

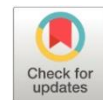


Estudio computacional del comportamiento de dos cuerpos con cargas iguales

Computational study of the behavior of two bodies with equal charges

- ¹ Dalinda Ileana Quingatuña Cali  <https://orcid.org/0000-0003-0105-0555>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
dquingatuna@epoch.edu.ec
- ² Joselyne Estefania Ramos Peñafiel  <https://orcid.org/000-0002-1371-9212>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
joselyne.ramos@epoch.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 10/06/2022

Revisado: 21/07/2022

Aceptado: 18/08/2022

Publicado: 01/09/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.274>

Cítese:

Quingatuña Cali, D. I., & Ramos Peñafiel, J. E. (2022). Estudio computacional del comportamiento de dos cuerpos con cargas iguales. AlfaPublicaciones, 4(3.2), 6–20. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i3.2.274>



ALFA PUBLICACIONES, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

doble capa eléctrica, sobrecarga, fuerzas electrostáticas, confinamiento.

Resumen

Introducción: El comportamiento de las fuerzas electrostáticas entre dos cuerpos de cargas iguales se repelen de manera natural sin embargo se ha estudiado y se ha demostrado que hay como estabilizar este sistema bajo ciertas condiciones siendo de interés por sus diferentes aplicaciones en la ciencias de materiales y medicina teniendo como meta la estabilización por largo tiempo, con ayuda del teorema de la Doble Capa Eléctrica, la sobrecarga y el confinamiento iónico se predice que es posible bajo ciertos parámetros que el sistema se estabilice por un tiempo limitado.

Objetivos: Diseñar un sistema de dos cuerpos cargados inmersos en una solución electrolito; simular el sistema cambiando la carga del plano, la concentración de la solución, la distancia entre la esfera cargada y el plano; estudiar la estabilización del sistema en función de las fuerzas electrostáticas y energía. **Metodología:** Se utilizó la metodología de modelado y simulación computacional en la que se basa en un proceso no experimental mediante algoritmos el estudio y funcionamiento de los fenómenos modelizados siendo además una investigación longitudinal ya que se estudiará la estabilización del sistema con el cambio de algunos parámetros del mismo, la construcción del sistema se parte del método inductivo con las de Boltzamn, Stern y Bjerrum y para el estudio de resultados se ha utilizado el método deductivo.

Resultados: Se realizó el estudio del sistema construido mediante simulaciones computacionales con las diferentes distancias con cada una de las cargas del plano con diferente sal y concentración, donde la simetría del sistema hace que la fuerza plano – esfera forme un incremento de la curva de la fuerza de los cationes hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión estos resultados sugieren que la complejación deben obtenerse estructuras empaquetadas para una cierta concentración y que aumente la entropía del sistema. **Conclusiones:** En conclusión en este artículo se estudió el efecto de superponer dos cuerpos cargados con la misma carga en un medio con concentración de diferentes obteniendo la estabilización del sistema en función a la concentración de la sal y carga el plano.

Keywords:

electrical
double layer,
overload,
electrostatic
forces,
confinement.

Abstract

Introduction: The behavior of electrostatic forces between two bodies of equal charges repel each other naturally, however it has been studied and it has been shown that there is a way to stabilize this system under certain conditions, being of interest for its different applications in materials science and medicine with long-term stabilization as its goal, with the help of the Electrical Double Layer theorem, overload and ionic confinement, it is predicted that it is possible under certain parameters for the system to stabilize for a limited time. **Objectives:** Design a system of two charged bodies immersed in an electrolyte solution; simulate the system by changing the charge of the plane, the concentration of the solution, the distance between the charged sphere and the plane; study the stabilization of the system as a function of electrostatic forces and energy. **Methodology:** The modeling and computational simulation methodology was used, which is based on a non-experimental process through algorithms, the study and operation of the modeled phenomena, being also a longitudinal investigation since the stabilization of the system will be studied with the change of some parameters. of the same, the construction of the system is based on the inductive method with those of Boltzmann, Stern and Bjerrum and for the study of results the deductive method has been used. **Results:** The study of the constructed system was carried out by means of computational simulations with the different distances with each one of the loads of the plane with different salt and concentration, where the symmetry of the system makes the force plane - sphere form an increase in the curve of the force of the cations until reaching the maximum distance from the plane, which is the size of the sphere, which means that the anions are interacting with the negative sphere and the negative plane, which means that for a few moments the sphere is not expelled by the repulsive forces these results suggest that complexation must be obtained packed structures for a certain concentration and that the entropy of the system increases. **Conclusions:** In conclusion, this article studied the effect of superimposing two bodies loaded with the same load in a medium with different concentrations, obtaining the stabilization of the system based on the concentration of salt and load on the plane.

