

21
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

**ESTUDIO POTENCIOMETRICO DEL ACIDO
FLUORHIDRICO: SOLO, EN PRESENCIA DE
NITRATO DE MAGNESIO Y EN PRESENCIA DE
NITRATO DE LITIO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

GENARO ROSALES VALDEZ

ASESOR: Q. F. B. JOSE DE JESUS PEREZ SAAVEDRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Estudio potenciométrico del ácido fluorhídrico: sólo, en presencia de nitrato de magnesio y en presencia de nitrato de litio.

que presenta el pasante: Genaro Rosales Valdéz
con número de cuenta: 8509703-8 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 07 de Junio de 1996

PRESIDENTE	<u>Q. Juan José Lara Padilla</u>	
VOCAL	<u>Q.M. Cecilia González Ibarra</u>	
SECRETARIO	<u>Q.F.B. José de Jesús Pérez Saavedra</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Victoria O. Hernández Palacios</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M. en C. Ricardo P. Hernández García</u>	

DEDICATORIAS.

Este trabajo está dedicado en memoria a MI PADRE, que desde algún lugar siempre bendice e ilumina mi camino; te llevé en mi mente y en mi corazón.

A MI MADRE: por ser la mujer que luchó contra la adversidad para unir a la familia y fortalecer nuestros corazones; por sus palabras de apoyo, ternura y amor; éste es el mejor regalo que te puedo ofrecer. ¡ Te amo, Madre mía!

A MIS HERMANOS: Gabriel, Liliana, Noé y Luis; por permitirme disfrutar de su compañía en los momentos buenos y malos; y que a pesar de las pequeñas diferencias que algunas veces afloran entre nosotros, eso es precisamente el lazo que hace más fuerte para mantenernos unidos.

A mis amigos, que Dios me ha dado, aquí les debo momentos inolvidables y maravillosos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos al Q.F.B. José de Jesús Pérez Saavedra, asesor de la tesis, por el apoyo y paciencia, por su valiosa amistad y por su dirección, confianza y conocimientos brindados para poder concluir este trabajo de tesis.

A la Sección de Química Analítica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, porque siempre hay alguien a quien recurrir en un momento de duda.

A la pQ.F.B. Verónica Peña Chavéz, por su gran apoyo y motivación para la conclusión de esta tesis.

Al Sr. Ismael Sagredo Huitareo por el apoyo administrativo brindado para la realización de este trabajo de tesis.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por ser el centro de nuestra formación profesional.

A mi Jurado: por su aportación constructiva.

A todos, mil gracias.

" El Hombre aspira a ser cada vez mejor, a dar a diario nacimiento a sus potencialidades. Cuando fracasa en su intento de ser creador y se resigna a su fracaso, entonces busca dominar no ya sobre sí mismo, sino sobre los demás seres y cosas. "

F. Nietzsche

Esta tesis se llevó a cabo en el laboratorio L-112 de la Sección de Química Analítica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1; bajo la supervisión del Q.F.B. José de Jesús Pérez Saavedra, dentro de la Cátedra de Métodos Analíticos. Teoría y Aplicaciones.

ÍNDICE	PAGINA
INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO 1. OBJETIVOS.	4
CAPITULO 2. GENERALIDADES.	5
1.1) Fabricación.	
1.2) Análisis del HF.	
1.3) Usos.	
CAPITULO 3. EXPERIMENTACIÓN.	13
3.1) Equipo y material.	
3.2) Metodología experimental.	
3.2.1) Etapa (a). Elaboración y validación del electrodo de estado sólido apartir del acero inoxidable tipo 316.	
3.2.2) Etapa (b). Valoración potenciométrica del HF solo	
3.2.3) Etapa (c). Valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2$ y con $LiNO_3$, utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH	
CAPITULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	20
4.1) Resultados	
4.2) Análisis de resultados	
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.	29
BIBLIOGRAFÍA.	30
ANEXO A: Resultados y gráficas de las valoraciones de validación del sistema POSAI-316.	31
ANEXO B: Resultados y gráficas de las valoraciones de HF	35
ANEXO C: Resultados y gráficas de las valoraciones de HF en presencia de nitrato de magnesio.	43
ANEXO D: Resultados y gráficas de las valoraciones de HF en presencia de nitrato de litio.	51
ANEXO E: Determinación del volumen de punto de equivalencia (V.P.E.) para las valoraciones de HF efectuadas.	59

INTRODUCCIÓN.

Los métodos analíticos para cuantificar sustancias o para determinar parámetros fisicoquímicos son múltiples y muy variados, algunos de ellos son muy sofisticados y requieren de equipos e instalaciones muy costosas, otros métodos son sencillos y de bajo costo pero pocas veces usados, no porque sean inapropiados sino porque de manera general poco se conocen, como puede ser el caso de la potenciometría a intensidad nula.

La potenciometría a intensidad nula consiste en la medida de la fuerza electromotriz (fem) de una celda galvánica, a través de la cual la corriente que pasa es virtualmente cero, por lo que no tienen lugar cambios importantes en la concentración de las especies electroactivas. La variable que nos interesa es la modificación del potencial de un electrodo sencillo o de la semicelda en que tienen lugar variaciones de la concentración de uno o de ambos componentes. Como el potencial de un electrodo sencillo no puede medirse directamente, el par de electrodos de la celda consiste en un electrodo de referencia que mantiene un potencial constante y un electrodo indicador, cuyo potencial depende de la composición de la disolución electrolítica⁽⁷⁾.

Para estudios potenciométricos se requiere de un potenciómetro de alta impedancia, electrodo de referencia y electrodos indicadores de platino, pH y plata. A pesar de que estos electrodos son relativamente baratos (en comparación con técnicas como espectroscopia o cromatografía) todavía pueden minimizarse su costo. La posible sustitución para estos electrodos puede encontrarse en los diversos trabajos de investigación que han demostrado que las películas de óxidos sobre acero inoxidable tipo 316 (**POSAI-316**) obtenidas por tratamiento químico, cuya respuesta nernstiana tiene una relación aproximada a :

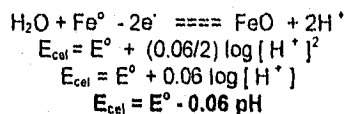
$$E = k - 0.059 \text{ pH} \dots\dots\dots \text{Ec.de Nernst}$$

Puede usarse como electrodo selectivo de protones en un intervalo de pH de 2 a 13; aun en presencia de los siguientes iones: sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), el par amonio/amoniaco ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$), sodio (Na^+), potasio (K^+), permanganato (MnO_4^{2-}), dicromatos ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), fluoruros (F^-), magnesio (Mg^{2+}), litio (Li^+) y cloruros (Cl^-) a bajas concentraciones).

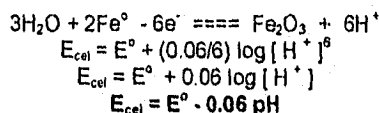
Partiendo de la ecuación de Nernst, si el sistema POSAI-316 se mantiene sumergido en una solución de pH constante, de manera que mantiene su potencial de equilibrio constante, esa semicelda que tiene potencial constante puede utilizarse como electrodo de referencia. Lo anterior se comprobó al medir el pH de las soluciones buffer, tanto con el electrodo de vidrio utilizando un electrodo de referencia de POSAI-316, como con un electrodo indicador de POSAI-316 utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo de referencia ⁽⁵⁾.

Debido a la acción electroquímica de un agente oxidante sobre la superficie de un acero, en este caso específico del acero 316 (17% Cr, 12% Ni, 2.5% Mo, 68.5% Fe), se forma una película de óxidos la cual pasiva a la superficie del metal de manera que se detiene la corrosión e incluso puede detenerla por completo. La película pasiva que se forma espontáneamente para el caso del acero consiste de un óxido complejo que se aproxima a FeO y Fe_2O_3 en sus superficies interior y exterior respectivamente. El modelo teórico puede plantearse como sigue:

Para $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^0$:



Para $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}^0$:



La superficie se engrosa poco a poco hasta que el espesor alcanza unas cuantas capas atómicas. Se tienen reportes de que el espesor de película obtenida experimentalmente mediante tratamiento químico, es de 70 a 100 nm. Estas películas pasivas son lo suficientemente delgadas que si bien sirven como una barrera iónica más o menos efectiva entre el metal y el electrolito, permiten el paso de electrones por el efecto túnel (electrón tunnelling). Estas películas no presentan las propiedades semiconductoras volumínicas de los óxidos simples sino que tienden a tener un comportamiento metálico debido a los defectos estructurales de la red que permiten cierta conducción iónica. De aquí que, si la película tiene un comportamiento metálico pero además el sistema está pasivado, entonces puede utilizarse como un electrodo de características semejantes a un electrodo indicador redox inerte⁽⁶⁾.

En la actualidad casi todas las medidas de pH se efectúan con electrodo de vidrio, lo que limita algunas técnicas de cuantificación como puede ser el caso del estudio potenciométrico del ácido fluorhídrico; este ácido se distingue de todos los demás ácidos por la propiedad de disolver la sílice y el ácido silícico; reacción que se aprovecha para grabar el vidrio, formando tetrafluoruro de silicio gaseoso entre otras sustancias y, en el laboratorio para detectar flúor o ácido silícico y para descomponer silicatos. Por lo tanto no es posible utilizar el método potenciométrico convencional, en las determinaciones del ácido fluorhídrico directamente.

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (UNAM) a través de la sección de química analítica, se han llevado a cabo investigaciones y trabajos de tesis respecto a electrodos de estado sólido; estos estudios han demostrado que las películas de óxidos sobre acero inoxidable tipo 316 (**POSAI-316**), obtenidas por tratamiento químico, pueden usarse como electrodos selectivos de iones hidrógeno en un intervalo de pH de 2 a 13⁽¹⁻⁴⁾. En el presente trabajo, se hace la demostración experimental de que es posible la elaboración de curvas de valoración potenciométricas del ácido fluorhídrico (reactivo que es imposible titular por el método convencional con electrodo de vidrio, puesto que éste último se destruye al contacto con el ácido) sólo y complejo con nitrato de magnesio y con nitrato de litio, utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH. Obteniéndose para los tres casos, una curva potenciométrica típica; siendo el sistema POSAI-316 una alternativa para la cuantificación del ácido fluorhídrico, ya que no lo ataca y no requiere de técnicas complicadas ni equipo sofisticado.

CAPITULO 1

OBJETIVOS

Elaboración y validación del sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH.

Evaluación potenciométrica del fluoruro de hidrógeno sólo, en presencia de $Mg(NO_3)_2$ y en presencia de $LiNO_3$, utilizando las películas de óxido sobre acero inoxidable tipo 316 (POSAI-316) como electrodo indicador de pH.

CAPITULO 2

GENERALIDADES

1.1) FABRICACIÓN.

El fluoruro de hidrógeno, HF, fue descubierta por Margraff en 1768. En 1771 lo preparó Scheele tratando espato flúor (CaF_2) con ácido sulfúrico concentrado. Se han propuesto muchos métodos para fabricar fluoruro de hidrógeno, casi toda la producción de HF procede de la reacción de espato flúor y ácido sulfúrico:



Después de las investigaciones de Scheele en 1771, en las que se caracterizó con certidumbre el fluoruro de hidrógeno, Thenard y Gay-Lussac (en 1809) prepararon una solución acuosa pura muy concentrada. En 1813, Davy empezó a estudiar la electrólisis del fluoruro de hidrógeno; Frémy, en 1856, preparó por primera vez el fluoruro anhidro calentando fluoruro ácido de potasio, seco y purificado; en 1869, Gore estudió la conductividad del fluoruro de hidrógeno puro, y Moissan, en 1900, haciendo sus observaciones con líquido de gran pureza, halló que el fluoruro de potasio se disolvía en fluoruro de hidrógeno anhidro para formar una solución conductora, y preparó flúor por electrólisis de dicha solución.

Para fabricar fluoruro de hidrógeno se requiere un espato flúor de alta pureza, para evitar las reacciones secundarias. El espato flúor industrial para ácido es un producto de flotación en polvo muy fino. Contiene entre 97.5 a 98% de CaF_2 , 1.0% máx. de SiO_2 y 0.05% máx. de S; el otro componente principal es CaCO_3 . La posibilidad de esta reacción de continuar hasta grado máximo en operación industrial

depende de la finura de espato flúor (el cernido es el siguiente: 1% queda sobre el tamiz número 100, 12% sobre el tamiz número 200, 30% sobre el tamiz 250, 12 % sobre el 325 y 45% pasa por el 350), la concentración de ácido sulfúrico, la razón entre el ácido sulfúrico y el espato flúor (del 5 al 10 % de exceso de ácido sulfúrico en relación con el espato flúor), la temperatura de reacción , el tiempo que se deja transcurrir para que llegue a su término la reacción y el grado en que se mezclen el ácido y el espato .

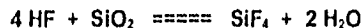
En general, cuanto más fino es el espato flúor tanto mas fácil es la liberación de valores de flúor del espato y, en consecuencia tanto mayor es el rendimiento. En la fabricación del fluoruro de hidrógeno se ha usado ácido sulfúrico de 96 a 98 % de concentración.

La reacción entre el fluoruro de calcio y el ácido sulfúrico es endotérmica y, por tanto, es necesario suministrar calor para que la reacción llegue a su término en el tiempo razonable. Para lograr que se desprenda más del 98% de flúor del espato, el tiempo de reacción es ordinariamente de 30 a 60 minutos a temperatura de 200 a 250 °C, y el fluoruro de hidrógeno sale del generador a temperatura de 100 a 150 °C, se prefieren las temperaturas mínimas de operación a que pueda obtenerse buen rendimiento, a efecto de reducir cuanto sea posible la corrosión del generador.

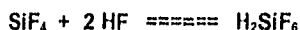
Para control de fabricación se requiere de un análisis de espato flúor, para determinar la humedad, el carbonato de calcio, la sílice y el fluoruro de calcio, y de los residuos del reactor para determinar el fluoruro de calcio, fluoruro de hidrógeno y el ácido sulfúrico que contienen⁽⁹⁾.

REACCIONES SECUNDARIAS.

