante en la partícula para desestabilizarla. Por lo tanto, el potencial zeta es la potencia electrostática que existe entre la separación de las capas que rodean a la partícula.

### 1.2.1 Modelo de la doble capa

Se usa el modelo de la doble capa para visualizar la atmósfera iónica en la proximidad del coloide cargado y para explicar como actúan las fuerzas eléctricas de repulsión. Es posible entender este modelo como una secuencia de etapas que ocurren alrededor de un coloide negativo, si los iones que neutralizan sus cargas son repentinamente separados (figura 2) (Coagulation & Flocculation, Zeta-Meter).

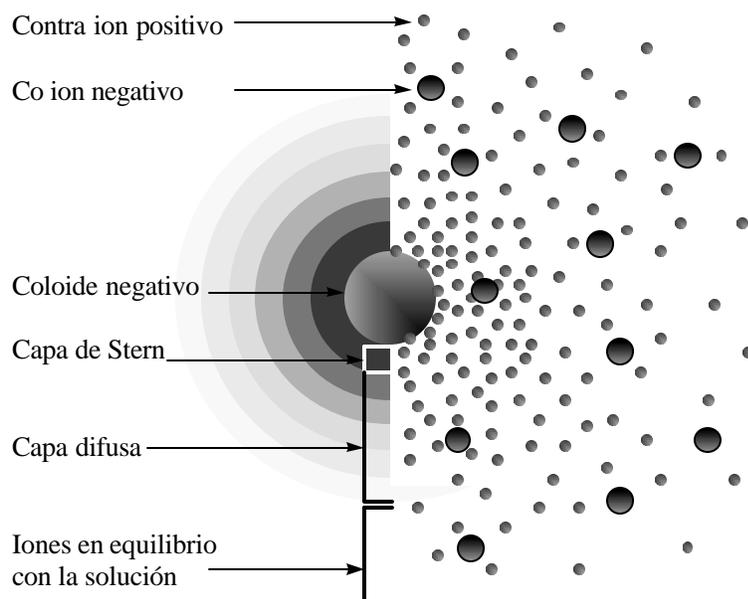


Figura 2. Capa difusa

La vista izquierda muestra el cambio en la densidad de carga alrededor del coloide. La derecha muestra la distribución de iones positivos y negativos alrededor del coloide cargado.

Efecto del coloide sobre el ion positivo (llamado *contraion*) en la solución. Inicialmente, la atracción del coloide negativo hace que algunos iones positivos formen una rígida capa adyacente alrededor de la superficie del coloide; esta capa de contraiones es conocida como la *capa de Stern*.

Otros iones positivos adicionales son todavía atraídos por el coloide negativo, pero estos son ahora rechazados por la capa de Stern, así como otros iones positivos que intentan acercarse al coloide. Este equilibrio dinámico resulta en la formación de una *capa difusa* de contraiones, éstos tienen una alta concentración cerca de la superficie, la cual disminuye gradualmente con la distancia, hasta que se logra un equilibrio con la concentración de los contraiones en el seno de la disolución.

En forma similar, aunque opuesta, en la capa difusa hay un déficit de iones negativos, llamados *coiones* pues tienen la misma carga que el coloide. Su concentración se incrementa gradualmente al alejarse del coloide, mientras que las fuerzas repulsivas del coloide son compensadas por los iones positivos, hasta alcanzar nuevamente el equilibrio. La capa difusa puede ser visualizada como una atmósfera cargada rodeando al coloide. A cualquier distancia de la superficie, la densidad de carga es igual a la diferencia de concentración entre iones positivos y negativos. La densidad de carga es mucho mayor cerca del coloide y gradualmente disminuye a cero cuando las concentraciones de iones positivos y negativos se asemejan.

Los contraiones de la capa de Stern y de la capa difusa son los que juntos llamaremos la *doble capa*. El espesor de esta doble capa depende del tipo y concentración de los iones de la solución.

La variación de la densidad de iones en la capa difusa se muestra en las figuras 3 y 4. La primera muestra la variación en la concentración de iones positivos y negativos con la distancia de un coloide negativo, la segunda el efecto neto, esto es, la diferencia en la densidad de carga positiva y negativa.

