

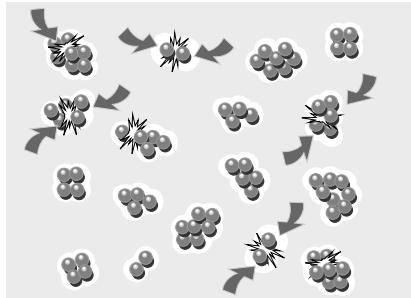
# Potencial Zeta: Un Curso Completo en 5 Minutos

## La Interacción de los Coloides

### La Electroquinética y el Comportamiento de los Coloides

Los coloides están en todas partes y la medición del potencial zeta puede ser utilizado para su conocimiento y control. Entre ellos pueden incluirse complejos sistemas biológicos 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, las tinturas, la tinta, el papel y algunos productos farmacéuticos son buenos ejemplos de sistemas coloidales. Las suspensiones coloidales son comunmente acuosas, aunque también pueden ser utilizadas suspensiones no acuosas.

En cada caso las propiedades físicas y cualidades de las suspen-



*Partículas Sin Carga* están libres para chocar y aglomerar.

siones 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 purificación de agua se debe, por el contrario, minimizar las fuerzas de repulsión entre las partículas que las enturbian, para que así 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 electroquinéticos. Cada coloide con-

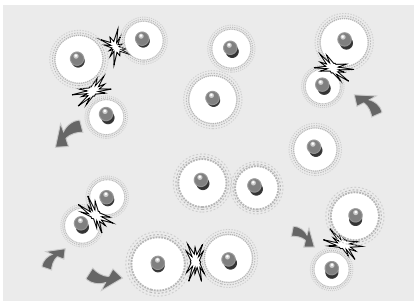
tiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza negativa, aunque también puede ser positiva. Estas cargas producen fuerzas de repulsión electrostática entre los coloides vecinos. Si la carga es suficientemente elevada los coloides permanecen discretos, dispersos y en suspensión. Reduciendo o eliminando estas cargas se obtiene el efecto opuesto y los coloides se aglomeran y sedimentan fuera de la suspensión.

### 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 solo coloide negativo, si los iones que neutralizan sus cargas son repentinamente sacados.

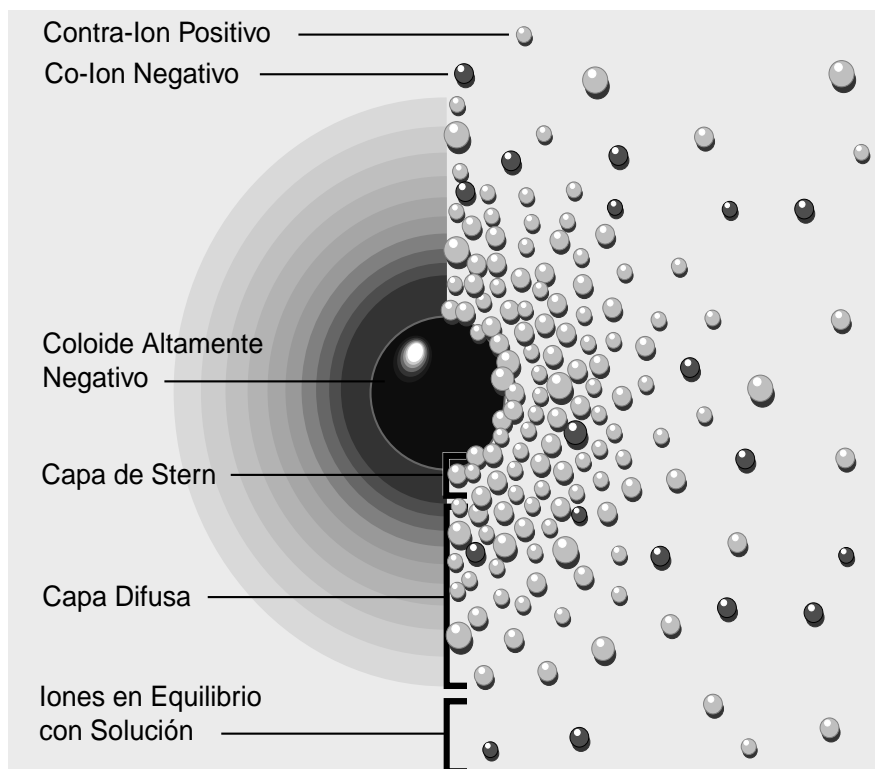
Veamos primero el efecto del coloide sobre el ion positivo (llamado *contra-ion*) en la solución. Inicialmente, la atracción del coloide negativo hace que algunos iones positivos formen una rígida capa adyacente alrededor de la superficie del coloide; esta capa de contra-iones es conocida como la *capa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