Introducción

Las interacciones de Van der Waals son del tipo no enlazantes dando estabilidad a la estructura de la molécula y se calculan considerando los pares de átomo (Israelachvili, 2011). Una manera de incluirlas en los cálculos de la mecánica molecular es mediante los potenciales de Lennard-Jones, donde es posible considerar las dos principales características de las interacciones no enlazantes. Las primeras, son las atractivas a largo alcance y las segundas, son las repulsivas a corto alcance, las partículas adquieren una determinada carga superficial, tiene origen en la disociación de los grupos superficiales, adsorción de iones procedentes de la disolución (Margenau, 1939). La doble capa eléctrica que se forma depende de la densidad de carga superficial y concentración de iones en el medio (Bardeen, 1936). Stern plantea que los iones no pueden acercarse a la superficie a una distancia menor a la de su radio (Mangelsdorf, 1998), valores que se encuentran entre el radio de un ion no hidratado y uno hidratado, de forma que la doble capa eléctrica queda dividida en dos regiones: la capa de Stern que va desde la superficie de la partícula hasta al plano Stern y la capa difusa que abarca la región de la doble capa eléctrica, con distancias de δ , donde se puede aplicar el modelo de Gouy- Chapman (G, 1990), los iones al ser esferas rígidas tienen una distancia de acercamiento al plano cargado. Precisamente a distancias próximas a esta, el modelo primitivo predice una mayor concentración de iones catiónicos o contraiones que son los iones con carga negativa, el exceso de contraiones da lugar al fenómeno de sobrecarga también conocida como inversión de carga (Oldham, 2008). Cuando el sistema se encuentra sobrecargado, la carga neta de signo opuesto hace que los iones catiónicos se sientan atraídos a distancias del plano del orden de tres veces el radio iónico y por ende su concentración aumenta en esta región (Ajdarid, 2009). Y cuando el sistema invierte su carga, los papeles que desempeñan los iones catiónicos y iones aniónicos se intercambian por lo que el mínimo de una función coincide con el máximo de la función correspondiente a la otra especie iónica (Castiglioni, 2004).

El confinamiento influye al orden de un sistema molecular llegando a producir cambios de densidad influyendo en la solución en la que se encuentra inmerso el sistema dieléctrico (Israelachvili, 2001). En el estudio de física de superficie con coloides se demostró que las bicapas lipídicas cargadas inducen la atracción entre moléculas de ADN con carga similar (Liang, 2003). La liberación del contraión de la capa cargada que se forma se da dependiendo de la distancia que hay entre las macropartículas que se aproximan y la capa. Se entiende por liberación de contraiones la expulsión de contraiones del espacio entre las macropartículas y las superficies que se aproximan (Safinya, 2001), y se afirma que es la fuerza impulsora del autoensamblaje de orden superior (Rädler, 1997), por lo que en este trabajará en fase lamelar, este sistema puede ser modelado por un plano cargado negativamente y una esfera cargada negativamente (ADN) mediante simulaciones de Monte Carlo (MC).

Metodología

El presente trabajo utilizo la metodología de modelado y simulación computacional en la que se basa en un proceso no experimental mediante algoritmos el estudio y funcionamiento de los fenómenos modelizados siendo además una investigación longitudinal ya que se estudiará la estabilización del sistema con el cambio de algunos parámetros del mismo.