El coloide negativo y su atmósfera cargada positivamente producen un potencial eléctrico relativo a la solución. Este tiene su valor máximo en la superficie y disminuye gradualmente con la distancia, aproximándose a cero fuera de la capa difusa. La caída del potencial y la distancia desde el coloide es un indicador de la fuerza repulsiva entre los coloides en función de la distancia a las cuales estas fuerzas entran en juego.

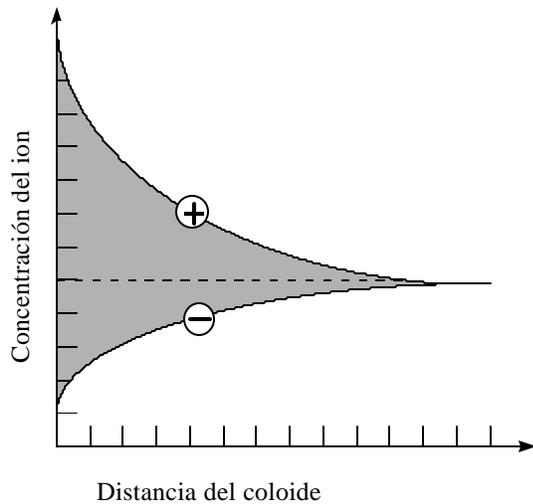


Figura 3. Variación en la concentración de iones

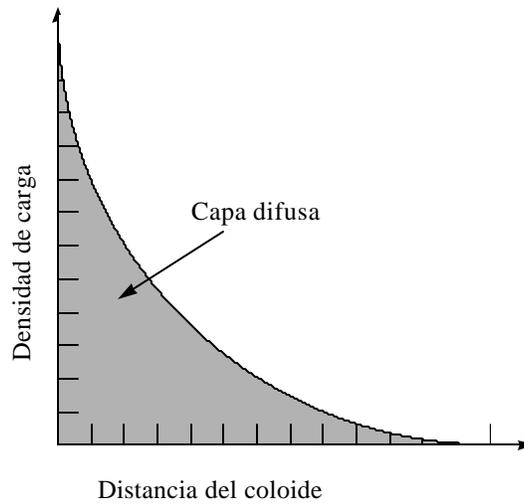


Figura 4. Variación en la densidad de carga

Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la de Stern. Este potencial es conocido como el potencial zeta, el cual es importante por que puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El potencial zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del colóide puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides.

La relación entre el potencial zeta y el potencial de superficie depende del nivel de iones en la solución. Así, en el agua, la doble capa hace que el potencial zeta sea una buena aproximación del potencial de superficie (figura 5) (Coagulation & Flocculation; Zeta-Meter).

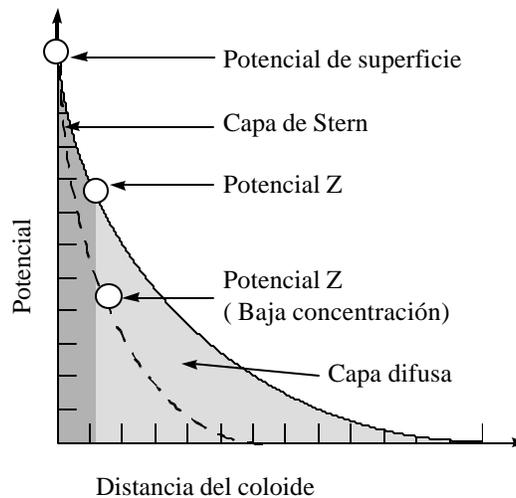


Figura 5. Potencial Z y superficial

### 1.3 El balance de repulsión y atracción

La teoría DLVO (llamada así por Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek) se basa en el equilibrio entre las fuerzas opuestas de repulsión electrostática y atracción tipo Van der Waals y explica por qué algunos coloides se aglomeran mientras que otros no lo hacen.

La repulsión electrostática es importante cuando los coloides se aproximan y la doble capa comienza a interferir por lo que se requiere energía para sobrepasar esta repulsión y forzar la unión entre las partículas (figura 6). Esta energía aumenta fuertemente cuando las partículas se acercan. Se usa una curva de repulsión electrostática para indicar la cantidad de energía que hay que vencer para que las partículas puedan ser forzadas a juntarse. Esta energía llega a un valor máximo cuando las partículas están casi juntas y disminuye a cero fuera de la doble capa. Su valor máximo está relacionado con el potencial de la superficie.