Otros iones positivos adicionales son todavía atraídos por el coloide negativo, pero estos son ahora rechazados por la capa de Stern, así



*Partículas Cargadas* se repelan unas á otras.

La capa difusa puede ser visualizada como una atmósfera cargada rodeando al coloide.



### **Dos Maneras de Visualizar la Doble Capa**

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.

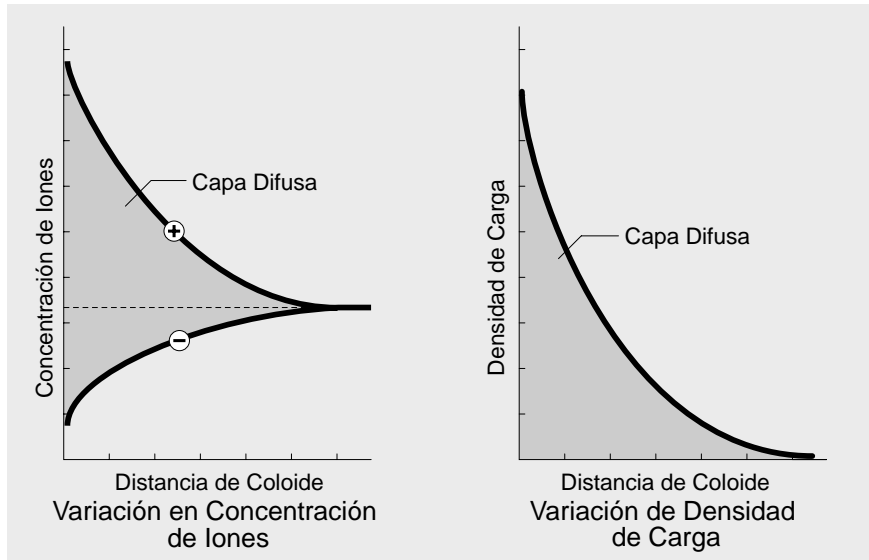
como por otros iones positivos que intentan acercarse al coloide. Este equilibrio dinámico resulta en la formación de una *capa difusa* de contra-iones. Los contra-iones tienen una alta concentración cerca de la superficie, la cual disminuye gradualmente con la distancia, hasta que se logra un equilibrio con la concentración de los contra-iones en el seno de la disolución.

En forma similar, aunque opuesta, en la capa difusa hay un déficit de iones negativos, llamados *co-iones* 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 contra-iones 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.

El coloide negativo y su atmósfera cargada positivamente producen un potencial eléctrico relativo a la solución.



**Variación de Densidad de Iones en la Capa Difusa**

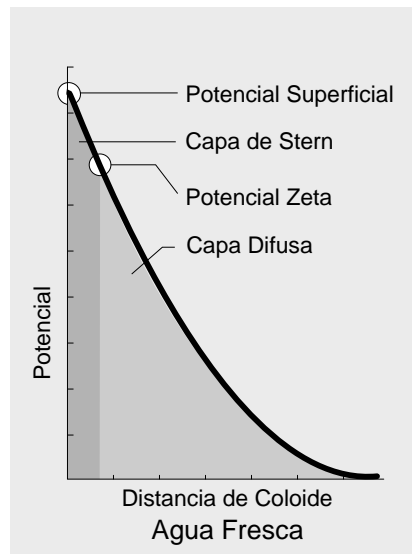
Estas figuras son dos representaciones del cambio en densidad de carga en la capa difusa. La primera muestra la variación en la concentración de iones positivos y negativos con la distancia de un coloide negativo. La segunda enseña el efecto neto; eso es, la diferencia en la densidad de carga positiva y negativa.