En cuanto a la construcción del sistema se parte del método inductivo donde las ecuaciones utilizadas han sido ya propuestas por Boltzamn, Stern y Bjerrum mientras que para el estudio de resultados se ha utilizado el método deductivo. A continuación se explica como se ha construido el sistema, se parte de simulaciones MC para estudiar la fuerza que siente una esfera rígida cargada negativamente dispuesta de manera paralela a un plano con densidad de carga superficial negativa, en función de la distancia de separación y en presencia de iones. Se propone estudiar el efecto fuerza vs distancia tomando en cuenta el cambio de:

- Carga del plano
- Tipo de sal (Z+: Z-)
- Concentración de sal añadida (sin contar contraiones)
- Distancia plana – cilindro
- Tamaño de los iones

El código describe un sistema inicial formado por una caja con dimensiones de $L_x=120 \text{ \AA}$, $L_y=120 \text{ \AA}$ y $L_z=160 \text{ \AA}$, que contiene un cilindro cargado, largo y duro con un $R=10.5 \text{ \AA}$, y dos placas negativas con densidad de carga es de -0.05 C/m^2 para cada placa, se utiliza un modelo primitivo para todo (potenciales duros + carga eléctrica). Los iones cargados tanto del plano como del cilindro tienen magnitud 1 (positivo o negativo) que inicialmente está inmersa en un medio de electrolitos de concentración [1:1] con 0.15M/L con un valor de diámetro de $a=4.25 \text{ \AA}$, el valor de la distancia entre el plano y cilindro inicial es $h=0.001 \text{ \AA}$ y la distancia entre las cargas y el cilindro cargado es 1.7 \AA , Tanto plano como cilindro tienen la misma constante dieléctrica que el medio (agua) $\epsilon = 78.5$ en una temperatura $T=298 \text{ K}$, el plano cargado se encuentra paralelo a $z=0$, y el cilindro se encuentra paralelo al eje x. Los sitios del plano se mueven de tanto en tanto para evitar el efecto de la carga discreta. RPM consiste en esferas duras con una carga puntual centrada, tal que su interacción electrostática es:

$$U_E(r_{ij}) = \frac{l_B z_i z_j}{\beta r_{ij}} \quad (1)$$

$\beta = \frac{1}{k_B T}$, k_B constante de Boltzmann, T =temperatura absoluta, $z_i y z_j$ son las valencias de los sitios i y j , $l_B = \frac{\beta e^2}{\epsilon} = 7.14 \text{ \AA}$ que es la longitud de Bjerrum (Israelachvili, 2001; 2011). El formalismo Ewald se usa para las interacciones columbinas, que permite el intercambio de iones entre la región confinada y no confinada, con un movimiento de desplazamiento máximo (Matthew & Brown, 2016). Contribuciones electrostáticas de las fuerzas actuantes en las macropartículas son obtenidas por:

$$F_{el} = \langle \sum_i \sum_j \nabla U_E(r_{ij}) \rangle \quad (2)$$

Para estudiar el efecto de fuerza electrostáticas vs distancia se tomó en cuenta los siguientes datos:

Tabla 1

Parámetros físicos del sistema

Distancia cilindro h (Å)	plano	Carga del plano C/m^2	Tipo de sal (Z+: Z-)	Concentración de sal añadida (sin contar contraiones) (M/L)	Tamaño de los iones
0.001	7	0.2	[1:1]NaCl	0.15	Hidratado
0.1	8	0.05	[2:1]CaCl2	0.015	
1	9	0.002	[3:1] AlCl3	0.0015	
2	10				
3	12				
4	14				
5	16				
6	18				

Resultados

Se realizó el estudio del sistema construido mediante simulaciones computacionales con las diferentes distancias con cada una de las cargas del plano con diferente sal y concentración basados en sistemas similares ya estudiados (G.Odrizola, 2006), obteniendo la figura 1 la simulación de Cloruro de Sodio con carga superficial de $\sigma_0=-0,2 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L, la figura 2 de Cloruro de Sodio con carga superficial de $\sigma_0=-0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L, la figura 3 de Cloruro de Sodio con carga superficial de $\sigma_0=-0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.015 M/L, la figura 4 de Cloruro de Calcio con carga superficial de $\sigma_0=-0,2 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L, la figura 5 de Cloruro de Calcio con carga superficial de $\sigma_0=-0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L

y la figura 6 de Cloruro de Aluminio con carga superficial de $\sigma_0 = -0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L