La atracción de Van der Waals entre los coloides es el resultado de las fuerzas entre las moléculas individuales de cada coloide (figura 7). El efecto es aditivo; o sea, una molécula del primer coloide experimenta la atracción de Van der Waals de cada molécula del segundo coloide. Esto se repite para cada molécula del primer coloide y la fuerza total corresponde a la suma de todas ellas. Se usa una curva de energía de atracción para indicar la variación en las fuerzas de Van der Waals con la distribución entre las partículas.

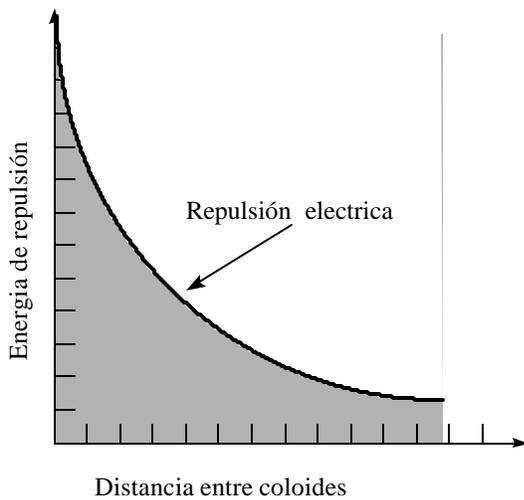


Figura 6. Energía de repulsión

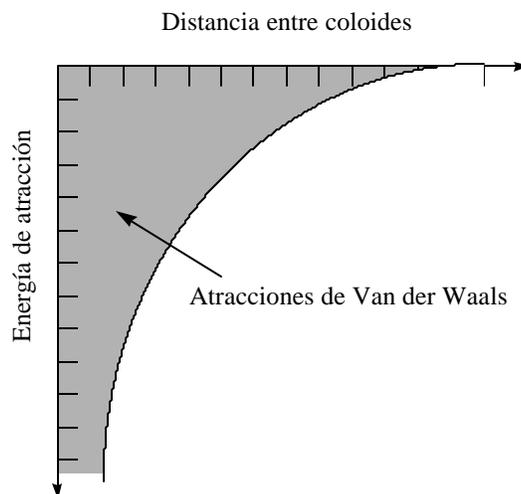


Figura 7. Fuerzas de Van der Waals

La teoría DLVO explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separados al combinar la atracción de Van der Waals y la curva de repulsión electrostática: la curva combinada es llamada la *energía neta de interacción* (figura 8). A cada distancia el pequeño valor se resta del mayor para dar la energía neta. El valor neto se presenta arriba si es repulsivo o abajo si es atractivo formando la curva de interacción. Si existe una zona repulsiva, entonces el punto de máxima energía de repulsión se llama la *barrera de energía*, la altura de esta barrera indica cuán estable es el sistema. Para aglomerar dos partículas que van a chocar, éstas deben tener suficiente energía cinética

debido a su velocidad y masa, como para pasar sobre dicha barrera. Si la barrera desaparece, entonces la interacción neta es totalmente atractiva y consecuentemente las partículas se aglomeran. Esta región interna es referida como la *trampa de energía*, pues los coloides pueden considerarse como sistemas unidos por fuerzas de Van der Waals.

Dependiendo de nuestros propósitos, es posible alterar el entorno del coloide para aumentar o disminuir la barrera energética. Se pueden utilizar varios métodos para este propósito, tales como cambios en la atmósfera iónica, el pH o agregando compuestos activos para afectar directamente la carga del coloide. En cada caso la medida del potencial zeta indicará el efecto de la alteración, principalmente en su estabilidad (Coagulation & Flocculation; Zeta-Meter).