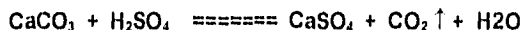
La principal reacción de contaminación que se efectúa en el generador es la de la sílice del espato flúor:



Además, si se recoge esté último en solución acuosa, la reacción origina una merma mas de fluoruro de hidrógeno:



La reacción del carbonato de calcio en el generador resulta con un consumo improductivo de ácido sulfúrico :



De esta manera se obtiene un gas que diluye el fluoruro de hidrógeno que sale del generador. Las reacciones provocadas por el azufre que se halla en el espato flúor originan sulfuro de hidrógeno o dióxido de azufre en el producto ácido, lo cual es indeseable. Otro resultado puede ser el deposito de azufre elemental en las tuberías de gas que salen del generador y que a la postre ocasionan su oclusión.

Se tienen dos tipos de equipo para generar el fluoruro de hidrógeno que hoy se usan comúnmente. Ambos se alimentan de modo continuo y automático con espato flúor y ácido, y el HF se genera y extrae continuamente lo mismo que el residuo de sulfato de calcio. El primero de estos tipos consta de un largo reactor fijo que tiene una sección transversal en forma de U y contiene un eje central que se extiende en toda la longitud y esta provisto de paletas mezcladoras y transportadoras. El segundo tipo de reactor consta de un vaso cilíndrico horizontal de acero que gira sobre muñones a razón de 3 a 5 revoluciones por minuto, como un secador rotatorio.

Estas unidades tiene capacidad para 8 a 10 toneladas por día de fluoruro de hidrógeno de 99.9 %. La operación de separar el fluoruro de hidrógeno de los gases que salen del reactor, la cual antes era intermitente, se ha convertido en una operación continua, y en vez de recoger el HF en solución acuosa débil; hoy en día se obtiene en solución acuosa fuerte.

1.2) ANÁLISIS DEL FLUORURO DE HIDRÓGENO.

El fluoruro de hidrógeno anhidro ha llegado a ser una de las sustancias químicas más puras; esto se ha debido principalmente a que en cada una de las diversas industrias en que se usa, una o más impurezas ordinarias repercuten en perjuicio de la operación eficiente. Como consecuencia de ello se han efectuado despachos comerciales con la garantía de 99.9% .

En la siguiente tabla se presentan análisis característicos.

ANÁLISIS DE FLUORURO DE HIDRÓGENO ANHÍDRO COMERCIAL

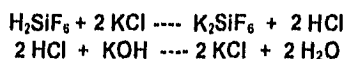
Componente	Muy puro	Ordinario
HF . %	99.9	99.5
H ₂ SiF ₆ . %	0.02	0.08
SO ₂ . %	0.02	0.18
H ₂ SO ₄ . %	0.005	0.05
H ₂ O . %	0.02	0.20

Es de suma importancia la técnica de la dilución del fluoruro de hidrógeno anhidro para fines analíticos por razón del calor generado, de la volatilidad del fluoruro de hidrógeno y del posible riesgo que corre el operario. El método preferible es diluir la muestra con hielo en el fondo de un tubo cilíndrico de vulcanita en cuya porción superior se pone más hielo sobre la rejilla para absorber y enfriar los vapores que se forman durante la dilución en la parte inferior del tubo.

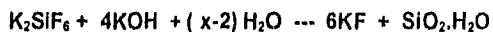
El análisis del fluoruro de hidrógeno y sus soluciones acuosas, en lo que concierne a su fabricación, cuenta principalmente de la determinación de fluoruro de hidrógeno y sus impurezas tetrafluoruro de silicio, ácido fluosilícico, ácido sulfúrico y fluosulfónico, dióxido de azufre y agua.

DETERMINACIÓN DE SÍLICE.

Aprovechando la baja solubilidad en alcohol de un 50 % del fluosilicato de potasio, se hidróliza a menos de 10 °C, se realiza una valoración en frío, hasta el punto final de fenoltaleína, de una solución que contenga HF, ácido fluosilícico y ácido sulfúrico, a la que se le añade previamente cloruro de potasio y alcohol; se obtiene una cantidad de fluosilicato de potasio que corresponde a todo el HF y ácido sulfúrico y a una tercera parte del flúor que hay en el ácido fluosilícico ⁽⁹⁾:



Entonces se calienta a 30 °C la solución que se valoró en frío, y se valora hasta el punto final permanente; está valoración final en caliente, da las dos terceras partes del flúor que hay en los fluosilicatos:



Los ácidos sulfúricos y fluosulfónicos se determinan mediante la valoración después de evaporaciones repetidas para excluir el HF. El agua que contiene el HF se determina directamente en una celda de conductividad, enfriando el ácido a 15 °C.

DETERMINACIÓN DE CaCO₃.

El ión puede determinarse por precipitado con oxalato en solución básica para formar CaC₂O₄·H₂O (Kps=1.9x10⁻⁹). El precipitado; es soluble en soluciones ácidas, puesto que el anión oxalato es una base débil. Si la precipitación se efectúa con lentitud, puede obtenerse cristales grandes fáciles de filtrar y relativamente puros. Esto puede lograrse por disolución de Ca²⁺ y C₂O₄²⁻ en solución ácida seguida de un incremento progresivo del pH mediante descomposición térmica de urea.

DETERMINACIÓN DE SO₂ ↑.

La corriente de productos con SO₂ y SO₃ se hace pasar por H₂O₂ acuoso a fin de convertir el azufre en H₂SO₄, el cual se titula con base patrón.

DETERMINACIÓN DE H₂O.

El agua que contiene el ácido se puede determinar directamente en una celda de conductividad, enfriando el ácido a 15 °C. Se hará la corrección por ácido sulfúrico, si es considerable la cantidad de éste.

MÉTODOS DE VALORACIÓN DEL HF.

En comparación con otros electrodos de metal-óxido metálico que pueden servir como electrodos indicadores para los iones hidrógeno, tenemos el más utilizado que es el electrodo de antimonio (con un costo de \$177.00 USD), designado específicamente para uso con soluciones que contienen HF, es resistente y adecuado para el registro continuo y para operaciones de control. Su intervalo de utilización de pH es de 2 a 8, no puede utilizarse para alcalinidades superiores (mayores de pH=8), debido a que la película de óxido de antimonio (III) se disuelve en el álcali; anulando su función como electrodo indicador de pH. Este electrodo tiene una respuesta de 49 mv por unidad de pH (requiere de calibración especial), el rango de temperatura de operación es de 0 a 80 °C; así como el potencial del electrodo depende sólo de la concentración de iones hidrógeno de la disolución⁽¹¹⁾:

$$E = 0.152 - 0.049 \text{ pH}$$

Otra alternativa, es usar electrodos de estado sólido como el HF-RESISTANT ELECTRODES (con un costo de \$ 212.00 USD) o de manera indirecta llevando a cabo una valoración por retroceso, utilizando el electrodo para determinar iones fluoruro, el cual emplea un cristal de LaF impurificado con Eu(II). En este caso, la impurificación (o doping) consiste en añadir una pequeña cantidad de Eu(II) en vez de La(III). La solución de llenado contiene NaF 0.1M y NaCl 0.1 M.

El ión fluoruro en solución está relativamente absorbido en las dos caras del cristal. A diferencia de lo que pasa con el ión H⁺ en el caso del electrodo de vidrio, el ión fluoruro, F⁻, puede efectivamente emigrar a través del cristal de LaF₃, impurificado el LaF₃ con EuF₂ se producen lagunas reticulares de aniones (huecos aniónicos) en el cristal. Un ión fluoruro de un sitio adyacente a un hueco o deficiencia puede saltar a este, dejando a su vez un nuevo hueco en el sitio que ocupaba. De esta forma, el F⁻ puede emigrar de un lado a otro y establecer una diferencia de potencial entre las dos caras del cristal, necesarias para que funcione el electrodo.

Por analogía con el electrodo de pH, la respuesta del electrodo de F⁻ puede describirse con la ecuación:

$$E = k - (0.059) \log [F^-]$$

El electrodo para F⁻ tiene una respuesta nernstiana en un intervalo de concentración que se extiende aproximadamente de 10⁻⁶ a 1 M. El electrodo responde más al ión F⁻ que a otros iones por un factor superior a 1000. La única especie interferente es OH⁻, para lo cual el coeficiente de selectividad es K_{F,OH} = 0.1, presentando un intervalo de pH de operación de 5 a 8. A pH bajo, el F⁻ se convierte en HF (pka=3.17) al cual el electrodo no responde. El electrodo para F⁻ se utiliza para vigilancia continua y el control de la fluoración de los suministros municipales de agua potable.

Específicamente para uso con soluciones que contienen HF u otros ácidos fluorados. En los casos anteriores, el uso de cualquiera de estos electrodos resulta muy costoso económicamente, y ofrece significativas limitantes para el control de análisis del HF. No así con la utilización de las películas de óxidos sobre acero inoxidable tipo 316 (POSAI-316), que ofrecen una gran versatilidad funcional.

Otros métodos para determinación del HF, es la conversión del ácido fluosilícico en ácido silicomolibdico, que se determina por el método fotométrico. Así como la identificación de fluoruros solubles en alimentos, por prueba indirecta de presencia de HF. Esta prueba no es aplicable en presencia de silicatos; y consiste en formar una masa del alimento a analizar, añadiendo a esta 5 ml 10% K₂SO₄ y 10 ml 10% de Ba(AcO)₂. Dejar reposar la masa de alimento, de modo que el fluoruro presente en esta reaccione formando BaF₂, lavar y filtrar a vacío la masa; transfiriendo la solución filtrada al crisol.

Cuidadosamente limpiar un plato de vidrio y extender sobre el una capa de una mezcla de cera y parafina, marcar la capa de cera, teniendo cuidado de no rayar el vidrio. Añadir unas gotas de H₂SO₄ a la solución que contiene el BaF₂, la cual se encuentra en el crisol, y cubrir la boca del crisol con el plato cubierto de cera procurando que la marca quede en el centro, y aplicar calor al crisol por una hora de modo que se favorezca la formación del HF, cuidando que la capa de cera no se derrita con el calor de los vapores. Si hay presencia de fluoruros, el ataque del HF a la marca en el plato de vidrio será evidente⁽¹⁰⁾.

1.3) USOS.

El ácido fluorhídrico es de las sustancias químicas más importantes en casi todos los procesos de fluoración. Tiene muchas aplicaciones en otros procesos como catalizador y medio de reacción.

El HF se distingue de todos los demás ácidos en su propiedad de disolver la sílice y el ácido silícico, reacción que se aprovecha para grabar el vidrio, y en el laboratorio para detectar flúor o ácido silícico, y para descomponer silicatos. Aunque se han propuesto muchos métodos para fabricar fluoruro de hidrógeno, casi toda la producción de HF procede de la reacción de espato flúor y ácido sulfúrico, método que se sigue utilizando desde 1771. Sus vapores son muy corrosivos y peligrosos si se inhalan.

Hoy se usa gran cantidad de HF en la fabricación de fluoruros, tales como el de aluminio y la criolita (para producir aluminio metálico), fluoruro de sodio (usado como insecticida), etc. Es importante el consumo del HF en la preparación de fluoruros metálicos para la purificación y la producción de fluoruro anhidro para la fabricación de gasolinas para los aviones por medio de la alquilación del fluoruro.

El uso reciente del HF para la fabricación de hexafluoruro de uranio es de interés, por estar relacionado con la energía nuclear. La industria de sustancias químicas sintéticas ofrece oportunidades ilimitadas al desenvolvimiento de compuestos orgánicos de flúor en muchas ramas interesantes, de las cuales sólo se pueden mencionar algunas de las más comunes. En el comercio se han puesto a la venta varios colorantes excelentes, derivados de benzotrifluoruro, $C_6H_5CF_3$. El grupo trifluorometilo da estabilidad y fijeza contra la luz. Se investigan otros hidrocarburos fluorados, con el fin de producir compuestos que satisfagan los requisitos específicos de diversas aplicaciones; los líquidos refrigerantes, lubricantes, hidráulica, etc. Dos plásticos que contienen flúor: el teflon y el Kel-F, tienen cada día mayor número de aplicaciones en la industria en virtud de su extremada inactividad química, su gran estabilidad térmica y sus excelentes propiedades dieléctricas⁽⁹⁾.

Es enorme el número de productos y usos nuevos que se están hallando, y estos son una indicación clara de la necesidad de llevar un buen control analítico de cuantificación del fluoruro de hidrógeno, para el desarrollo y control de calidad de la industria química del HF.

CAPITULO 3

EXPERIMENTACIÓN.

3.1) EQUIPO Y MATERIAL.

EQUIPO.

- 2 Potenciómetros Corning modelo 7
- 1 Potenciometro pHmeter-E510 Metrolon Hertz
- 1 Agitador magnético Corning mod. PC-353
- 1 Barra magnética
- 1 Balanza analítica Mettler mod. H72
- 1 Electrodo de vidrio, Corning, No. de cat. 476022
- 2 Electrodo de referencia de plata / (cloruro de plata)
- 1 Baño Lauda modelo T-1
- 1 Celda de plástico para baño Lauda mod. T-1
- 1 Amortiguador electrónico marca Bravo
- 1 Termómetro

MATERIAL.

- 1 Bureta de 50 ml.
- 4 Pipetas volumétricas (1, 10, 25 y 50 ml)
- 1 Pipeta graduada de 10 ml
- 1 Soporte universal con pinza y nuez
- 1 Espátula de acero
- 1 Puente salino de agar-agar
- 1 Jeringa de 5 ml con aguja de acero
- 2 Vasos de pp de 250 ml
- 3 Vasos de pp de plástico de 50, 100 y 250 ml
- 4 Matraces volumétricos de 100 ml
- 2 Matraces volumétricos de 500 ml
- 1 Matraz volumétrico de plástico de 100 ml
- 1 Probeta de plástico de 25 ml
- 1 Pizeta
- 1 Probeta de acero 316 (17% Cr, 12% Ni, 2.5% Mo, 68.5% Fe)
- Conexiones y cableado eléctrico necesario
- Lija de agua No.400

REACTIVOS.