**El Potencial Zeta**

El coloide negativo y su atmósfera cargada positivamente producen un potencial eléctrico relativo a la solución. Este tiene un 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.

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 porque puede ser medido de una manera muy simple, mientras que la carga de la superficie y su potencial no pueden medirse. El poten-

cial zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del coloide puesto que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides.



**Potencial Zeta contra Potencial Superficial**

La relación entre potencial zeta y potencial superficial depende del nivel de iones en la solución. En agua fresca, la gran doble capa hace que el potencial zeta sea una buena aproximación del potencial superficial.

La teoría DLVO explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separados.

## El Balance de Repulsión y Atracción

La teoría DLVO (llamada así por Derjaguin, Landau, Verwey y Overbeek) es la clásica explicación de los coloides en suspensión. Esta 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.

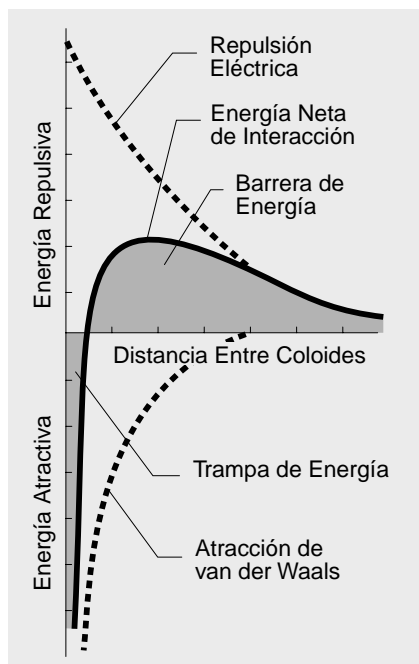
La repulsión electrostática llega a ser importante cuando los coloides se aproximan y la doble capa comienza a interferir. Se requiere energía para superar esta repulsión y forzar la unión entre las partículas. Esta energía aumenta

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 ciertamente el resultado de las fuerzas entre las moléculas individuales de cada coloide. 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.

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*. A cada distancia el pequeño valor se resta del mayor valor para dar la energía neta. El valor neto se representa entonces arriba si es repulsivo o abajo si es atractivo, y así se forma la curva. La curva de interacción neta cambia siempre



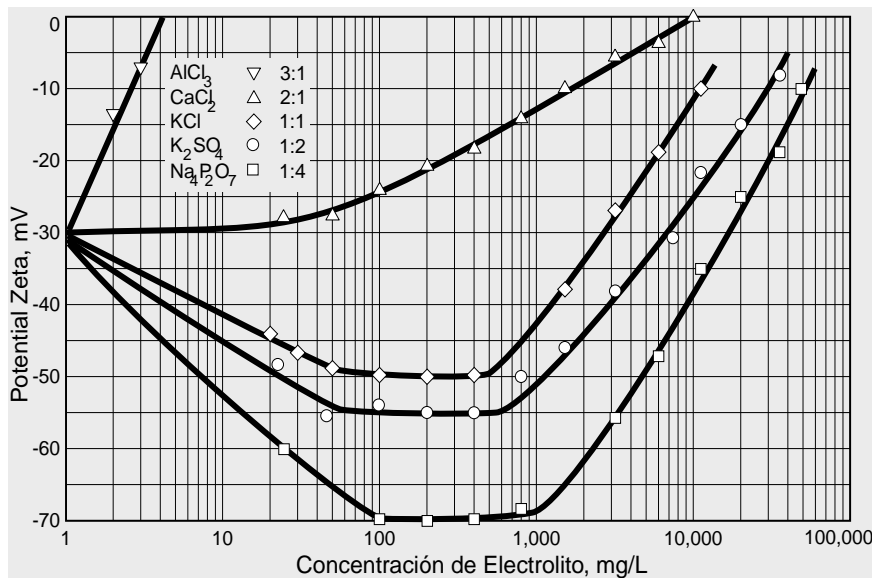
### Interacción

La curva de energía neta de interacción se forma al restar la curva de atracción de la curva de repulsión.