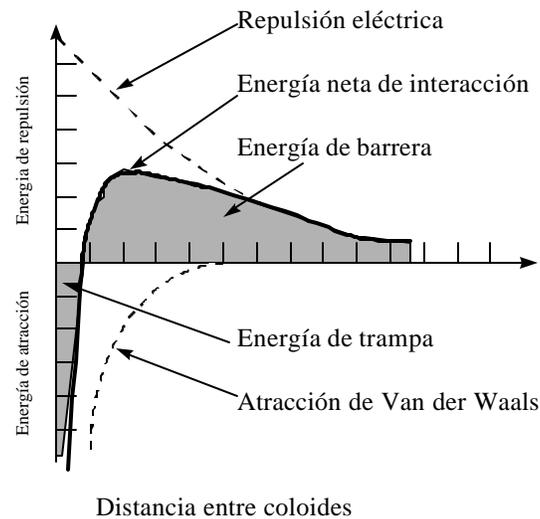


Figura 8. Curva de energía neta de interacción

#### 1.4 Potencial zeta en la reducción del volumen de lodo

Un factor importante que influye en la desestabilización de la carga de las partículas presentes en el lodo es el potencial zeta.

Las propiedades de las partículas sólidas presentes en el lodo son: tamaño fino, grado de hidratación, interacción entre ellas y carga electrostática, éstas inhiben el espesamiento y la deshidratación de los lodos debido a su composición química y estructura coloidal (EPA, 1974; Cheremisinoff, 1994).

El lodo presenta una estructura coloidal, generalmente coloides negativos, que se estabilizan e impiden una mayor agregación de las partículas que lo constituyen. La coagulación y floculación de estas suspensiones coloidales permite, en la mayoría de los casos, romper su estructura coloidal (Ruiz, *et al.* 1986).

El lodo es una suspensión coloidal estable, por lo que el objetivo del acondicionamiento es ajustar las condiciones físicas y químicas hasta reducir la carga de la partícula, lo cual resulta en la liberación del agua y la agregación de las mismas (Cheremisinoff, 1994).

Al utilizar un polímero catiónico, éste neutraliza las cargas negativas de los coloides y anula el potencial zeta, por el contrario un aniónico y un no iónico no anulan las cargas. Sin embargo, existe una adsorción de radicales activos de la cadena del polímero sobre las partículas, creándose una modificación en su superficie y en el potencial zeta, produciéndose una aglomeración mediante un mecanismo de reticulación (Barraque, 1979).

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en el acondicionamiento del lodo:

- a) La desestabilización de las partículas, o sea la disminución de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b) El transporte de las partículas desestabilizadas para llevar a cabo un contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de flocúlos porosos (Richter, *et al.* 1973; Weber, 1979; Arboleda, 1982).

El primer aspecto se refiere a la *coagulación* y el segundo a la *floculación*. La coagulación comienza en el mismo instante en que se agrega el reactivo al lodo y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas, entre el coagulante y la superficie de las partículas del lodo. La floculación es la etapa de transporte provocando el crecimiento de las partículas aglomeradas (Richter, 1973; Arboleda, 1982).

## 2. METODOLOGIA

Los tratamientos propuestos para reducir el volumen del lodo consistieron en una combinación de los procesos de espesamiento, acondicionamiento y acidificación. El objetivo fue evaluar la influencia del tipo de tratamiento y del polímero en la deshidratación del lodo, así como en la reducción de su volumen, mediante el empleo del potencial Z como una medida de la reducción de la carga, lo que indica una mayor o menor aglomeración de las partículas. Los polímeros empleados en las pruebas fueron un aniónico, un catiónico y un no iónico. Para tal efecto los tratamientos propuestos se muestran en la figura 9.

Para la realización de estas pruebas se trabajó con lodo proveniente de la planta de “Los Berros”, del sistema Cutzamala, Edo. de México, el cual se tomó de la caja de recepción de lodo de los módulos B y C, a este tipo de lodos se le denominó lodo homogéneo.