Trióxido de Cromo (CrO_3). Baker
Ácido Sulfúrico (H_2SO_4). Baker
Hidróxido de Sodio (NaOH). Merck
Ácido Fosfórico (H_3PO_4). Baker
Ácido Fluorhídrico (HF). Baker
Nitrato de Potasio (KNO_3). Baker
Nitrato de Magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$). Baker
Nitrato de Litio (LiNO_3). Baker
Cloruro de Potasio (KCl). Baker
Solución Buffer de pH= 4.05, 10. pHydrión
Parafina
Agua Destilada

3.2) METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.2.1) Etapa (a). Elaboración y validación del electrodo de estado sólido apartir del acero inoxidable tipo 316.

Se corta una probeta de acero 316 (17% Cr, 12% Ni, 2.5% Mo, 68.5% Fe) de una longitud de 10 cm, y diámetro de 0.6 cm, se lava cuidadosamente para eliminar impurezas; se sumerge en agitación constante durante 17 minutos a 70 °C en 100 ml de una solución de $[\text{CrO}_3]= 2.5 \text{ M}$ en $[\text{H}_2\text{SO}_4]= 5 \text{ M}$. El sistema POSAI-316 obtenido, se utiliza como electrodo indicador de pH.

Se válida el sistema POSAI-316, para verificar que presenta una respuesta nernstiana; esto es, que la repuesta sea lineal cuando se mide el potencial de una solución en función del pH de la misma.

Se utilizan dos potenciómetros, checando que funcionen correctamente, se acoplado a cada uno de los potenciómetros un electrodo de referencia de plata/cloruro de plata y un electrodo de vidrio. Con una solución buffer estandarizada de $\text{pH}=10$, se hace la primera medición hasta lograr una lectura estable. Ya calibrados ambos potenciómetros se acopla a uno de ellos un electrodo POSAI-316 en lugar del electrodo de vidrio.

En un vaso de precipitado de 100 ml se agregan aproximadamente 80ml de una solución de nitrato de potasio, y se introducen ahí los electrodos de referencia de cada uno de los potenciómetros. En otro vaso de precipitado se colocan 100 ml de una solución de H_3PO_4 de una concentración aproximada a 0.01 M, y se introducen los electrodos de vidrio y acero respectivamente. Se colocan los vasos de precipitado sobre un agitador magnético y se conectan entre si los vasos mediante un puente salino de agar-agar. Se introduce una barra magnética en la solución a valorar para tener agitación continua.

Se procede a valorar una solución de ácido fosfórico 0.01 M con hidróxido de sodio 0.1 M. La adición del volumen de valorante se hace de mililitro en mililitro. Después de cada adición se mide el pH de la solución con el electrodo de vidrio, y con el POSAI-316 se mide el potencial de la solución. El montaje experimental se muestra en la figura 1. Se realizaron tres valoraciones de ácido fosfórico 0.01 M con hidróxido de sodio 0.1 M.

3.2.2) Etapa (b).Valoración potenciométrica del ácido fluorhídrico

En esta parte experimental se realizan siete valoraciones potenciométricas del ácido fluorhídrico 0.01M con NaOH 0.1M, empleando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH, y el electrodo de plata/cloruro de plata como electrodo de referencia.

PROCEDIMIENTO 1: Se calibra el potenciómetro pHmeter-E510 a escala expandida, utilizando el buffer de pH=4.05 hasta obtener una lectura estable. Se preparan 100 ml de una solución de HF 0.01M *, a fuerza ionica de 0.5 con KNO₃.

Esta solución se coloca en una celda de plástico, con el objeto de poder controlar la temperatura de trabajo (25 °C) durante el desarrollo de la valoración; así como evitar reacciones no deseables, como podría ser la de los silicatos del vidrio con el HF.

Al puente de agar en uno de sus extremos se le aplica una delgada película de parafina, del lado que tiene contacto con el ácido, para evitar la posible reacción de los silicatos del vidrio con el HF.

Se procede a introducir el POSAI-316 en la celda, llevando a cabo la valoración potenciométrica del HF con una solución de NaOH 0.1M como valorante. La adición del volumen de valorante se hace de mililitro en mililitro y cerca del punto de equivalencia se hace en porciones mas pequeñas de 0.5 ml. Después de cada adición se mide el pH de la solución. El montaje experimental se muestra en la figura 2.

3.2.3) Etapa (c). Valoración potenciométrica del HF en presencia de Mg(NO₃)₂ y con LiNO₃, utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH.

En esta etapa experimental, se desea observar el comportamiento de interferencia por efecto de complejación del ácido fluorhídrico en la cuantificación de éste; para lo cual se amortigua el sistema en presencia de nitrato de magnesio y con nitrato de litio.

PROCEDIMIENTO 2 : Al igual que en la etapa anterior, se calibra el potenciómetro hasta obtener una lectura estable. Se preparan 100 ml de una solución de $[HF]=0.01M$ en amortiguamiento con $[Mg(NO_3)_2]=1M$. Esta solución se coloca en la celda de plástico, con el fin de controlar la temperatura ($25\text{ }^\circ C$) de la reacción durante el desarrollo de la titulación; como también, evitar reacciones no deseables.

Se introduce el electrodo de POSAI-316 en la celda y se valora con $[NaOH]=0.1M$. La adición del volumen valorante se hace de mililitro en mililitro y cerca del punto de equivalencia se hace en porciones más pequeñas de 0.5 ml. Después de cada adición se mide el pH de la solución. **El montaje es el mismo de la figura 2.**

PROCEDIMIENTO 3 : Por último, se realizó la valoración potenciométrica de 100 ml de una solución de $[HF]=0.01M$ en amortiguamiento con $[LiNO_3]=1M$; el cual se valora con $[NaOH]=0.1M$. Se sigue el procedimiento 2. anteriormente descrito. **SE REALIZARON SIETE VALORACIONES PARA CADA UNO DE LOS PROCEDIMIENTOS ANTES CITADOS.**

- * Es necesario la utilización de material de plástico para el desarrollo de esta etapa experimental, debido a que el HF forma complejos con los silicatos del vidrio, misma razón por la cual no se puede utilizar el electrodo de vidrio.

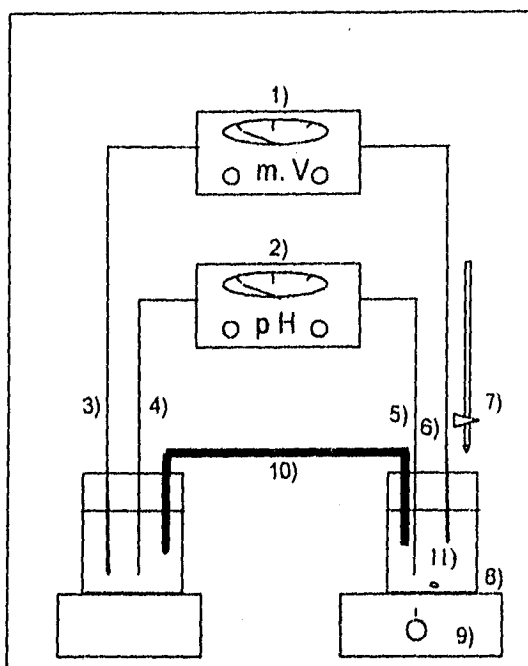


FIGURA 1. Montaje experimental para la validación del sistema POSAI-316, como electrodo indicador de pH.

- 1) Y 2) POTENCIOMETRO CORNING MOD. 7
- 3) Y 4) ELECTRODO DE REFERENCIA Ag-AgCl
- 5) ELECTRODO INDICADOR DE pH
- 6) ELECTRODO DE POSAI 316
- 7) BURETA CON SOLUCION VALORANTE (NaOH)
- 8) BARRA MAGNETICA
- 9) AGITADOR MAGNETICO
- 10) PUENTE SALINO DE AGAR
- 11) SOLUCION A VALORAR H_3PO_4

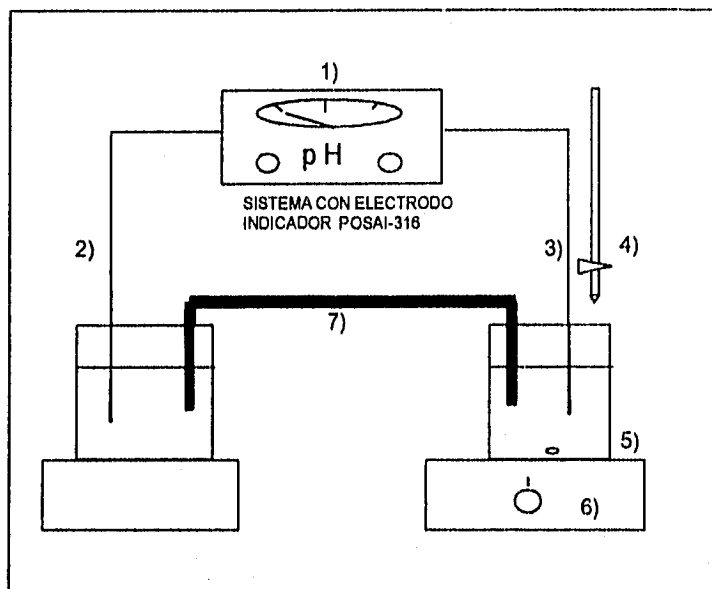


FIGURA 2. Montaje experimental para la cuantificación del HF

- 1) POTENCIOMETRO E-510 METROHM
- 2) ELECTRODO DE REFERENCIA Ag-AgCl
- 3) ELECTRODO INDICADOR POSAI 316
- 4) BURETA CON SOLUCION VALORANTE (NaOH)
- 5) BARRA MAGNETICA
- 6) AGITADOR MAGNETICO
- 7) PUENTE SALINO DE AGAR

CAPITULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1) RESULTADOS.

De la etapa (a) sección 3.2.1, los resultados obtenidos se reportan en el ANEXO A.

A continuación, en la TABLA 1 se muestran los datos estadísticos condensados, correspondientes a esta etapa.

Valoración no.	n	b	m	r^2
1	24	407.3	-58.9	0.9997
2	24	411.2	-59.3	0.9999
3	24	402.8	-58.4	0.9999
Promedio	24	407.1	-58.8	0.9998

en donde:

n es el número de datos involucrados en la recta.

b es la ordenada al origen.

m es la pendiente de la función.

r^2 es la correlación obtenida.

A continuación en la tabla no. 2 y figura no. 3, se muestran los datos correspondientes a la segunda valoración de validación del sistema POSAI-316.

Tabla no.2

Vol.NaOH	pH	E(mv)
0	2.20	280
1	2.25	270
2	2.30	270
3	2.35	265
4	2.45	260
5	2.65	255
6	2.95	235
7	3.25	215
9	5.60	70
10	6.20	45
11	6.40	30
12	6.60	20
13	6.60	10
14	7.00	0
15	7.15	-10
16	7.60	-50
17	9.30	-140
18	10.00	-180
19	10.30	-200
20	10.45	-210
21	10.60	-220
22	10.70	-225
23	10.75	-225
24	10.60	-230

Figura no.3

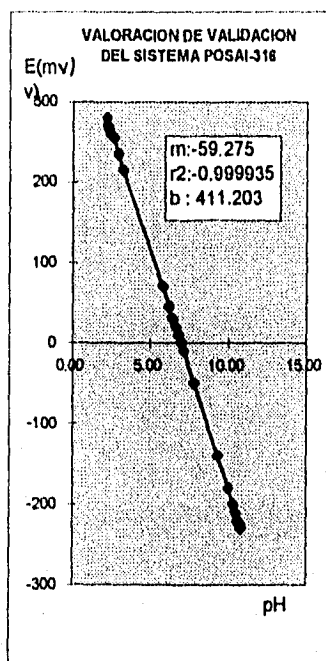


Tabla no.2, figura no.3. Datos correspondientes a la segunda valoración de validación de 50 ml de H_3PO_4 0.01M CON NaOH 0.1M como valorante.

De la etapa (b) sección 3.2.2, los resultados obtenidos están reportados en el **ANEXO B**; en donde se incluye tanto los datos numéricos observados durante el experimento; así como las gráficas correspondientes.

El volumen de punto de equivalencia (V.P.E.) para cada valoración, se determino mediante el método de la segunda derivada : el procedimiento y las gráficas correspondientes se encuentran en el **ANEXO E**.

A continuación se muestra los datos estadísticos condensados de ΔpH 's y los V.P.E. calculados en la etapa (b), **TABLA 3**, de la metodología experimental para cada una de las valoraciones realizadas.

Valoración no.	ΔpH	V.P.E.
1	3.70	11.76
2	3.90	11.76
3	4.30	11.78
4	4.20	11.75
5	4.30	11.75
6	3.60	11.72
7	4.00	11.76
Promedio	4.00	11.754
Desviación std.	0.28284	0.02990

TABLA 3. Estos datos corresponden a los ΔpH 's y los V.P.E de las valoraciones efectuadas en la etapa (b).

Los datos que continuación se muestran en la tabla no. 4 y figura no. 4 , corresponden a la segunda valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante; utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH (a 25 °C y fuerza iónica igual a 0.5 con KNO₃)

Figura no.4

Tabla no.4

VOL. NaOH	pH
1.0	4.15
2.0	4.21
3.0	4.32
4.0	4.52
5.0	4.65
6.0	4.80
7.0	4.92
8.0	5.05
9.0	5.27
10.0	5.61
11.0	6.33
11.5	9.76
12.0	10.43
12.5	10.75
13.0	10.86
14.0	10.95
15.0	11.15
16.0	11.27
17.0	11.32

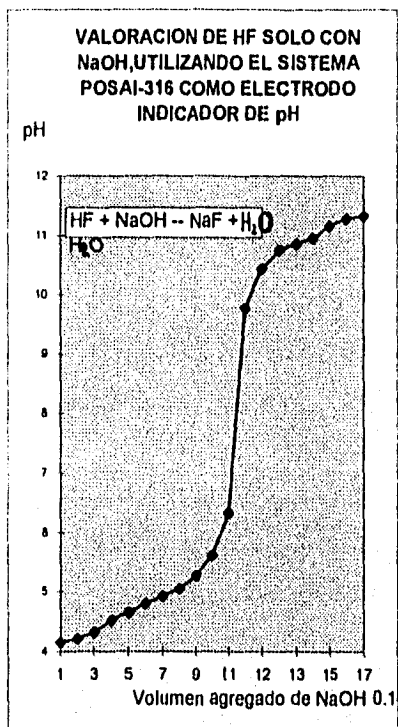


Tabla no.4, figura no.4 .Datos correspondientes a la segunda valoración potenciométrica de 100 ml de HF=0.01M con NaOH=0.1M como valorante.