Dependiendo de nuestros propósitos es posible alterar el entorno del coloide bien para aumentar o para disminuir la barrera energética.

de atracción a repulsión y nuevamente a atracción. 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 cuan estable es el sistema. Para aglomerar dos partículas que van a chocar estas 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. Varios métodos pueden ser usados 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.



#### Efecto de Tipo y Concentración de Electrolitos

Electrolitos simple e inorgánicos pueden tener un efecto significativo en el potencial zeta. El efecto frecuentemente depende de la valencia relativa de los iones y de su concentración. La valencia relativa también puede considerarse como el tipo de electrolito, el cual se entiende como la razón estequiométrica entre el catión y el anión. En este ejemplo, el potencial zeta de una suspensión diluida de sílice coloidal fue modificada al añadir diferentes electrolitos. Cloruro de aluminio es un electrolito 3:1 y sus cationes trivalentes fácilmente desplazan el potencial zeta hacia cero. Contrasta esto con el efecto de sulfato de potasio, un electrolito 1:2. Al principio, el potencial zeta decrece hasta que se alcanza una meseta cerca de 50 mg/L. Al rededor de 500 mg/L, el potencial zeta empieza a subir porque los iones comprimen la doble capa.

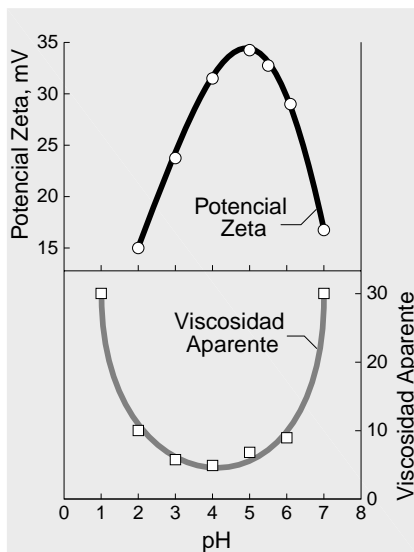
Asbesto  
Bebidas o Brebajes  
Biómedico  
Bíoquímica  
Carbón

Detergentes  
Emulsiones

## Aplicaciones del Potencial Zeta

### Arcillas y Cerámicas

La doble capa eléctrica de partículas de arcillas tiene un efecto significativo sobre sus características — sedimentación, floculación y viscosidad. Además de las cerámicas, las arcillas son parte esencial de los papeles, perforación de pozos, pegamentos, ungüentos, gomas y plásticos sintéticos. La mayoría de estos sistemas son dispersiones de arcillas en agua y otros líquidos. La química del coloide de barro es importante en casi todas las aplicaciones donde se usan arcillas y líquidos, como en los problemas de consolidación de la tierra, nutrición de las plantas, preparación y modelado de cerámicas y en la perforación de pozos de petroleros.

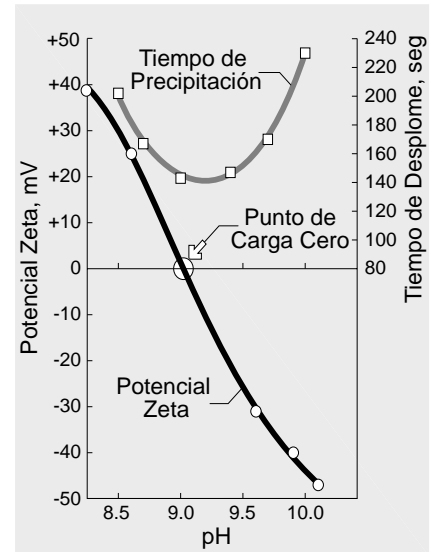


### Minerales

Se separan muchos elementos de los minerales tales como cobre, plomo, zinc y tungsteno del mineral al mezclarlos con un colector y al suspenderlos en agua. Luego se les somete a flotación. Se inyecta aire a la mezcla y el colector hace que las partículas se adhieran a las burbujas y así puedan recubrir la superficie de la burbuja. La eficiencia de este proceso depende del grado de adsorción entre el colector y el mineral, el cual puede ser controlado por el potencial zeta de las partículas. Otra interesante aplicación de los estudios de potencial zeta ha sido la minimización de la viscosidad de los barros de carbón.