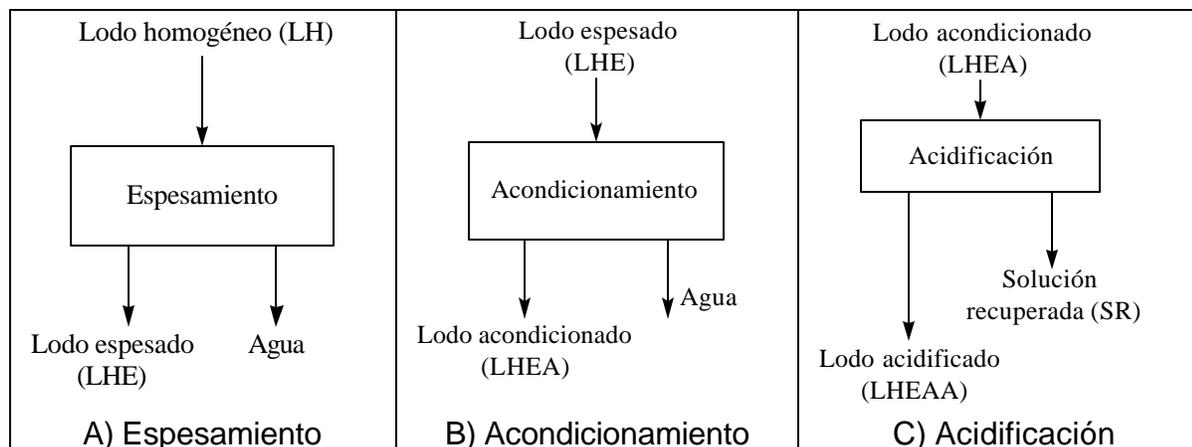


Figura 9. Tratamientos propuestos

Las muestras obtenidas de los diferentes tratamientos fueron las siguientes:

- a) Tratamiento A: LHE
- b) Tratamiento B: LHEA aniónico, LHEA catiónico y LHEA no iónico
- c) Tratamiento C: LHEAA aniónico, LHEAA catiónico y LHEAA no iónico

Además de los lodos mencionados anteriormente, se analizaron las siguientes muestras:

- a) Agua cruda (AC)
- b) Agua tratada (AT)

La determinación del potencial Z se realizó para conocer la carga final de las partículas proporcionada por cada tratamiento y polímero, comparando esta reducción con la carga del agua cruda.

## 2.1 Preparación de la muestra

La muestra debió ser ligeramente turbia, sin ser opaca o completamente clara y no tener más del 0.01% en volumen de partículas, debido a que pueden existir interferencias en la medición del potencial Z. Sin embargo, las muestras de lodo presentaron una gran cantidad de sólidos, por lo que fue necesario darles el siguiente tratamiento:

Se centrifugaron 100 mL de muestra a 2500 rpm por un tiempo de 10 minutos.

Una vez centrifugada la muestra se decantó.

En el licor madre (sobrenadante) se diluyó una pequeña porción de los sólidos separados.

Las muestras de agua cruda y agua tratada no necesitaron de este tratamiento debido al poco contenido de sólidos.

## 2.2 Equipo y material

Potencial zeta

Especificaciones:

Voltaje 115 volts

Ciclos 60 Hz

Computadora

Velocidad 100 Mhz

Memoria ram 32 MB

Tamaño de disco duro 2 GB

Versión de software

Windows 3.11

Zeta Plus para windows 1.23

Celdas

Electrodo

### **2.3 Procedimiento**

- a) Se enjuagó el electrodo con agua desionizada.
- b) Se enjuagó la celda una o dos veces con la muestra a analizar.
- c) Se llenó totalmente la celda con muestra.
- d) Se insertó el electrodo lentamente en la celda.
- e) Se verificó que no queden burbujas atrapadas dentro de la celda.
- f) Se conectó el electrodo.
- g) Se analizó la muestra.

Al conectar el electrodo se aplica una determinada corriente, creando un campo eléctrico que atraviesa la celda. Los coloides del lodo migran en el campo y su movimiento y dirección están relacionados con su potencial zeta.

El equipo mide la movilidad electroforética de las partículas, la cual es expresada como micrones/segundo por voltios/centímetro. El primer término representa simplemente la velocidad, mientras que el segundo es una expresión de la fuerza eléctrica del campo. El potencial zeta se calcula a partir de las medidas de la movilidad electroforética.

Para obtener resultados confiables se realizaron 30 determinaciones a cada muestra, las cuales se promediaron estableciendo una desviación estándar menor a 1.5.