De la etapa (c) sección 3.2.3, los datos obtenidos y las gráficas correspondientes de pH en función de los mililitros de valorante agregado, $E = f(\text{ml. valorante})$, se reportan en el ANEXO C y D.

El volumen de punto de equivalencia (V.P.E.) para cada valoración, se determino mediante el método de la segunda derivada; el procedimiento y las gráficas correspondientes se encuentran en el ANEXO E.

A continuación las TABLAS 5 y 6, muestran los datos estadísticos condensados, correspondientes a las valoraciones de HF en presencia de magnesio y litio.

Valoración no.	ΔpH	V.P.E.
1	4.00	11.30
2	4.75	11.75
3	5.30	11.42
4	4.00	11.75
5	3.70	11.79
6	3.30	11.82
7	3.80	11.77
Promedio	4.12	11.657
Desviación std.	0.679	0.207

TABLA 5. Datos correspondientes a los ΔpH 's para cada valoración; así como los V.P.E. por valoración, cuando se tiene el HF en presencia de magnesio.

Valoración no.	ΔpH	V.P.E.
1	3.90	12.73
2	4.00	12.68
3	3.70	12.63
4	3.00	12.73
5	3.00	12.61
6	3.40	12.68
7	3.40	12.74
Promedio	3.48	12.685
Desviación std.	0.401	0.049

TABLA 6. Datos correspondientes a los ΔpH 's para cada valoración; así como los V.P.E. por valoración, cuando se tiene el HF en presencia de litio.

Los datos que continuación se muestran en la tabla no.7 y figura no. 5, corresponden a la cuarta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como valorante; utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH a 25 °C.

Tabla no.7

VOL. NaOH	pH
0.0	1.6
1.0	1.7
2.0	1.7
3.0	1.8
4.0	1.8
5.0	1.9
6.0	2.0
7.0	2.0
8.0	2.1
9.0	2.2
10.0	2.5
10.5	2.7
11.0	3.2
11.5	6.6
12.0	7.2
12.5	7.6
13.0	7.7
14.0	7.8
15.0	7.8
16.0	7.8
17.0	7.8

Figura no.5

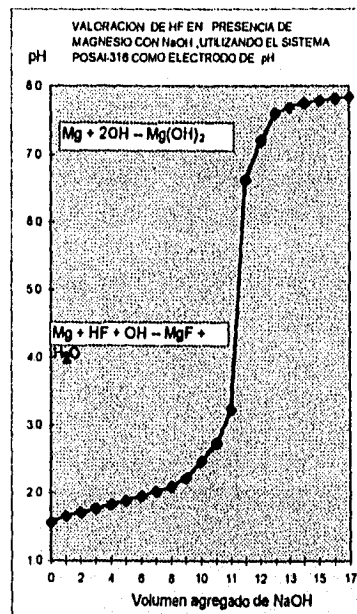


Tabla no.7, figura no.5 .Datos correspondientes a la cuarta valoración potenciométrica de 100 ml de HF=0.01M en presencia de Mg(NO₃)₂=1M con NaOH=0.1M como valorante.

Continuación en la tabla no. 8 y figura no.6 , se muestran los datos correspondientes a la primera valoración potenciométrica del HF en presencia de LiNO_3 con NaOH ; utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH a 25 °C.

Tabla no.8

VOL.NaOH	pH
0.0	3.35
1.0	3.46
2.0	3.56
3.0	3.64
4.0	3.71
5.0	3.72
6.0	3.81
7.0	4.02
8.0	4.15
9.0	4.24
10.0	4.55
10.5	4.81
11.0	5.34
11.5	8.99
12.0	9.72
12.5	10.05
13.0	10.22
14.0	10.35
15.0	10.45
16.0	10.65
17.0	10.83

Figura no.6

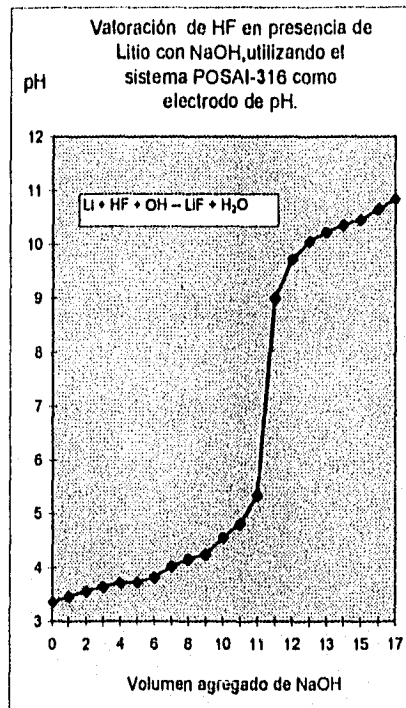


Tabla no.8, figura no.6. Datos correspondientes a la primera valoración potenciométrica de 100 ml de HF=0.01M en presencia de $\text{LiNO}_3=1\text{M}$ con NaOH=0.1M como valorante.

4.2) ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Etapa (a). Elaboración y validación del electrodo de estado sólido a partir del acero inoxidable tipo 316.

De acuerdo a la TABLA 3, de la etapa (a), los resultados muestran que existe una función lineal del tipo :

$$E = k - 0.059 \text{ pH}$$

donde la correlación promedio (r^2) es mayor de 0.999 y tiene una pendiente mayor o igual a 0.059 (V/pH).

Etapa (b). Valoración potenciométrica del ácido fluorhídrico.

Al graficar los datos experimentales obtenidos en esta etapa, $\text{pH} = f$ (ml valorante), se observa una gráfica logarítmica típica, usual en las valoraciones de un ácido con una base, con un ΔpH promedio en el punto de equivalencia de 4.0 unidades, lo cual indica que se trata de una reacción cuantitativa, de modo que podemos seleccionar un indicador de fin de valoración, como podría ser la fenoltaleína (con un rango de vire entre 8.2-9.8).

Aunque la desviación estándar fue de 0.28284 (para siete valoraciones) nos indica que la variabilidad que presenta el ΔpH es significativa. No así, en el volumen gastado de valorante, la dispersión de los datos experimentales obtenidos de V.P.E. no son significativos (desviación estándar igual a 0.0299).

Etapa (c). Valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2$ y con $LiNO_3$, utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH.

En las valoraciones del HF en presencia del nitrato de magnesio, se obtuvo una gráfica logarítmica típica que, con referencia a la valoración del HF en la etapa (b), inicio a pH's menores por la formación del MgF^+ ($pK_c=1.3$) con un ΔpH promedio en el punto de equivalencia de 4.12 unidades, lo que indica que la cuantitatividad de la reacción no mejora por el efecto de complejación, debido al efecto de precipitación que se presentó por la formación del hidróxido de magnesio.

Ahora bien, la desviación estándar de 0.679 nos indica claramente la variabilidad del ΔpH que se presenta, probablemente por efecto de hidratación y pulido de los electrodos; reflejándose igualmente dicha interferencia en los resultados obtenidos para el volumen de punto de equivalencia (desviación estándar igual a 0.207).

En la valoración potenciométrica del HF en presencia del nitrato de litio, se obtuvo una gráfica logarítmica típica, que comparada con la obtenida en la etapa (b), inicia a pH's menores por la probable formación de un complejo de Li^+ y F^- ; con un ΔpH promedio de 3.48 unidades, lo cual indica que la estabilidad del complejo es débil. Originando que el ΔpH en el punto de equivalencia se reduzca. Los datos del volumen de punto de equivalencia se mantienen aproximadamente sin variación significativa (desviación estándar igual a 0.049).

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Las determinaciones potenciométricas llevadas a cabo demostraron que se puede valorar el HF sólo ($\Delta\text{pH}_{\text{prom}}=4.0$) o en presencia de Magnesio ($\Delta\text{pH}_{\text{prom}}=4.12$) y Litio ($\Delta\text{pH}_{\text{prom}}=3.48$) utilizando el sistema POSAI-316 como electrodo indicador de pH. Observándose para cualquiera de los tres casos, una curva de valoración logarítmica típica, con un $\Delta\text{pH}_{\text{promedio}}$ mayor de 3 unidades, lo que indica que las reacciones son cuantitativas. No se encontró diferencia significativa en los volúmenes de punto de equivalencia, en la valoración por 7 veces de cada una de las soluciones de HF; encontrándose además una respuesta estable. Cabe señalar que la presencia de magnesio o litio no aumento la cuantitatividad de las valoraciones. Dada la cuantitatividad de las curvas de valoración se puede elegir un indicador químico de fin de valoración, para los tres sistemas, como puede ser la fenoltaleína (con rango de vire de 8.2-9.8). El electrodo POSAI-316 no presento ninguna alteración en su respuesta de la primera a la última valoración dando indicios de que el HF no lo daña.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Nomura K., and Ujihira Y. Response of Oxide Films on Stainless Steel as a pH Sensor. *Anal. Chem.* 1988, 60, 2564-2567.
2. Carrasco Suárez, Miguel Angel. Tratamiento Químico de un Acero Inoxidable para la Construcción de un Electrodo de Estado Sólido Selectivo de Protones. Tesis de Licenciatura, I.Q. FESC-UNAM, 1991.
3. Samano Osuna, Rosalba Eurídice. Aplicaciones de las Películas de Óxido Sobre Acero Inoxidable 316 para la Elaboración de Ocho Curvas de Valoración Ácido-Base. Tesis de Licenciatura, I.Q. , FESC-UNAM, 1992.
4. Maldonado Martínez, Adrián Alfonso. Tratamiento Térmico de Acero Inoxidable tipo 304 y Acero Inoxidable tipo 316 para Elaboración de un Electrodo de Estado Sólido Selectivo de Protones. Tesis de Licenciatura , I.Q., FESC-UNAM, 1994.
6. Harris, Daniel. Análisis Químico Cuantitativo 3a. Ed. Grupo Editorial Iberoamerica. México, 1992.
7. Ayres H., Gilbert. Análisis Químico Cuantitativo. 2a Ed. Editorial Harla . México, 1970.
8. Ringbom, A. Formación de Complejos en Química Analítica. Primera Edición . Editorial Alhambra, España, 1979.
9. Kirk-Othmer. Enciclopedia Química. Vol. III, pp. 353 - 366.
10. AOAC Official Methods of Analysis (1984), pp. 78, 383.
11. COLE-PARMER (1995-1996).
12. West, John M. Corrosión y Óxidación. Ed. Limusa, México, 1990

ANEXO A

Datos correspondientes a las valoraciones de validación del sistema POSAI-316, como electrodo selectivo de iones hidrógeno

Tabla no.1

pH	E(mv)
2.20	280
2.25	275
2.30	270
2.60	255
2.70	250
3.80	190
4.70	125
4.80	120
4.90	115
5.00	110
5.95	55
6.62	20
6.90	0
7.15	-10
7.50	-30
7.85	-50
8.80	-110
8.90	-120
9.50	-150
9.90	-180
10.40	-200
10.45	-210
10.50	-215

Grafica no. 1

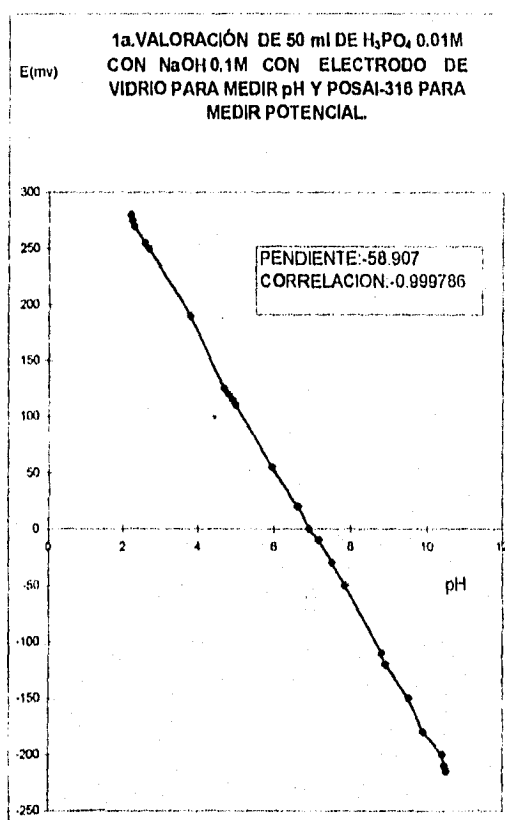


Tabla no.1. Datos correspondientes a la primera valoración de validación de 50 ml de H_3PO_4 0.01M con NaOH 0.1M con electrodo de vidrio para medir pH y POSAI-316 para medir potencial a 25° C.

Tabla no.2

pH	E (mv)
2.20	280
2.45	265
2.65	255
2.95	235
3.25	215
5.80	70
6.20	45
6.40	30
6.60	20
6.80	10
7.00	0
7.15	-10
7.80	-50
9.30	-140
10.00	-180
10.30	-200
10.45	-210
10.60	-220
10.70	-225
10.80	-230

Grafica no.2

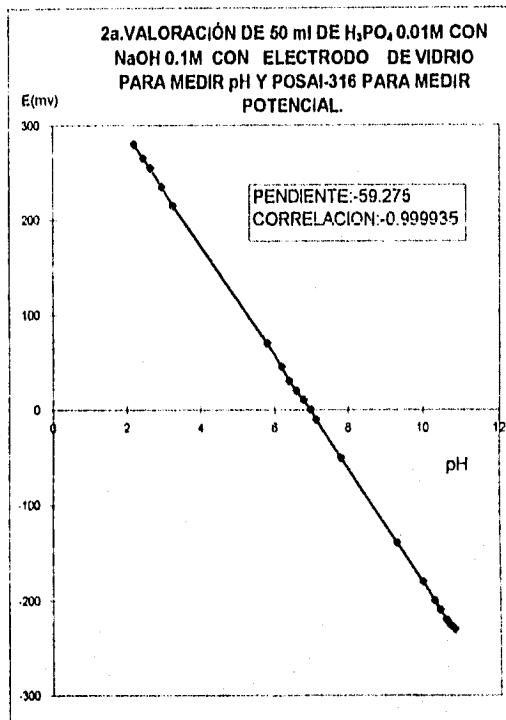


Tabla no.2. Datos correspondientes a la segunda valoración de validación de 50 ml de H₃PO₄ 0.01M con NaOH 0.1M , con electrodo de vidrio para medir pH y POSAI-316 para medir potencial a 25°C.