Figura 1

(NaCl) $\sigma_0 = -0,2 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L

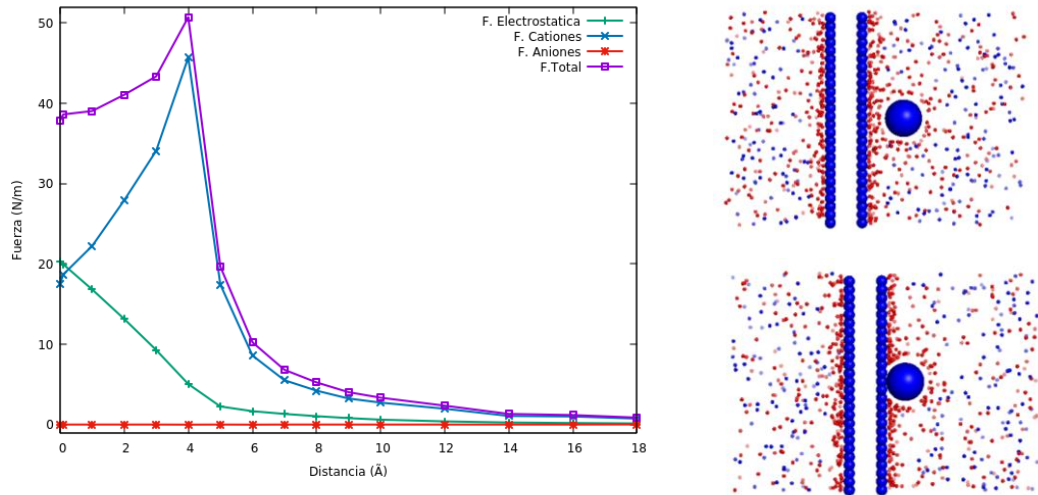


Figura 2

(NaCl) $\sigma_0 = -0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L

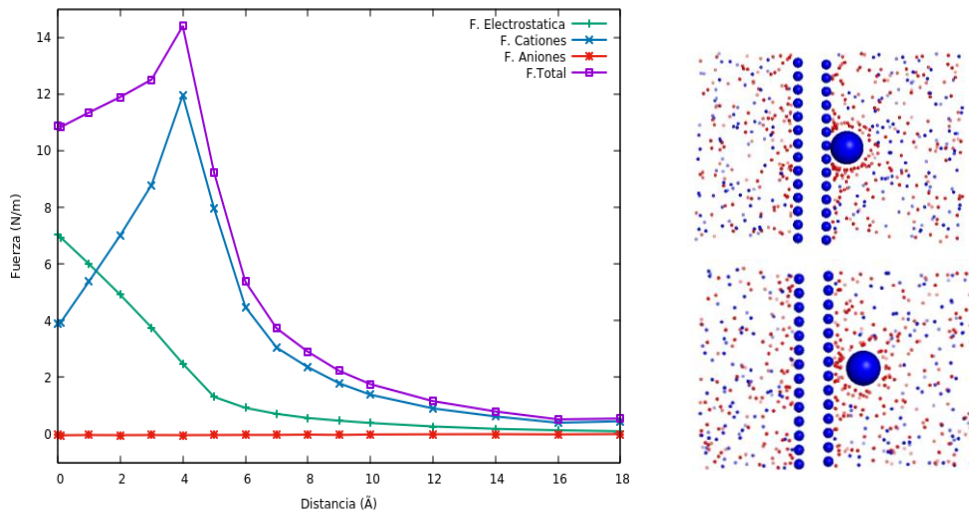


Figura 3

(NaCl) $\sigma_0 = -0,05 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.015 M/L