### **3. RESULTADOS**

Se ha mencionado que el agua superficial contiene una gran variedad de impurezas coloidales, generalmente partículas de arcilla, las cuales se requieren eliminar. Para remover el material suspendido se tiene que desestabilizar la carga de la partícula.

La importancia de la medición del potencial Z en este estudio es establecer cual tratamiento y polímero es el adecuado para lograr una mayor reducción de las cargas de

las partículas que permita una mayor aglomeración de las mismas, repercutiendo en un menor volumen de lodo a disponer.

### 3.1 Caracterización de los polímeros

A continuación se presentan las principales características de los polímeros empleados para el acondicionamiento del lodo.

Tabla 1. Características principales de los polímeros

Características	Polímero		
	Catiónico	Aniónico	No iónico
Presentación	Sólido	Sólido	Sólido
Solubilidad en agua	Alta	Alta	Alta
Peso molecular (g/mol)	>2.00E6 (alto)	2.26 ± 0.4 E5 (medio)	1.66±0.5E6 (alto)
Densidad (g/mL)	1.15	1.10	0.72
Densidad de carga	Alta	Alta	Alta
Grupo	Poliamina Acrilamida	Carboxilo	Poliacrilamidas

El desempeño de un polímero puede modificarse para ajustarlo a la naturaleza del material coloidal que debe ser removido. Las principales características que pueden hacer más eficiente a un polímero son el peso molecular, el grupo y la carga. Éstas deben ser consideradas para establecer cual de los tres polímeros es el mejor en el la desestabilización de la carga y que por tanto en la aglomeración de sólidos.

Se llevaron a cabo dos pruebas para evaluar la influencia que tienen el tipo de tratamiento y de polímero en la reducción de la carga de las partículas.

### 3.2 Reducción de volumen

En el tratamiento de acondicionamiento se emplean por lo regular polímeros y como ya se mencionó anteriormente en este estudio se evaluaron tres. Las dosis empleadas en cada prueba se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Dosis de polímero por prueba

Prueba	Polímero (mg/L)		
	Catiónico	Aniónico	No iónico
10/09/99	6	80	6
11/10/99	18	100	16

Como se puede observar, las dosis están relacionadas con el peso molecular, esto es a mayor peso molecular menor dosis.

Los resultados obtenidos por cada tratamiento en la reducción del volumen de lodo se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 3. Reducción del volumen del lodo por tratamiento y polímero

Fecha	Vol. inicial de LH (L)	Tratamiento						
		Espesamiento Vol. final (L)	Acondicionamiento Vol. final (L)			Acidificación Vol. final (L)		
			Aniónico	Catiónico	No iónico	Aniónico	Catiónico	No iónico
10/09/99	290.3	25.5	13.6	13.3	14.8	6.9	3.9	8.1
Reducción (%)		91.2	95.3	95.4	94.9	97.6	98.7	97.2
11/10/99	310.2	23.1	15.0	11.6	12.6	8.0	7.8	9.0
Reducción (%)		92.6	95.2	96.3	95.9	97.4	97.5	97.1
Red. promedio (%)		91.9	95.3	95.9	95.4	97.5	98.1	97.2

En promedio la menor reducción fue lograda por el espesamiento (91.9%) y la mejor por el tratamiento de acidificación (97.6%).

En el acondicionamiento, el polímero catiónico fue el que más redujo el volumen del lodo (95.9%) y al acidificarse se logró una reducción máxima del 98.1%.

### 3.3 Potencial Z en el sistema de tratamiento de agua

La eficiencia de la planta potabilizadora en relación a la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) se determinó a partir del potencial Z de las muestras de agua cruda y agua tratada. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Potencial Z y SST de agua cruda y tratada

Muestra	SST (g/L)	PZ (mV)	SST (g/L)	PZ (mV)
	Agua cruda		Agua tratada	
10/09/99	0.043	- 19.68	0.005	0.00
11/10/99	0.097	- 19.10	0.004	-19.43

La remoción de SST por el sistema de tratamiento fue del 90% en promedio. El potencial Z del agua cruda fue de -19.68 mV y cuando se adicionó el sulfato de aluminio éste se redujo a cero (muestra del 10/09/99), indicando que el reactivo desestabilizó la carga de las partículas permitiendo su aglomeración y por lo tanto su eliminación total del agua. Sin embargo, en la muestra del 11/10/99 algunas partículas no fueron desestabilizadas (-19.43 mV), aunque la concentración de SST en el agua tratada fue baja.