Tabla no.3

Grafica no.3

pH	E(mv)
2.30	270
2.40	260
2.60	250
2.75	240
2.90	230
3.80	180
5.30	95
5.90	60
6.05	50
8.30	35
8.60	20
8.80	10
7.05	-10
7.20	-20
7.40	-30
7.80	-50
8.60	-95
9.10	-130
9.70	-160
9.90	-180
10.20	-195
10.30	-200
10.60	-220

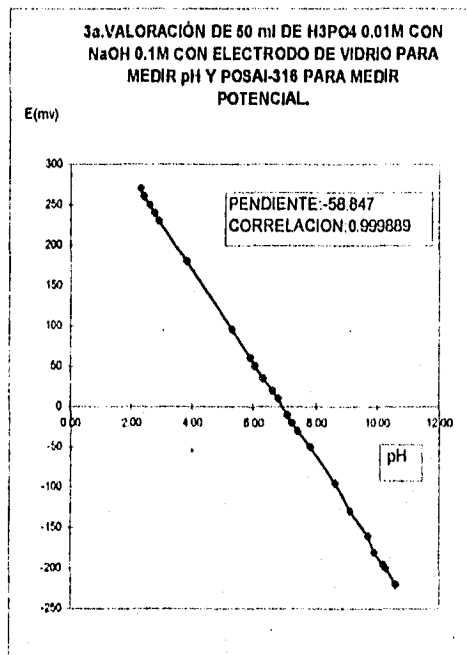


Tabla no.3. Datos correspondientes a la tercera valoración de validación de 50 ml de H₃PO₄ 0.01M con NaOH 0.1M, con electrodo de vidrio para medir pH y POSAI-316 para medir potencial a 25°C.

ANEXO B

DATOS CORRESPONDIENTES A LAS VALORACIONES POTENCIOMÉTRICAS CUANDO SE TIENE AL HF SÓLO.

Tabla no.4

VOL.NaOH	pH
0.0	3.70
1.0	3.82
2.0	3.91
3.0	4.04
4.0	4.18
5.0	4.30
6.0	4.45
7.0	4.55
8.0	4.73
9.0	4.96
10.0	5.23
11.0	5.90
11.5	9.06
12.0	9.90
12.5	10.21
13.0	10.35
14.0	10.62
15.0	10.72
16.0	10.82
17.0	10.88
18.0	10.94

Gráfica no.4

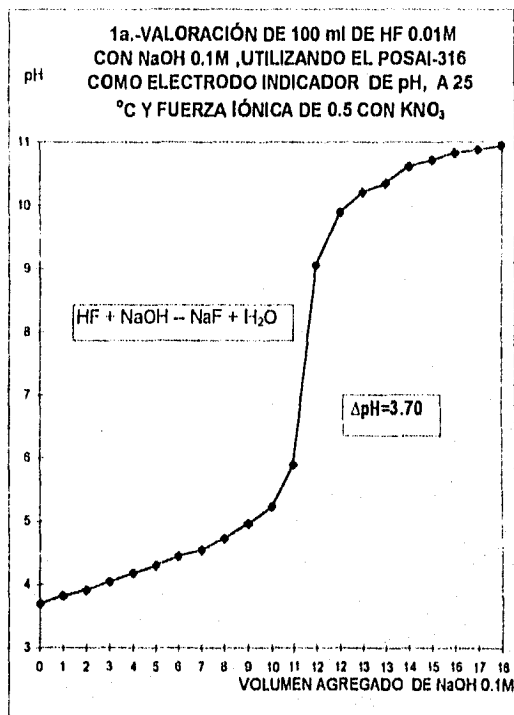


Tabla no.4. Datos correspondientes a la primera valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.5

Gráfica no.5

Vol. NaOH	pH
0.0	3.89
1.0	3.97
2.0	4.19
3.0	4.25
4.0	4.31
5.0	4.46
6.0	4.62
7.0	4.77
8.0	4.92
9.0	5.11
10.0	5.38
11.0	6.29
11.5	9.55
12.0	10.19
12.5	10.45
13.0	10.50
13.5	10.60
14.0	10.71
15.0	10.76
16.0	10.80
17.0	10.85
18.0	10.92

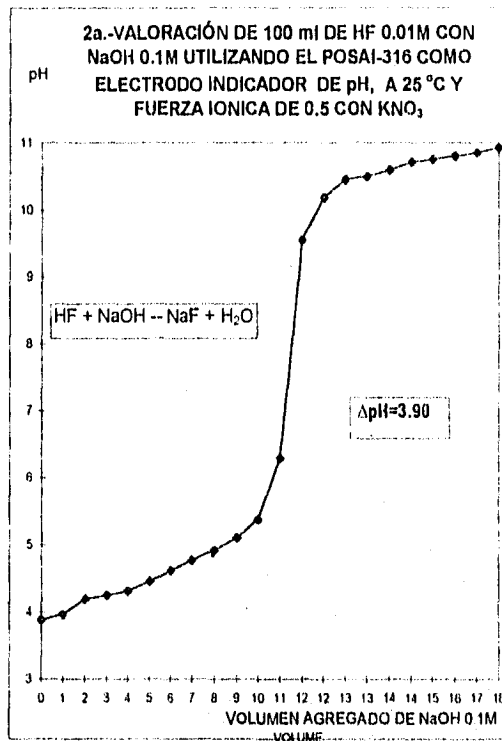


Tabla no.5. Datos correspondientes a la segunda valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.6

Gráfica no. 6

VOL. NaOH	pH
0.0	4.05
1.0	4.16
2.0	4.22
3.0	4.32
4.0	4.53
5.0	4.65
6.0	4.80
7.0	4.92
8.0	5.06
9.0	5.28
10.0	5.62
11.0	6.34
11.5	9.77
12.0	10.44
12.5	10.75
13.0	10.87
14.0	10.95
15.0	11.16
16.0	11.28
17.0	11.32
18.0	11.39

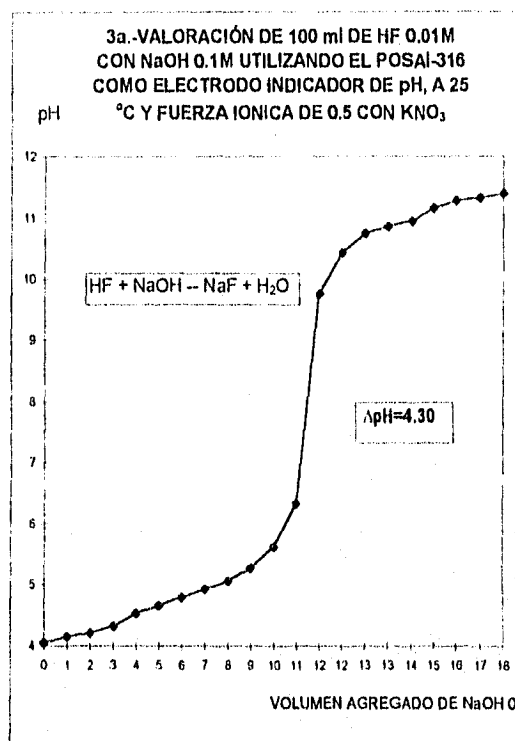


Tabla no.6. Datos correspondientes a la tercera valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.7

Vol. NaOH	pH
0.0	4.01
1.0	4.07
2.0	4.13
3.0	4.22
4.0	4.28
5.0	4.35
6.0	4.46
7.0	4.55
8.0	4.66
9.0	4.84
10.0	5.14
11.0	6.07
11.5	9.14
12.0	9.54
12.5	9.68
13.0	9.76
13.5	9.81
14.0	9.90
15.0	9.96
16.0	10.07
17.0	10.15
18.0	10.21

Gráfica no. 7

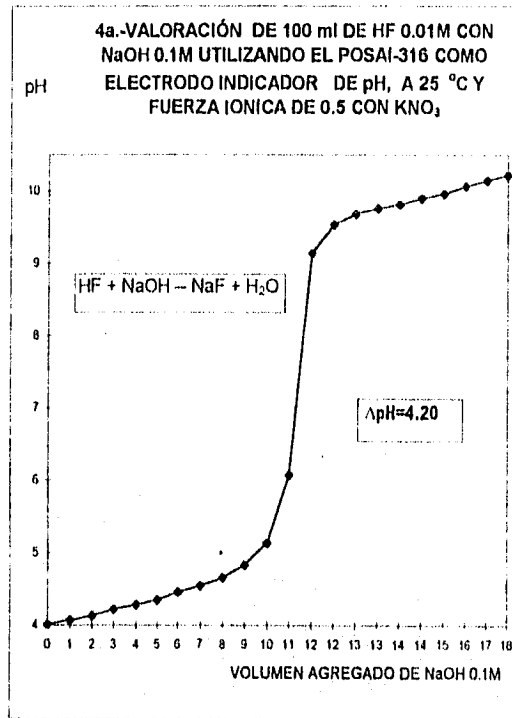


Tabla no.7. Datos correspondientes a la cuarta valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.8

Gráfica no.8

Vol.NaOH	pH
0.0	3.95
1.0	4.00
2.0	4.05
3.0	4.11
4.0	4.17
5.0	4.24
6.0	4.34
7.0	4.43
8.0	4.54
9.0	4.68
10.0	4.92
10.5	5.26
11.0	5.90
11.5	8.53
12.0	9.25
12.5	9.54
13.0	9.72
13.5	9.78
14.0	9.84
15.0	9.90
16.0	9.98
17.0	10.02

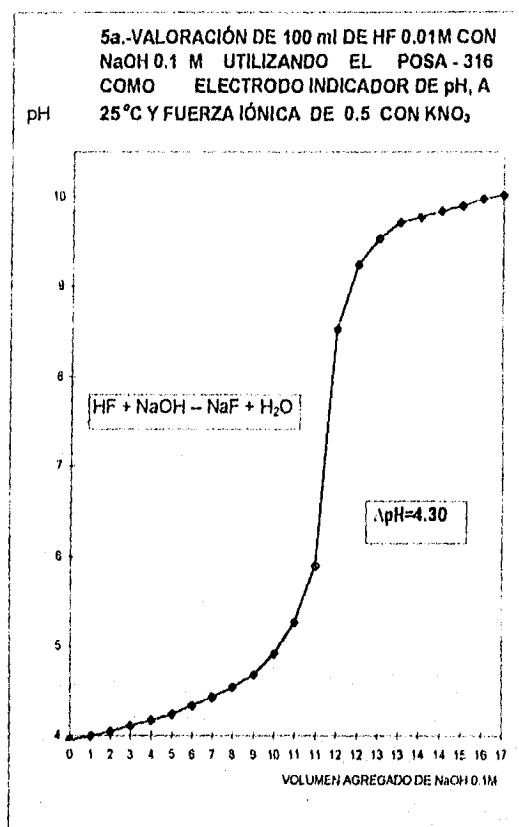


Tabla no.8. Datos correspondientes a la quinta valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.9

Grafica no. 9

Vol NaOH	pH
0.0	3.99
1.0	4.03
2.0	4.09
3.0	4.15
4.0	4.22
5.0	4.28
6.0	4.35
7.0	4.48
8.0	4.59
9.0	4.76
11.0	5.48
11.5	8.57
12.0	9.21
12.5	9.41
13.0	9.51
14.0	9.65
15.0	9.72
16.0	9.80
17.0	9.84
18.0	9.89

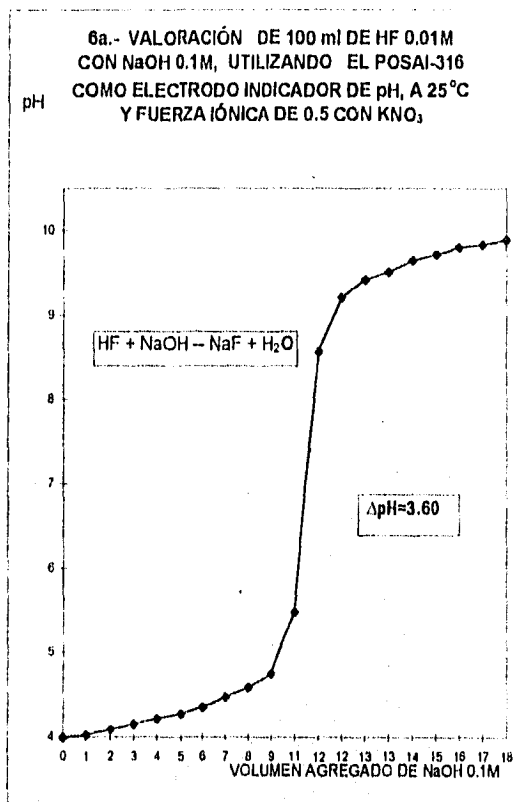


Tabla no.9. Datos correspondientes a la sexta valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

Tabla no.10

Gráfica no. 10

Vol. NaOH	pH
0.00	4.14
1.00	4.22
2.00	4.31
3.00	4.40
4.00	4.48
5.00	4.57
6.00	4.65
7.00	4.76
8.00	4.87
9.00	5.02
10.00	5.27
10.50	5.59
11.00	6.07
11.50	9.05
12.00	9.56
12.50	9.69
13.00	9.80
14.00	9.88
15.00	9.98
16.00	10.05
17.00	10.12
18.00	10.16

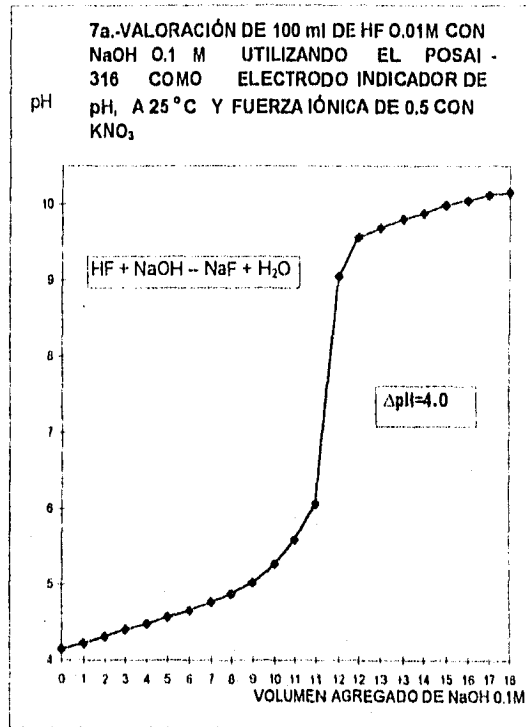


Tabla no.10. Datos correspondientes a la séptima valoración potenciométrica del HF sólo con NaOH como valorante.