### Control de Moldaje de Arcillas Líquidas

En las suspensiones de arcillas líquidas se debe minimizar su viscosidad para que fluyan prontamente y liberen fácilmente a las burbujas de aire. La figura muestra el efecto de pH en la viscosidad aparente y potencial zeta de thoria ( $ThO_3$ ). Observe que el potencial zeta máximo corresponde a una viscosidad aparente mínima.



### Determinación del Punto de Carga Cero

Estos experimentos con alfa-alumina muestran una buena correlación entre el punto de carga cero determinado por potencial zeta y el punto de tiempo máximo de precipitación. El tiempo de precipitación es una buena medida del grado de coagulación.

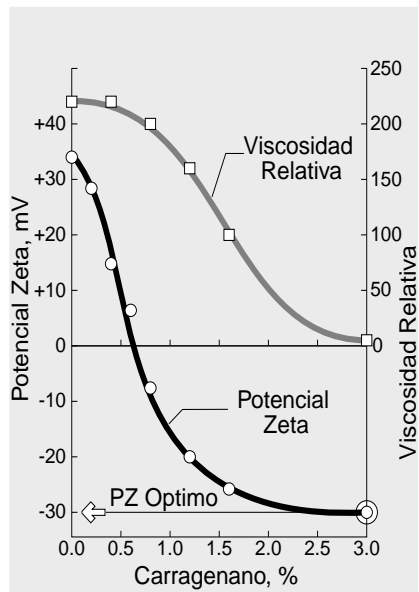
Emulsiones Fotográficas  
Energía Atómica  
Fibras  
Pegamentos

Petróleo  
Petroquímica  
Pigmentos

## Productos Farmacéuticos

Las propiedades físicas de los productos farmacéuticos afectan los resultados esperados del producto. Una suspensión satisfactoria no se endurece y se mantiene aún cuando usted la guarda en el gabinete. Con coloides finos esto puede lograrse agregando un agente de suspensión para incrementar el potencial zeta y producir una máxima repulsión entre las partículas adyacentes. Un sistema de alta dispersión sedimentará muy lentamente pero las partículas que lleguen a sedimentarse se aglomerarán, propiciando el endurecimiento.

Algunas veces la forma mas efectiva de acercarse a una suspensión satisfactoria es formando una débil suspensión floculada. Las partículas suspendidas forman una "madeja" aglomerada unida por fuerzas de van der Waals. Las partículas floculadas sedimentan rápidamente formando unas ligeras masas adheridas con grandes sedimentos en lugar de formarse una pasta. Una floculación débil requiere un potencial zeta de casi cero.



### Fluidización de una Suspensión Antiácida

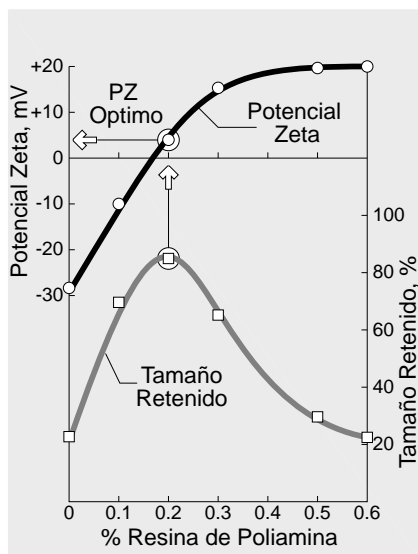
Una alternativa de floculación es fluidización. En fluidización, un polielectrolito con carga negativa es usado como un agente fluidificante. El polielectrolito se adsorbe a la superficie de las partículas insolubles y las desflocula tan pronto que el potencial zeta excede el valor crítico. Este gráfico ilustra la fluidización de una suspensión de hidróxido de aluminio usando carragenano de sodio como el agente fluidificante. Las disminuciones en el potencial zeta y en la viscosidad de la suspensión, las cuales tienen una buena correlación, son producidas por un aumento en la concentración de carragenano.