### 3.4 Potencial Z en el tratamiento del lodo

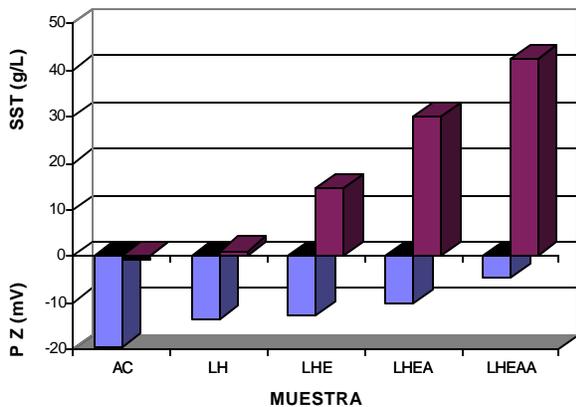
Generalmente los lodos están constituidos por coloides con carga negativa que impiden la agregación de las partículas que los conforman, por tal razón se les debe aplicar un tratamiento para disminuir el volumen de disposición.

Los resultados obtenidos de las determinaciones del potencial Z se muestran en la tabla 5. De estos resultados se observó que la carga de las partículas en el agua tratada fue alrededor de -19 mV y cuando se agregó el coagulante para eliminarlas (LH) disminuyeron su carga a -14.0 mV. Al ser espesado el lodo, la carga de las partículas no presentó un cambio importante (-13.8 mV). Sin embargo, al acondicionarlo su potencial se redujo a -7.3 mV y hasta -5.4 mV cuando el tratamiento consistió en una acidificación (valores promedio por tratamiento).

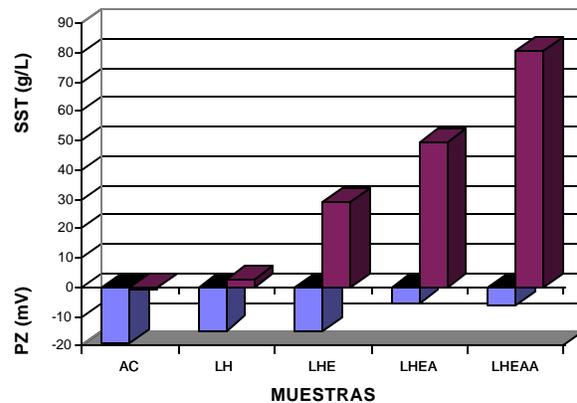
Tabla 5. Potencial Z y SST por tipo de lodo y polímero

Muestra	10/09/99						11/10/99					
	PZ (mV)		SST (g/L)				PZ (mV)		SST (g/L)			
AC	-19.68		0.043				-19.10		0.097			
LH	-13.54		1.175				-14.64		2.735			
Espesam.	-12.73		14.605				-14.91		29.005			
Polímero	Aniónico		Catiónico		No iónico		Aniónico		Catiónico		No iónico	
	PZ	SST	PZ	SST	PZ	SST	PZ	SST	PZ	SST	PZ	SST
Acond.	-10.1	23.32	-8.56	30.73	-11.6	29.11	-2.04	39.84	-2.11	51.63	-12.31	56.23
Acid.	-4.45	38.56	-2.87	50.93	-6.73	37.52	-6.81	87.61	-7.43	83.57	-3.98	69.81

En las gráficas 1 y 2 se muestra la relación entre el potencial Z y los SST del agua cruda y el lodo obtenido por los diferentes tipos de tratamiento en las dos pruebas realizadas. Se observó que existe una mayor desestabilización de la carga de las partículas conforme el potencial se aproxima a cero, permitiendo que éstas se aglomeren incrementando así la concentración de los SST presentes en el lodo. Además, el tratamiento que incluyó acidificación proporcionó la mayor reducción de carga y la mayor concentración de SST.