ANEXO C

Resultados correspondientes a las valoraciones potenciométricas de HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH (a temperatura constante de $25\text{ }^\circ\text{C}$).

Gráfica no. 11

Tabla no.11

Vol. NaOH	pH
0.0	1.95
1.0	2.00
2.0	2.05
3.0	2.11
4.0	2.16
5.0	2.22
6.0	2.30
7.0	2.37
8.0	2.49
9.0	2.63
10.0	2.95
11.0	3.46
11.5	6.18
12.0	7.47
12.5	7.83
13.0	7.94
14.0	8.04
15.0	8.09
16.0	8.12
17.0	8.13
18.0	8.15

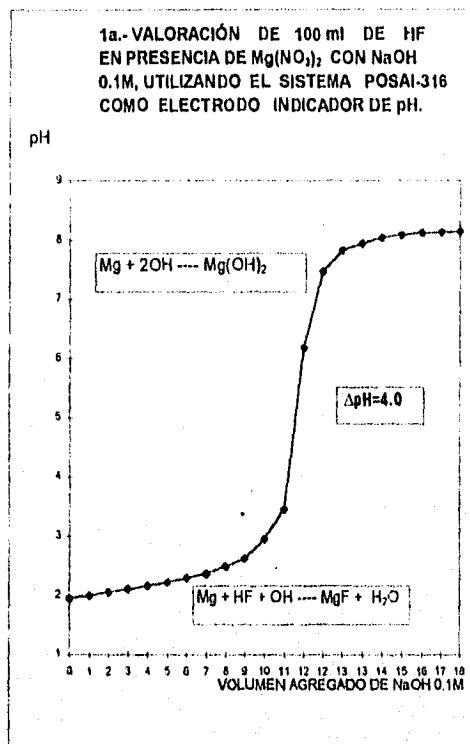


Tabla no.11 . Datos correspondientes a la primera valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Tabla no.12

Vol. NaOH	pH
0.0	1.27
1.0	1.30
2.0	1.34
3.0	1.36
4.0	1.39
5.0	1.43
6.0	1.48
7.0	1.53
8.0	1.62
9.0	1.75
10.0	2.01
10.5	2.21
11.0	3.03
11.5	6.57
12.0	7.06
12.5	7.18
13.0	7.25
14.0	7.26
15.0	7.31
16.0	7.34
17.0	7.36
18.0	7.57

Gráfica no. 12

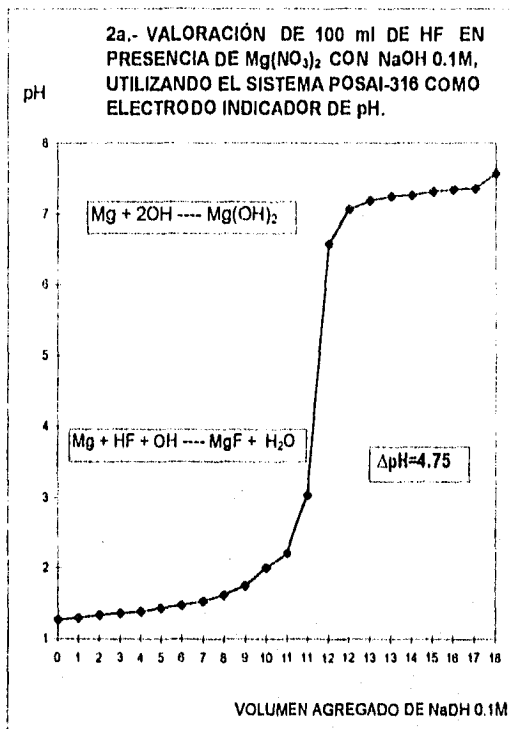


Tabla no.12 .Datos correspondientes a la segunda valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Tabla no.13

Vol NaOH	pH
0.0	2.04
1.0	2.08
2.0	2.13
3.0	2.18
4.0	2.22
5.0	2.27
6.0	2.30
7.0	2.37
8.0	2.46
9.0	2.60
10.0	2.89
11.0	3.54
11.5	5.48
12.0	7.18
12.5	7.53
13.0	7.71
14.0	7.78
15.0	7.81
16.0	7.84
17.0	7.85
18.0	7.87

Gráfica no. 13

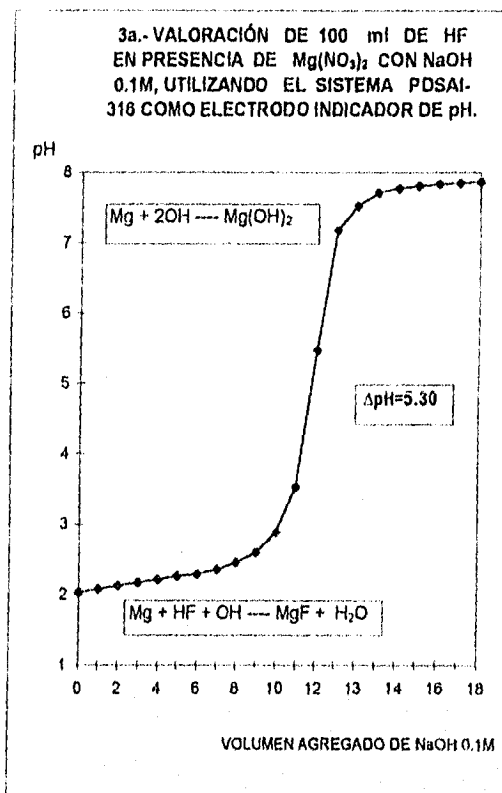


Tabla no.13 . Datos correspondientes a la tercera valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Tabla
no.14

Vol.NaOH	pH
0.0	1.56
1.0	1.65
2.0	1.70
3.0	1.76
4.0	1.83
5.0	1.88
6.0	1.95
7.0	2.03
8.0	2.10
9.0	2.22
10.0	2.46
10.5	2.74
11.0	3.23
11.5	6.62
12.0	7.21
12.5	7.55
13.0	7.60
14.0	7.69
15.0	7.79
16.0	7.82
17.0	7.84

Gráfica no.14

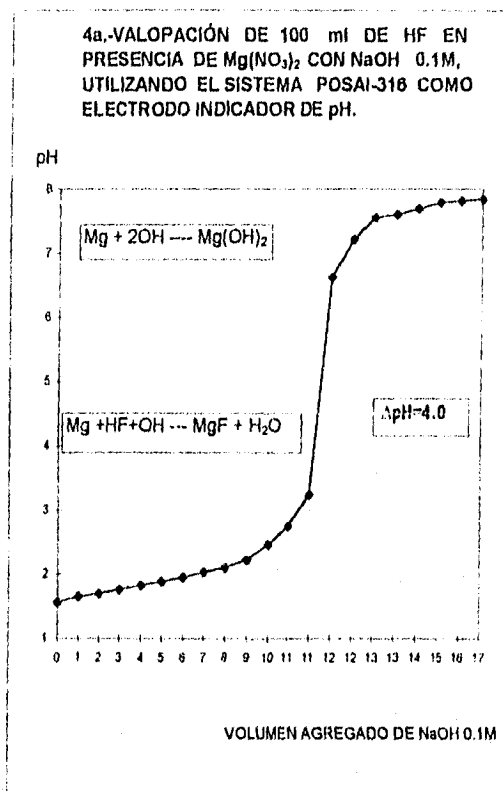


Tabla no.14 . Datos correspondientes a la cuarta valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Tabla no.15

Vol.NaOH	pH
0.0	1.13
1.0	1.19
2.0	1.20
3.0	1.31
4.0	1.39
5.0	1.46
6.0	1.52
7.0	1.58
8.0	1.64
9.0	1.77
10.0	1.97
10.5	2.34
11.0	2.59
11.5	4.58
12.0	5.81
12.5	6.37
13.0	6.67
13.5	6.81
14.0	6.90
15.0	7.00
16.0	7.06
17.0	7.13
18.0	7.19

Gráfica no.15

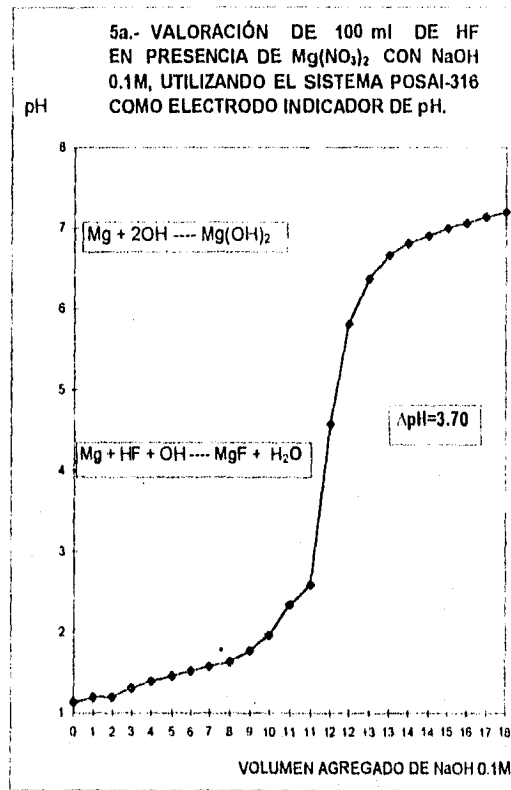


Tabla no.15 . Datos correspondientes a la quinta valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Gráfica no.16

Tabla no.16

Vol.NaOH	pH
0.0	2.70
1.0	2.75
2.0	2.81
3.0	2.86
4.0	2.90
5.0	2.96
6.0	3.03
7.0	3.18
8.0	3.28
9.0	3.42
9.5	3.51
10.0	3.68
10.5	3.97
11.0	4.50
11.5	6.97
12.0	7.75
13.5	8.05
14.0	8.21
15.0	8.39
16.0	8.48
17.0	8.55
18.0	8.59

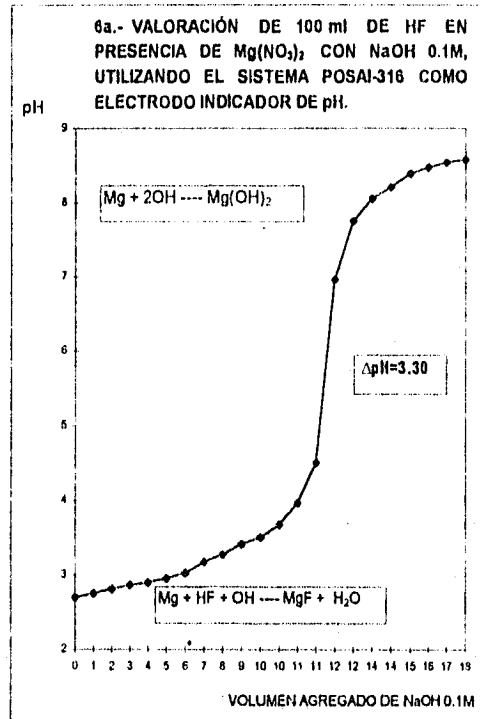


Tabla no.16 . Datos correspondientes a la sexta valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

Tabla no.17

Vol NaOH	pH
0.0	2.50
1.0	2.57
2.0	2.64
3.0	2.67
4.0	2.72
5.0	2.77
6.0	2.80
7.0	2.89
8.0	2.97
9.0	3.21
10.0	3.37
10.5	3.64
11.0	4.20
11.5	6.83
12.0	7.40
12.5	7.76
13.0	8.06
14.0	8.26
15.0	8.34
16.0	8.36
17.0	8.39

Gráfica no.17

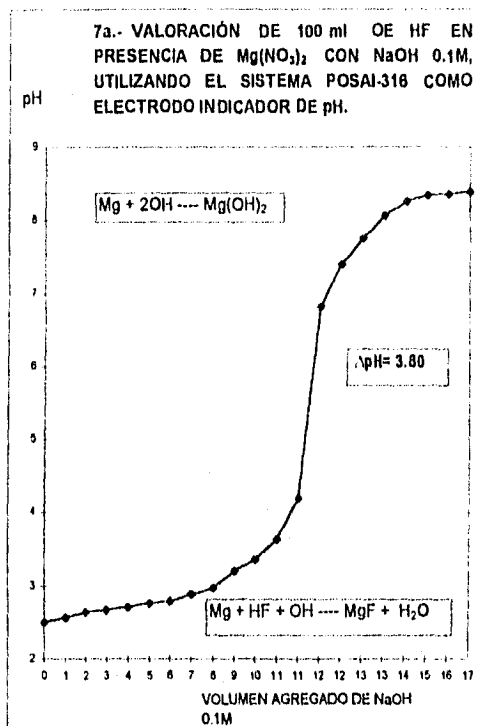


Tabla no.17 . Datos correspondientes a la septima valoración potenciométrica del HF en presencia de $Mg(NO_3)_2 = 1M$ con NaOH como valorante.

ANEXO D

Resultados correspondientes a las valoraciones potenciométricas de HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH (a temperatura constante de 25°C).