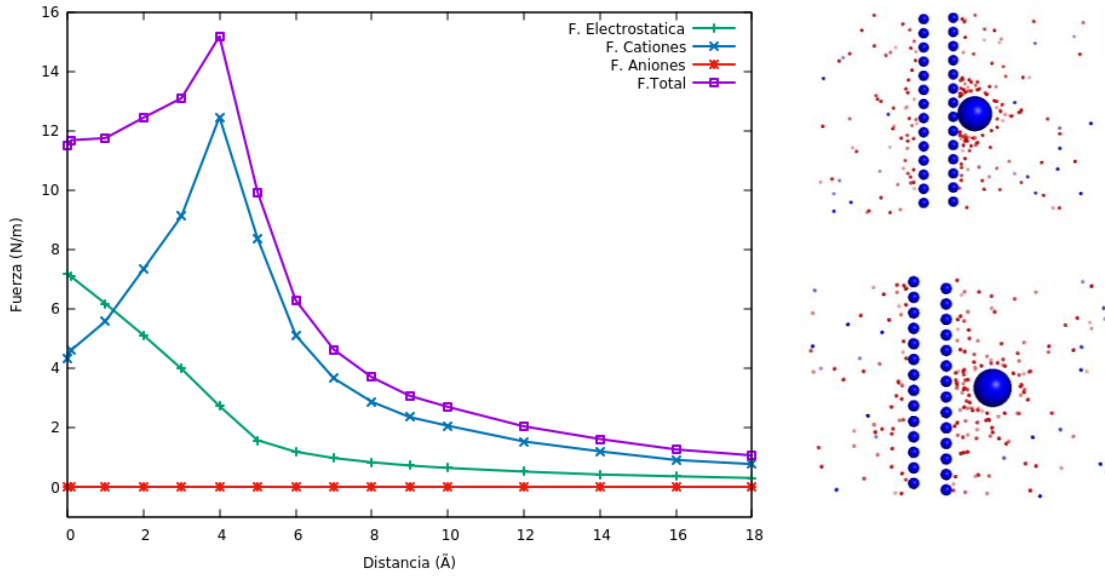


Figura 4

(CaCl₂) $\sigma_0 = -0,2 \text{ C/m}^2$ y concentración de 0.15 M/L

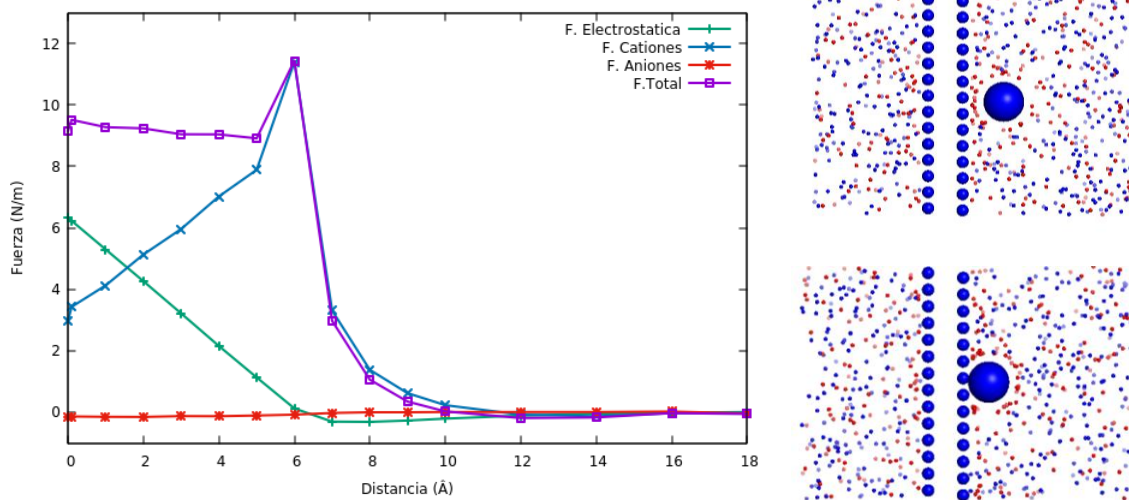