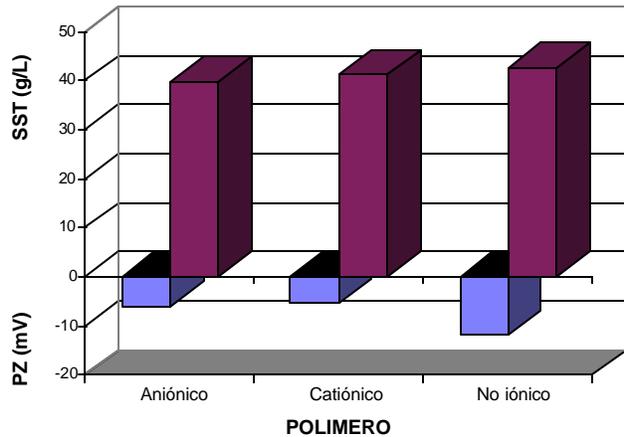
Gráfica 1. PZ y SST. Prueba 10/09/99



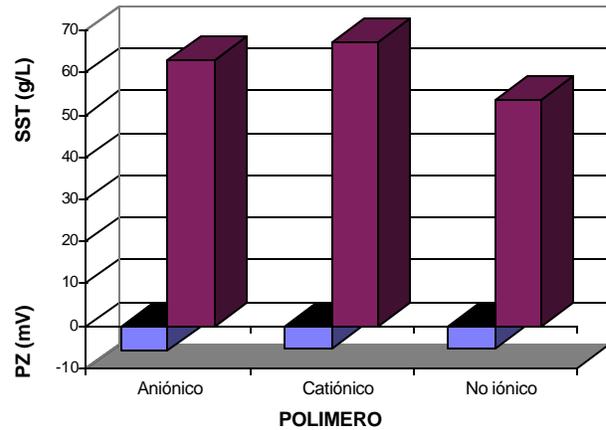
Gráfica 2. PZ y SST. Prueba 11/10/99

En las gráficas 3 y 4 se comparó el potencial Z y los SST obtenidos por los tres polímeros,

al ser acondicionado el lodo y posteriormente acidificado.



Gráfica 3. PZ y SST del Acondicionamiento



Gráfica 4. PZ y SST de la Acidificación

En el tratamiento de acondicionamiento la concentración promedio de SST proporcionada por los tres polímeros fue muy semejante entre si, sin embargo, el polímero catiónico fue el que redujo en promedio más la carga de las partículas presentes en el lodo (-5.3 mV en promedio), y al acidificarlo su potencial Z fue de -5.15 mV en promedio y la concentración de SST se incrementó de 14.18 a 67.2 g/L en promedio.

#### 4. CONCLUSIONES

- Con el tratamiento de acidificación se obtuvo la mejor reducción del potencial Z (-5.4 mV en promedio), así como la mayor concentración de SST (61 g/L en promedio), permitiendo que se lograra la máxima reducción del volumen de lodo inicial (97.6%).
- EL polímero catiónico fue el que redujo más el potencial zeta de las partículas del lodo al ser acondicionado (-5.33 mV en promedio), que se reflejó en una mayor concentración de SST (41.18 g/L).
- Existe una relación inversa entre el potencial Z y la concentración de SST, esto es, conforme el potencial Z se aproxima a cero los SST presentes en el lodo se incrementan.
- El empleo de un polímero catiónico y de alto peso molecular reduce el potencial Z favoreciendo la aglomeración de los sólidos, la disminución del volumen del lodo a disponer y la dosis de acondicionamiento.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Arboleda Valencia, Jorge“ Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua” pp. 20-43. 1982.

Brookhaven Instruments Corporation “Intruccion Manual for ZetaPlus, Zeta Potencial Analyzer”. 1994.

Richter, Carlos. “Mejoramamiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” Tomo I Coagulación, pp. 1-10. 1992.

Cheremisinoff, Paul. “Slude Management and Disposal. Water Management and Supply.” Ed.. Prentice-Hall. Water and Wastewater Treatment Guidebooks. pp. 204, 1994.

Ruíz, Rafael y Vila, Ma. José. “ Solución a algunos problemas de floculación de fangos mediante el uso conjuntos de floculantes aniónicos y catiónicos”. Tecnología del agua. No.27, 1986.

Zeta-Meter, Inc. “Coagulation & Flocculation”. 1993