Tabla no.18

Vol. NaOH	pH
0.0	3.35
1.0	3.46
2.0	3.56
3.0	3.64
4.0	3.71
5.0	3.72
6.0	3.81
7.0	3.91
8.0	4.02
9.0	4.15
9.5	4.24
10.0	4.34
10.5	4.44
11.0	4.55
11.5	4.81
12.0	5.34
12.5	8.99
13.0	9.72
13.5	10.05
14.0	10.22
14.5	10.35
15.0	10.45
16.0	10.65
17.0	10.83

Gráfica no.18

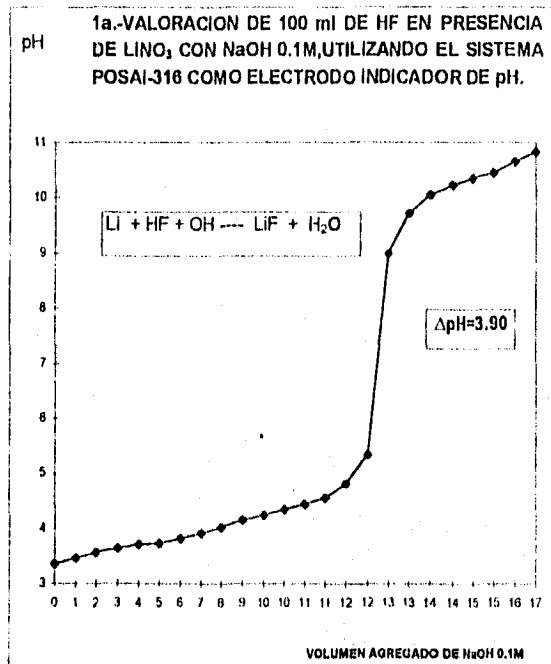


Tabla no.18. Datos correspondientes a la primera valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Tabla no.19

Gráfica no. 19

Vol. NaOH	pH
0.0	3.35
1.0	3.39
2.0	3.44
3.0	3.49
4.0	3.54
5.0	3.61
6.0	3.67
7.0	3.76
8.0	3.85
9.0	3.98
10.0	4.14
11.0	4.38
11.5	4.62
12.0	5.53
12.5	8.83
13.0	9.42
13.5	9.68
14.0	9.85
14.5	9.96
15.0	10.13
16.0	10.34
17.0	10.53
18.0	10.64
19.0	10.80
20.0	10.90

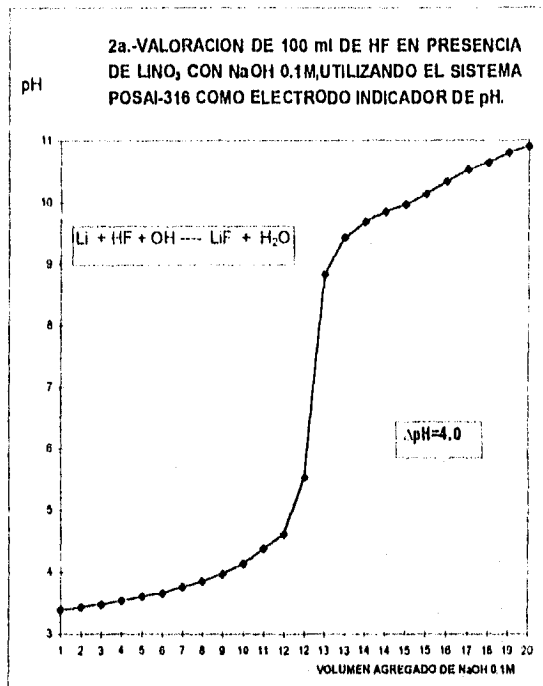


Tabla no.19. Datos correspondientes a la segunda valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Tabla no.20

Gráfica no. 20

Vol. NaOH	pH
0.0	3.73
1.0	3.74
2.0	3.80
3.0	3.85
4.0	3.92
5.0	3.99
6.0	4.11
7.0	4.18
8.0	4.30
9.0	4.47
10.0	4.56
10.5	4.69
11.0	4.85
11.5	5.17
12.0	6.79
12.5	9.11
13.0	9.66
13.5	9.92
14.0	10.06
14.5	10.18
15.0	10.35
18.0	10.46
17.0	10.55
18.0	10.61

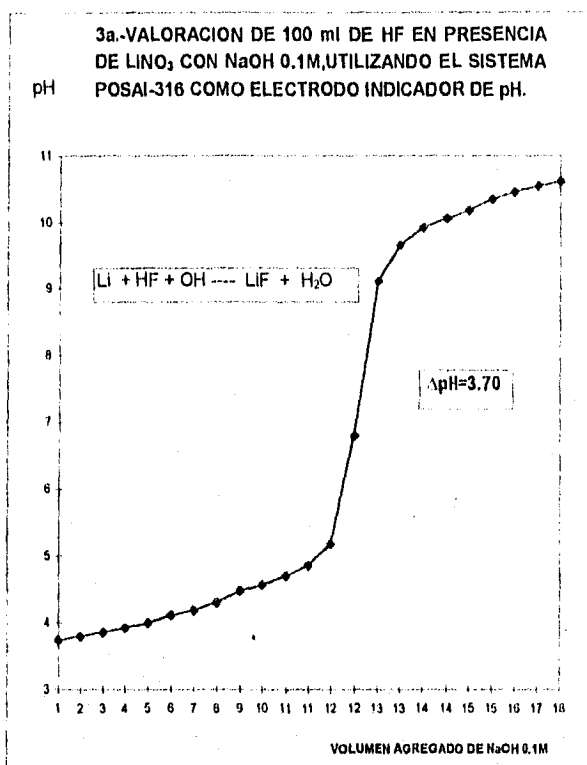


Tabla no.20. Datos correspondientes a la tercera valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Tabla no.21

Vol. NaOH	pH
0.0	3.80
1.0	3.84
2.0	3.89
3.0	3.94
4.0	3.99
5.0	4.10
6.0	4.16
7.0	4.23
8.0	4.33
9.0	4.47
10.0	4.57
10.5	4.66
11.0	4.80
11.5	5.01
12.0	5.92
12.5	8.72
13.0	9.10
13.5	9.26
14.0	9.44
14.5	9.54
15.0	9.70
16.0	9.81

Gráfica no.21

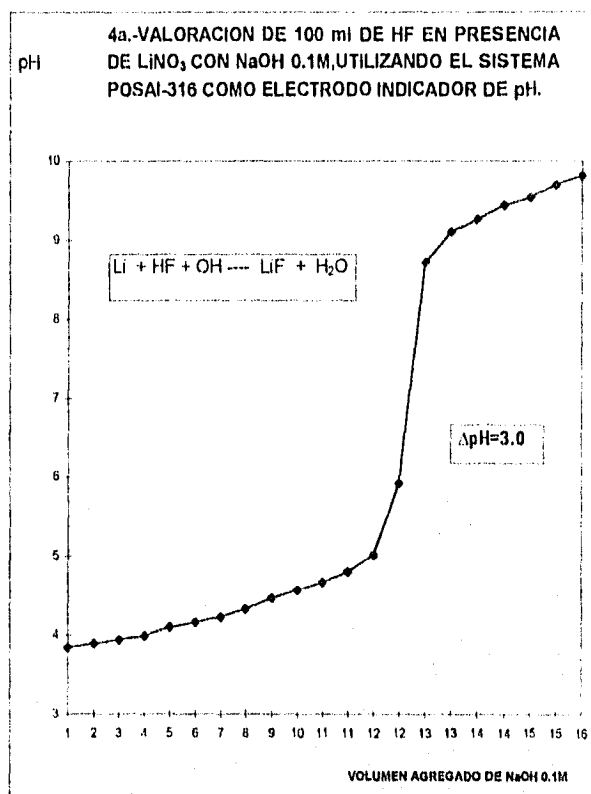


Tabla no.21. Datos correspondientes a la cuarta valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Tabla no.22

Vol. NaOH	pH
0.0	3.77
1.0	3.85
2.0	3.93
3.0	4.00
4.0	4.16
5.0	4.25
6.0	4.34
7.0	4.45
8.0	4.57
9.0	4.75
10.0	4.85
10.5	4.97
11.0	5.12
11.5	5.51
12.0	7.04
12.5	9.24
13.0	9.88
13.5	10.24
14.0	10.50
14.5	10.69
15.0	10.88
16.0	11.01
17.0	11.10
18.0	11.14

Gráfica no.22

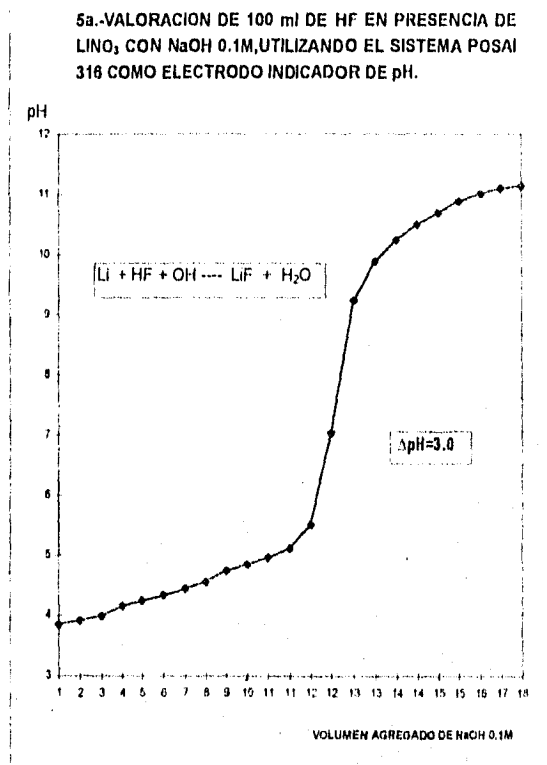


Tabla no.22. Datos correspondientes a la quinta valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Tabla no.23

Vol. NaOH	pH
0.00	3.30
1.00	3.41
2.00	3.49
3.00	3.58
4.00	3.65
5.00	3.73
6.00	3.78
7.00	3.86
8.00	3.97
9.00	4.09
10.00	4.29
10.50	4.36
11.00	4.54
11.50	4.89
12.00	6.16
12.50	8.74
13.00	9.53
13.50	9.86
14.00	10.03
14.50	10.15
15.00	10.27
16.00	10.47
17.00	10.64
18.00	10.80
19.00	10.91

Gráfica no.23

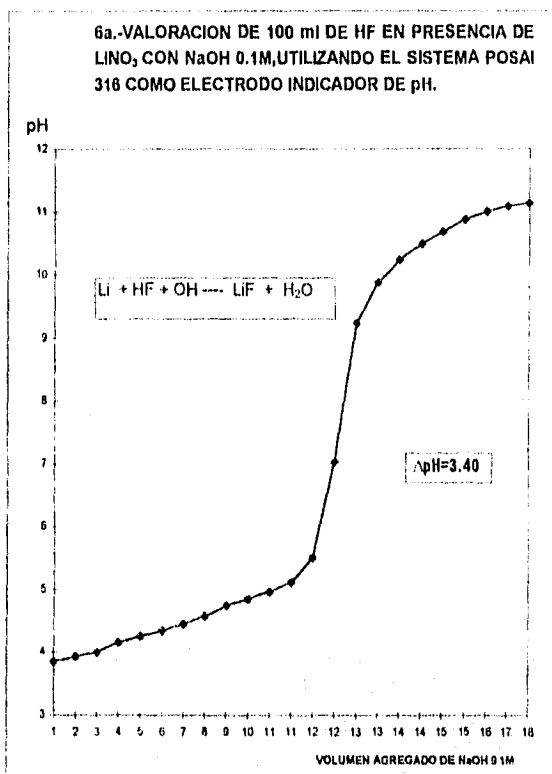


Tabla no.23. Datos correspondientes a la sexta valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

Grafica no. 24

Tabla no.24

Vol. NaOH	pH
0.00	2.64
1.00	2.92
2.00	3.00
3.00	3.08
4.00	3.15
5.00	3.23
6.00	3.30
7.00	3.38
8.00	3.49
9.00	3.64
10.00	3.83
10.50	3.92
11.00	4.07
11.50	4.30
12.00	4.74
12.50	7.95
13.00	9.01
13.50	9.41
14.00	9.64
14.50	9.83
15.00	9.98
16.00	10.20
17.00	10.36
18.00	10.46
19.00	10.52

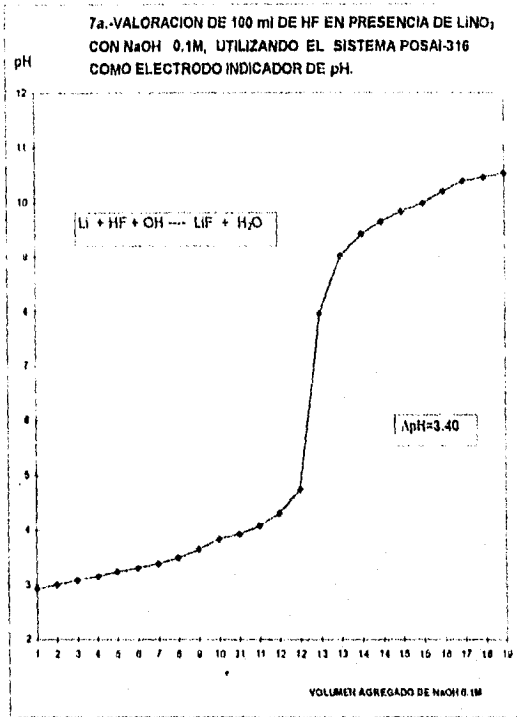


Tabla no.24. Datos correspondientes a la séptima valoración potenciométrica del HF en presencia de $\text{LiNO}_3 = 1\text{M}$ con NaOH como valorante.

ANEXO E

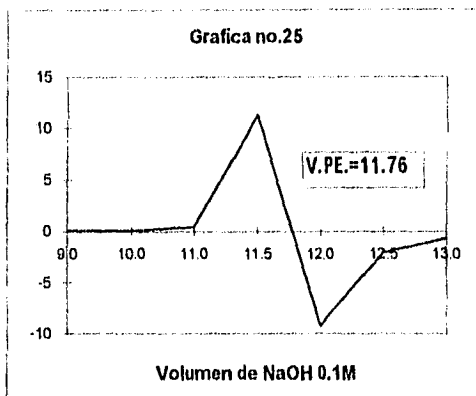
**DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE PUNTO DE EQUIVALENCIA
PARA LAS VALORACIONES DEL ÁCIDO FLUORHÍDRICO SOLO, EN
PRESENCIA DE NITRATO DE MAGNESIO Y EN PRESENCIA DE
NITRATO DE LITIO.**

Tratamiento de datos obtenidos

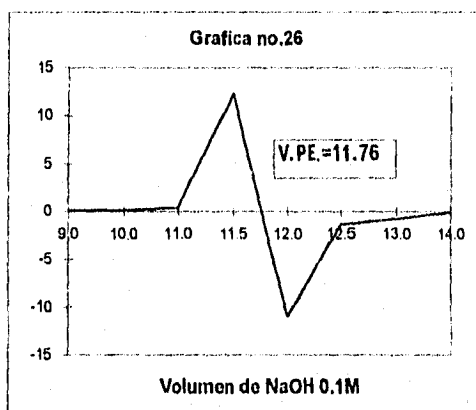
Los datos experimentales correspondientes a la valoración pHmétrica de una disolución representan el pH medido respecto al volumen añadido de reactivo en los alrededores del punto de equivalencia. No es fácil localizar el punto de equivalencia por una simple inspección de la curva, puede localizarse con mas exactitud mediante una representación diferencial en la cual se representa frente al volumen de valorante la diferencial en los valores de pH por unidad de volumen de valorante ($\Delta E / \Delta V$), el termino $\Delta E / \Delta V$ es la pendiente de la curva, para cualquier valor dado de volumen.