## Pinturas

Los pigmentos de las pinturas deben estar muy bien dispersos, para obtener una pintura de buena calidad. Si los pigmentos se aglomeran, entonces la pintura parecerá tener grandes partículas de pigmentos y la calidad del color disminuye. El brillo y la textura también son afectados por el grado de dispersión de las partículas en la pintura. Las medidas del potencial zeta pueden ser utilizados en este caso para controlar la composición de la pintura y la cantidad de aditivos necesarios para una dispersión óptima.

## Fabricación de Papel

La retención de fibras y finos puede ser aumentado mediante el control del potencial zeta. El potencial zeta reduce la cantidad de sedimentos producidos por la planta de tratamiento de desagüe y también reduce la carga en sistemas de reciclaje de agua tratada.



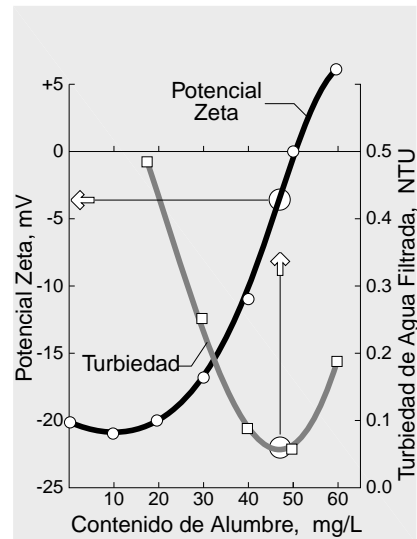
### Retención de Tamaño Sintético en la Fabricación de Papel

El punto de retención máximo de tamaño sintético corresponde a un valor de potencial zeta de +4mV, el cual puede ser considerado el PZ óptimo. Valores más positivos o más negativos de potencial zeta causan una reducción en el porcentaje de tamaño retenido. Operando al valor óptimo resulta en un ahorro de óxido de titanio, mejoramiento de formación de hojas, aumento de la vida de alambre, mejoramiento de encoladura, control de pez, y reducción bióxida.

La medición del potencial zeta asiste igualmente al fabricante de papel a comprender el efecto de varios ingredientes del papel, así como también las características físicas de las partículas del papel.

## La Coagulación del Agua y Desagüe

El potencial zeta es una manera adecuada de optimizar la dosificación de coagulante en el agua y en tratamientos de desagüe por coagulación. Los sólidos suspendidos más difíciles de remover son los coloides. Por su diminuto tamaño, ellos escapan fácilmente tanto a la sedimentación como a la filtración. El método para remover el coloide es mediante la disminución del potencial zeta con coagulantes tales como el alumbre, cloruro férrico y/o polímeros catiónicos. Una vez reducida o eliminada la carga no existirán fuerzas repulsivas y la ligera agitación del estanque de floculación causará numerosos choques entre los coloides. Esto resulta primero en la formación de sistemas microfloculados los cuales crecen hasta llegar a ser sistemas floculados visibles que se acomodan rápidamente y pueden ser filtrados fácilmente.



### Control de Potencial Zeta Sobre Contenido de Alumbre

No hay un solo potencial zeta que pueda garantizar una buena coagulación en cada planta de tratamiento de agua. Frecuentemente será entre 0 y 10 mV pero el valor óptimo es mejor establecido por medio de una prueba, usando una planta piloto o experiencias en operación.

Una vez que el valor deseado es establecido, estas correlaciones ya no son necesarias, con la excepción de revisiones periódicas semanales, mensuales, o estacionales. El control solo implica sacar una muestra y medir el potencial zeta de las partículas. Si el valor medido es más negativo que el valor deseado, entonces aumente la dosis del coagulante; si es más positivo, disminúyalo.

En este ejemplo, un potencial zeta de -3 mV corresponde a la turbiedad más baja de agua filtrada y será usada como el valor deseado.

Una persona con un mínimo de entrenamiento puede operar nuestros instrumentos.