Figura 5

$(CaCl_2) \sigma_0 = -0,05 C/m^2$ y concentración de 0.15 M/L

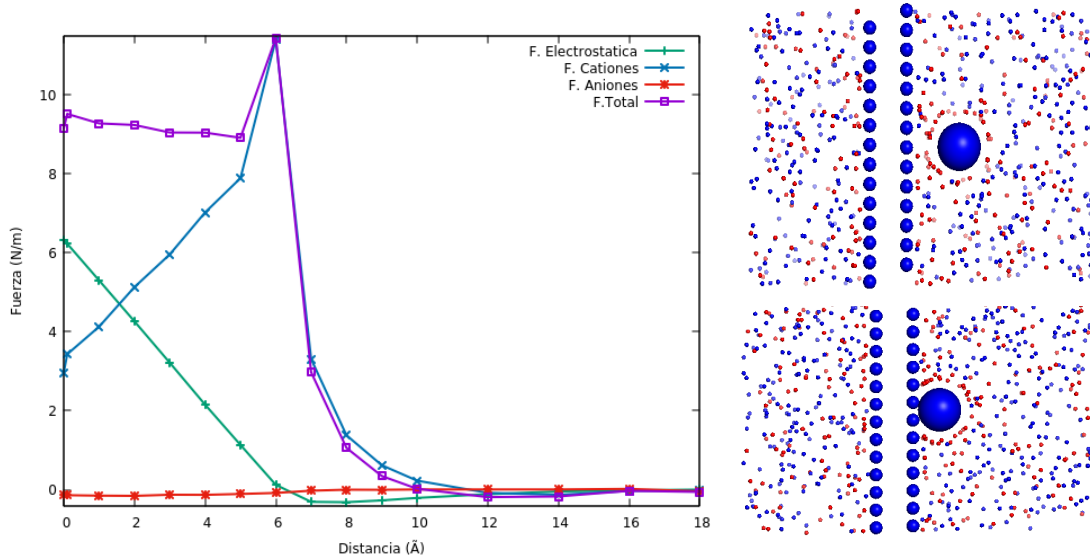
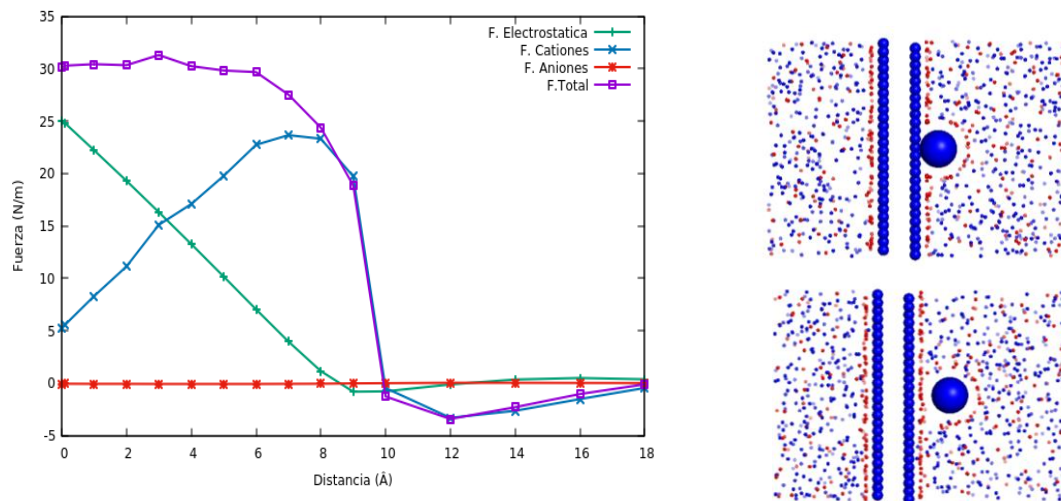