## Nuestro Instrumento

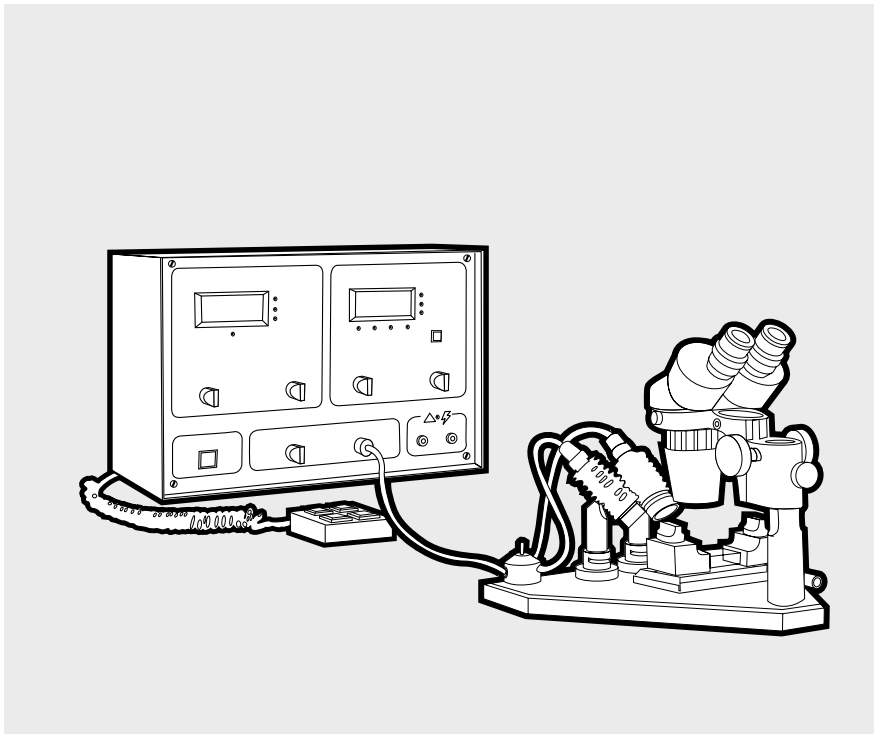
### Es Simple, Confiable y Preciso

El concepto del potencial zeta fue reconocido hace más de 100 años y los instrumentos fueron inicialmente frágiles y rudimentarios. Hace 30 años que la compañía Zeta-Meter fue la pionera en el desarrollo de un instrumento comercial simple, confiable y preciso para la medida de la movilidad electroforética (ME) y del potencial zeta (PZ). Actualmente una persona con un mínimo de entrenam-

iento puede operar nuestros instrumentos.

Las medidas de potencial zeta son hechas usando la técnica llamada *microelectroforésis*. Un microscopio de alta calidad es usado para observar comodamente las partículas coloidales que se encuentran dentro de una cámara llamada celda (o célula) electroforética. Dos electrodos colocados en los extremos de la cámara son conectados a una fuente de poder, creándose un campo eléctrico que cruza la celda. Los coloides cargados migran en el campo y su movim-

iento y dirección están relacionados con su potencial zeta. Nuestros instrumentos verdaderamente miden la movilidad electroforética de las partículas, la cual es expresada como micrones/segundo por voltios/centímetro. El primer término, micrones por segundo, representa simplemente la velocidad, mientras que el segundo, voltios por centímetro, es una expresión de la fuerza eléctrica del campo. El potencial zeta se calcula a partir de las medidas de la movilidad electroforética. Nosotros preferimos utilizar los valores de potencial zeta en casi todos los sistemas, debido a que expresa el verdadero fenómeno involucrado y no el efecto físico del potencial, la cual es la movilidad.



#### **Zeta-Meter Sistema 3.0+**

*Un impresor del tipo paralelo se puede conectar directamente para obtener una copia de sus datos.*

---

Al soltar el botón “track” del Zeta-Meter 3.0+, este calcula y muestra el potencial zeta de ese coloide.

---

## Operando El Sistema Zeta-Meter 3.0

Nuestro sistema Zeta-Meter 3.0+ es una versión basada en un microprocesador de nuestro modelo previo. Mide la movilidad electroforética, calcula el potencial zeta y puede ser usado tanto en suspensiones líquidas acuosas como orgánicas. Llene la celda con su muestra, inserte los electrodos y conéctelos al instrumento Zeta-Meter 3.0+. Nuestro instrumento determina la conductividad específica de su muestra y ayuda así a seleccionar el voltaje apropiado para aplicarla. Aplique energía a los electrodos y observe como se mueven los coloides de un lado al otro del cuadrante, sobre las líneas verticales del lente del microscopio. Rastree uno de los coloides y cuando este haya alcanzado una de las líneas verticales del cuadrante apriete el botón “track” y manténgalo así hasta que el coloide atraviese otra línea vertical del cuadrante. Al soltar el botón “track” del Zeta-Meter 3.0+, este calcula y muestra el potencial zeta de ese coloide (también puede mostrar la movilidad electroforética). Cada medida tarda aproximadamente 3 a 15 segundos, siendo necesario considerar un valor promedio de un número no inferior a ocho medidas. En total la medida del potencial zeta de un coloide tarda menos de 5 minutos.

---

## Operación Sin Errores

El Zeta-Meter 3.0+ está diseñado para trabajar sin cometer errores. Reconoce los tiempos que son demasiado cortos y los resultados inútiles: al apretar el botón “clear” se pueden borrar estos y otros datos inconsistentes sin que se pierda el resto.

---

## Datos Consecuentes

El Zeta-Meter 3.0+ mantiene constantemente la información de las medidas, las cuales pueden ser revisadas en cualquier momento. Sólo tiene que presionar el botón “status” para conocer lo siguiente: cuantos coloides ha rastreado, el promedio del potencial zeta o de la movilidad electroforética así como la desviación estadística de sus valores.

Usted también puede conectar una impresora a nuestro Zeta-Meter 3.0+ y hacer una copia en papel de sus datos, mostrando el valor obtenido para cada coloide individual. El registro mostrará también las condiciones de operación incluyendo cualquier cambio realizado durante la determinación. Finalmente, un resumen estadístico se imprimirá al final de cada página. El Zeta-Meter 3.0+ es compatible con la mayoría de los impresores del tipo paralelo que operan con el micro-computador personal IBM.

---

Nuestros instrumentos tienen un precio razonable y se caracterizan por sus bajos costos de mantenimiento.

---

## Nuestra Compañía

---

### El Zeta-Meter Tiene un Precio Accesible

Zeta-Meter Inc. es una pequeña compañía especializada. Nosotros hemos desarrollado y construido instrumentos de electroforesis durante más de 30 años. Nuestros instrumentos tienen un precio razonable y se caracterizan por sus bajos costos de mantenimiento. Además nuestro control de calidad nos ha permitido obtener una historia de excelencia en confiabilidad.

Ofrecemos nuestra experiencia respecto a aplicaciones específicas del potencial zeta y sus preguntas serán siempre bienvenidas (aún cuando estas vengan en español). Se pueden hacer demostraciones e investigaciones sobre un número limitado de sus propias muestras.

Ofrecemos asistencia técnica en la utilización de la sistema Zeta-Meter 3.0+ para poder enseñar a sus profesionales o a su personal de operación, así como entrenamientos en su operación y en las aplicaciones en su campo específico de interés.

Si nos informa sobre sus propias necesidades, le proveeremos información acerca del uso del potencial zeta en su caso particular.

---

### Ordene Su Catálogo del Zeta-Meter 3.0+

Envíenos una carta o nota pidiendo nuestro catálogo. Le ayudará a seleccionar las opciones y accesorios que mejor se acomoden a sus necesidades y a su presupuesto económico. Una guía que le ayudará a seleccionar los componentes está incluida en la parte posterior del catálogo.

---

### Zeta-Meter, Inc.

PO Box 3008  
Staunton, VA 24402  
USA  
Telefono.....540-886-3053  
Fax.....540-886-3728  
<http://www.zeta-meter.com>

---

## Especificaciones

Potencial Zeta .....	-125 a +125 mV
Movilidad Electroforética .....	-20 a +20 micrones/segundo por voltios/centimetro
Conductividad Especifica .....	0 a 60,000 micromhos/centimetro
Temperatura .....	5 a 75 °C
Concentración .....	10 a 800,000 mg/L (0 a 80% peso/peso)
Diametro de Particula .....	0.2 a 100 micrones (2,000 to 1,000,000 angstroms)
Tamaño de la Muestra .....	20 mL por lo menos
Medio .....	agua o liquidos organicos