Figura 6

$AlCl_3 \sigma_0 = -0,05 C/m^2$ y concentración de 0.15 M/L



Las fuerzas efectivas plano – esfera se muestra en la figura 1 la simetría del sistema hace que el fuerza plano – esfera podemos observar la curva de la fuerza de los cationes presentan un incremento significativo hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones positivos están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión. De manera similar podemos observar este comportamiento en la figura 2 sin embargo se puede ver que a menor

concentración la fuerza de los cationes disminuye haciendo que disminuya la fuerza electrostática por lo que dure menos la estabilización del sistema. En la figura 3 se observa un comportamiento similar a la figura 2. En la figura 4 y 5 se trabaja con Cloruro de Calcio la simetría del sistema hace que el fuerza plano – esfera podemos observar la curva de la fuerza de los cationes presentan un incremento significativo hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones positivos están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión sin embargo los valores de la fuerzas de los cationes es pequeña para estabilizar el sistema por un tiempo indefinido y en la figura 6 se trabaja con Cloruro de Aluminio donde el tamaño es más grande y la carga más pesada por lo que la curva de la fuerza de los cationes presentan un incremento significativo hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones positivos están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión llegando a tener ligeramente superior a la figura 1.

La fuerza está compuesta por una gran contribución repulsiva eléctrica más un contacto positivo contribución, que surge como consecuencia de la gran adsorción de contraiones. 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 como se puede visualizar en cada uno de los gráficos a partir del valor máximo de la fuerza electrostática. Un punto de particular interés es el potencial donde se unen la capa difusa y la de Stern el cual es importante (David & Limmer, 2013). La potencial zeta puede ser una manera efectiva de controlar el comportamiento del coloide ya que indica cambios en el potencial de la superficie y en las fuerzas de repulsión entre los coloides. La repulsión electrostática llega a ser importante cuando la esfera se aproxima al plano cargado y la doble capa comienza a interferir. Se requiere energía para sobrepasar 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 acero 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 Vander Waals de cada molécula del segundo coloide. Esto se repite La teoría DLVO explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separado 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 tendencia de los coloides a aglomerarse y 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 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 sobredicha 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.

La contribución de contacto comienza a disminuir para $h=a$ y llega a cero para $h=1: 5a$. Esta contribución de contacto decreciente es una consecuencia de la disminución de los cationes. Los resultados que muestran la influencia del tamaño del ion (A), la fuerza total se vuelve atractiva. La clara la influencia del tamaño iónico en la interacción efectiva plano- esfera. Que, es decir, cuanto más grandes son los pequeños iones, menor es el volumen accesible y así, la entropía del sistema se reduce forzosamente. En consecuencia, el sistema reacciona empujando más iones contra las superficies de placas y varillas, para ganar volumen accesible y, por lo tanto, entropía. Desde un punto de vista mecanicista, este se traduce en una mayor fuerza de atracción de contacto. Esto es visto en la Fig. 6, donde la contribución de contacto gobierna claramente la fuerza total para un tamaño iónico suficientemente grande.

Por lo tanto, estos resultados sugieren que la complejación deben obtenerse estructuras empaquetadas para una cierta concentración. Siendo lo que muestran los experimentos, donde los iones pequeños dejan la región confinada en favor de las más grandes, para aumentar la entropía del sistema. El manejo de la valencia y la concentración de las sales añadidas pueden generar fuerzas de atracción entre macropartículas sino también el encierro puede producir este efecto. El confinamiento de la esfera y el plano con carga iguales aumentando sus fuerzas de interacción efectivas repulsivas inherentes como la esfera acercándose al plano y acercan entre sí. Esta es una consecuencia de la necesidad del sistema de disminuir la energía libre aumentando entropía, no obstante, el proceso está vinculado a varios fenómenos interesantes como la liberación de contraiones.

Conclusiones

- En conclusión en este artículo con el análisis del efecto de superponer dos cuerpos cargados con la misma carga en un medio con concentración de diferentes

electrolitos mediante la distribución de Boltzmann de valor medio de concentraciones de iones en el modelo primitivo sobre las propiedades capacitivas de la estructura del sistema se hizo abarcar un espectro de procesos empíricos relacionados con el grado de fluctuaciones en el parámetro intensivo de la energía a través de la exponencial función que permite. Las fuerzas efectivas plano – esfera se muestra en la Fig. 1 la simetría del sistema hace que el fuerza plano – esfera podemos observar la curva de la fuerza de los cationes presentan un incremento significativo hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones positivos están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión.

- La expresión analítica de la concentración de iones en función de la distancia entre carga y plano, la carga de iones, se observan valores donde la sobrecarga y estabilización del sistema se da que ha sido explicado por la función de entropía. la figura 6 se trabaja con Cloruro de Aluminio donde el tamaño es más grande y la carga más pesada por lo que la curva de la fuerza de los cationes presentan un incremento significativo hasta llegar a la distancia máxima de tope con el plano que es el tamaño de la esfera lo que significa que los aniones positivos están interactuando con la esfera negativa y el plano negativo lo que hace que por unos instantes que la esfera no sea expulsada por las fuerzas de repulsión llegando a tener ligeramente superior a la figura 1.
- La complejación deben obtenerse estructuras empaquetadas para una cierta concentración. Siendo lo que muestran los experimentos, donde los iones pequeños dejan la región confinada en favor de las más grandes, para aumentar la entropía del sistema. Por lo que no sólo el manejo de la valencia y la concentración de las sales añadidas pueden generar fuerzas de atracción entre macropartículas sino también el encierro puede producir este efecto. El confinamiento de la esfera y el plano con carga iguales aumentando sus fuerzas de interacción efectivas repulsivas inherentes como la esfera acercándose al plano y acercan entre sí. Esta es una consecuencia de la necesidad del sistema de disminuir la energía libre aumentando entropía, no obstante, el proceso está vinculado a varios fenómenos interesantes como la liberación de contraiones.

Referencias Bibliográficas

- Ajdardid, M. Z. (2009). Towards an understanding of induced charge electrokinetic at large applied voltages in concentrated solutions. *Advances in Colloid and Interface Science*.

- B.Oldham, K. (2008). A Gouy–Chapman–Stern model of the double layer at a (metal)/(ionic liquid) interface. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 131-138.
- Israelachvili, J. (2011). *Intermolecular and Surface Forces*. California: Academic Press.
- Bardeen, J. (1936). *Theory of the work function. II. The surface double layer*. . Physical Review.
- Margenau. (1939). *Van der Waals forces*. Reviews of Modern Physics.
- Mangelsdorf, C. S. (1998). The dynamic double layer Part 1 Theory of a mobile Stern layer. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 2441-2452.
- Oldham, K. B. (2008). A Gouy–Chapman–Stern model of the double layer at a (metal)/(ionic liquid) interface. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 131-138.
- Castiglioni, C. T. (2004). Raman spectroscopy of polyconjugated molecules and materials: confinement effect in one and two dimensions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2425-2459.
- Israelachvili, J. &. (2001). Putting liquids under molecular-scale confinement. *Science*, 867-868.
- Liang, H. A. (2003). Molecular Imprinting of Biomineralized CdS Nanostructures: Crystallographic Control Using Self-Assembled DNA– Membrane Templates. *Journal of the American Chemical Society*, 11.
- Safinya, C. R. (2001). Structures of lipid–DNA complexes: supramolecular assembly and gene delivery. *Current Opinion in Structural Biology*, 440-448.
- Rädler, J. O.-c.-8. (1997). Structure of DNA-cationic liposome complexes: DNA intercalation in multilamellar membranes in distinct interhelical packing regimes. *Science*, 810-814.
- David T. Limmer, C. M. (2013). Charge Fluctuations in Nanoscale Capacitors. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*.
- Matthew A. Brown, Z. A. (2016). Determination of Surface Potential and Electrical Double-Layer Structure at the Aqueous Electrolyte-Nanoparticle Interface. *PHYSICAL REVIEW X*.
- G, O. (1990). The role of energy and entropy in the electrical double layer. *Colloid Surface*.

Ajdarid, M. Z. (2009). Towards an understanding of induced-charge electrokinetics at large applied voltages in concentrated solutions. *Advances in Colloid and Interface Science*.

G.Odrizola, F. J.-Á.-C. (2006). Effect of Confinement on the Interaction between Two Like-Charged Rods. *Physical Review Letters*, 018102-018106.



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