En algunos casos y como consecuencia de una pendiente muy pequeña, es difícil localizar exactamente este punto a partir de la curva diferencial; se puede utilizar entonces la diferencial segunda ($\Delta^2 E / \Delta V^2$). En el punto estequiométrico exacto la segunda derivada es cero, es decir, la pendiente de la primera curva diferencial es cero.

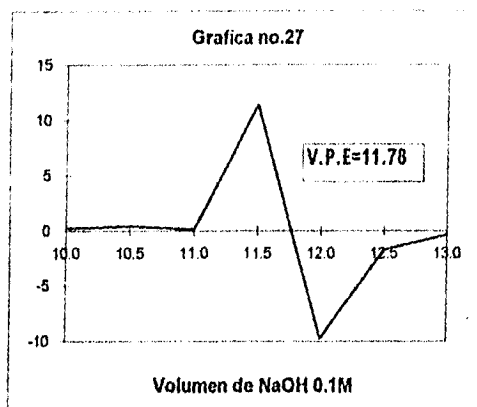
Las representaciones diferenciales tienen la ventaja de localizar con exactitud los puntos finales de valoración asimétricas .



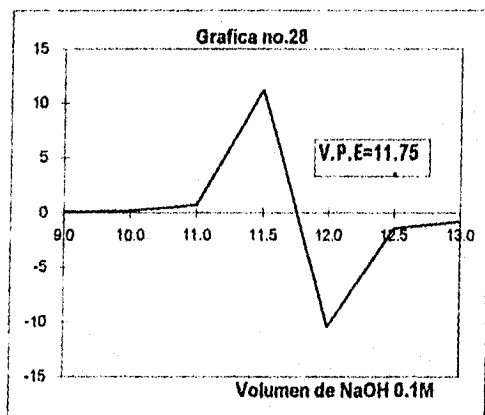
Gráfica no.25. Corresponde a la segunda curva diferencial para la primera valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.



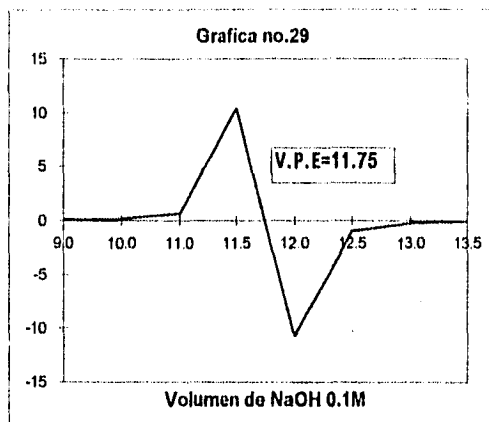
Gráfica no.26. Corresponde a la segunda curva diferencial para la segunda valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.



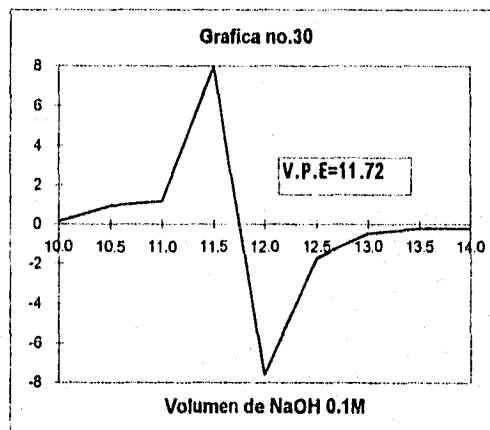
Gráfica no.27. Corresponde a la segunda curva diferencial para la tercera valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.



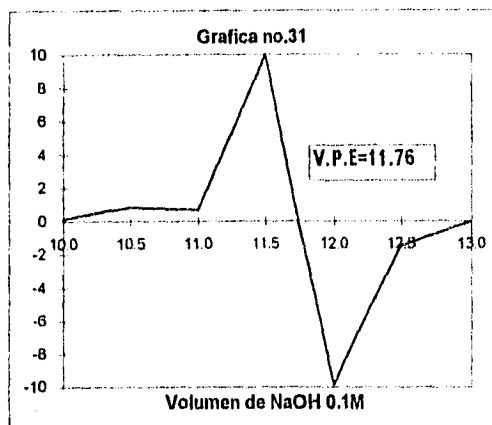
Gráfica no.28. Corresponde a la segunda curva diferencial para la cuarta valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.



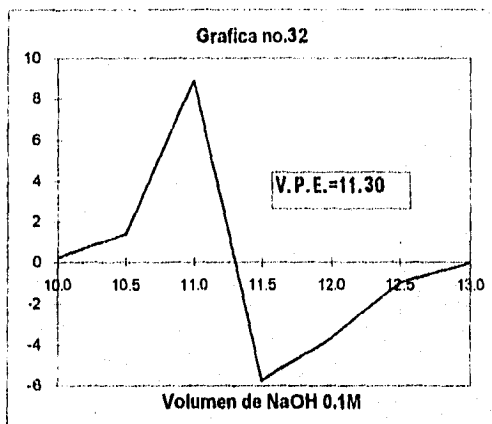
Gráfica no.29. Corresponde a la segunda curva diferencial para la quinta valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.



Gráfica no.30. Corresponde a la segunda curva diferencial para la sexta valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.

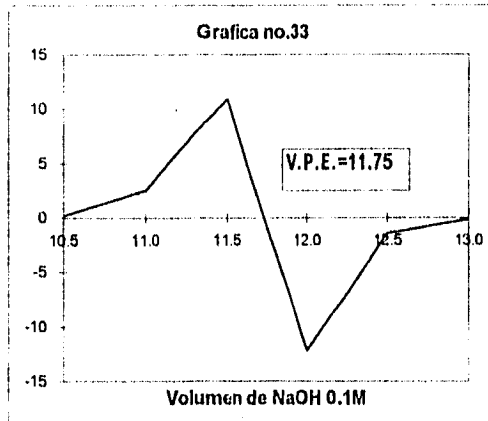


Gráfica no.31. Corresponde a la segunda curva diferencial para la séptima valoración potenciométrica del HF con NaOH como valorante.

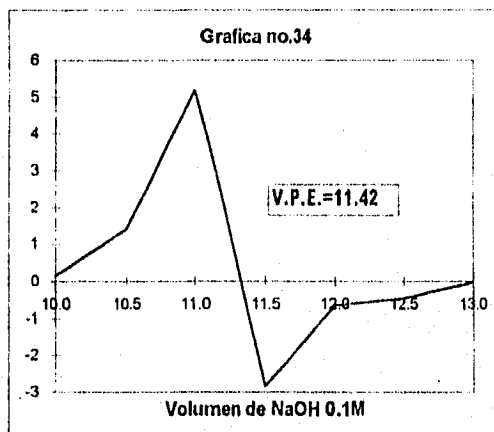


Gráfica no.32. Corresponde a la segunda curva diferencial para la primera valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como

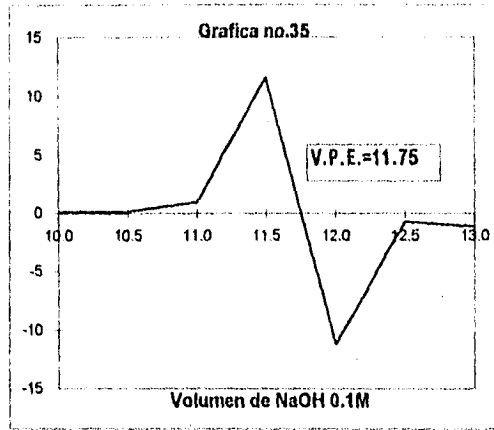
ESTA TESIS NO DEBE
CALIAR DE LA BIBLIOTECA



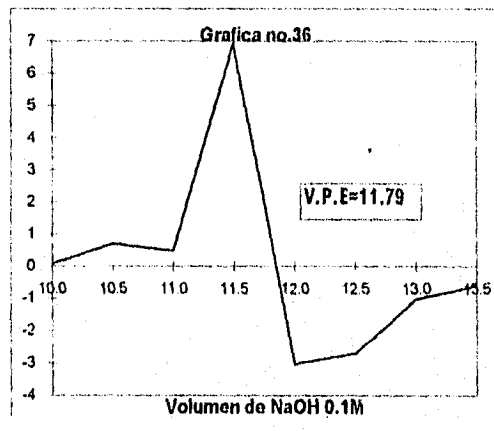
Gráfica no.33. Corresponde a la segunda curva diferencial para la segunda valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH



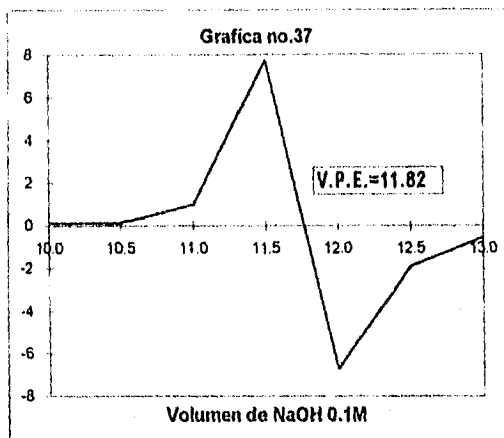
Gráfica no.34. Corresponde a la segunda curva diferencial para la tercera valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como



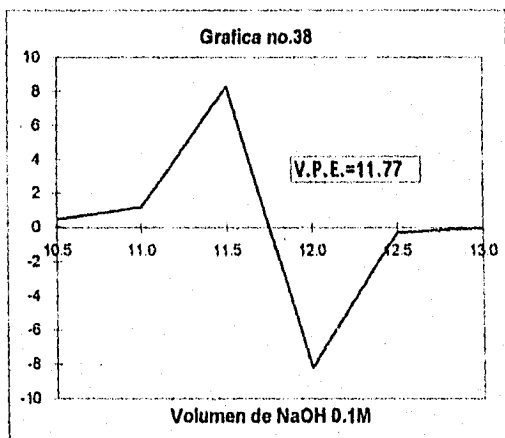
Gráfica no.35. Corresponde a la segunda curva diferencial para la cuarta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como



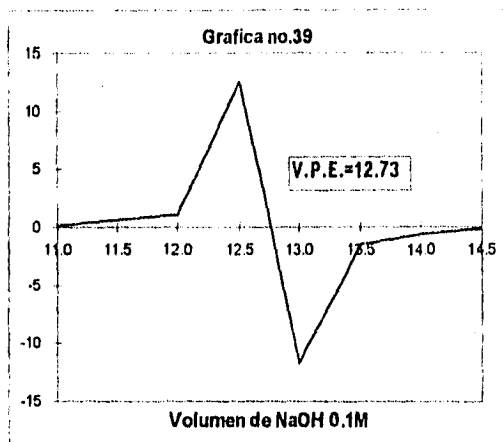
Gráfica no.36. Corresponde a la segunda curva diferencial para la quinta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como valorante.



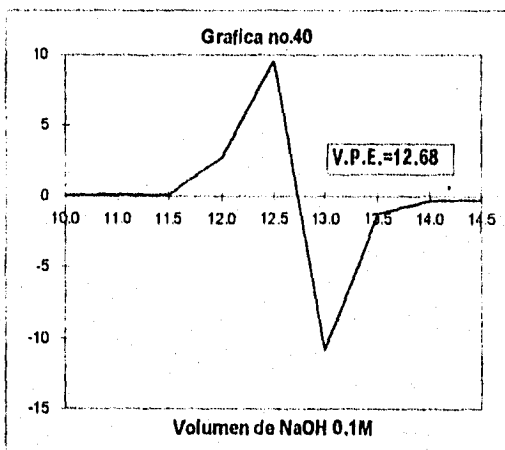
Gráfica no.37. Corresponde a la segunda curva diferencial para la sexta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH como



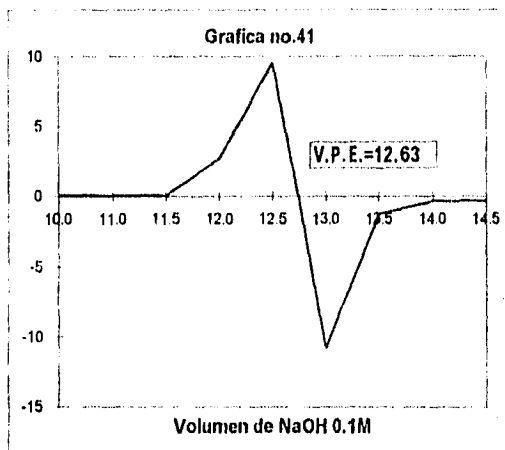
Gráfica no.38. Corresponde a la segunda curva diferencial para la séptima valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de magnesio con NaOH



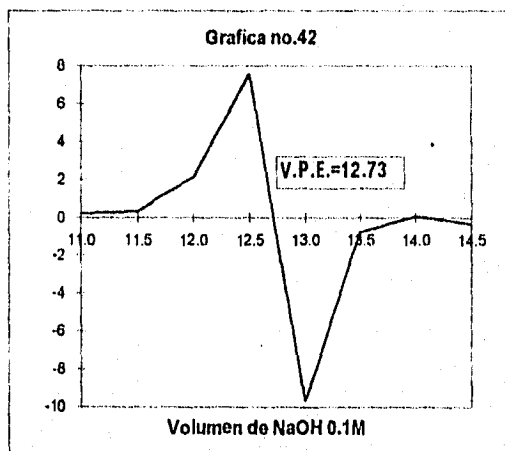
Gráfica no.39. Corresponde a la segunda curva diferencial para la primera valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como



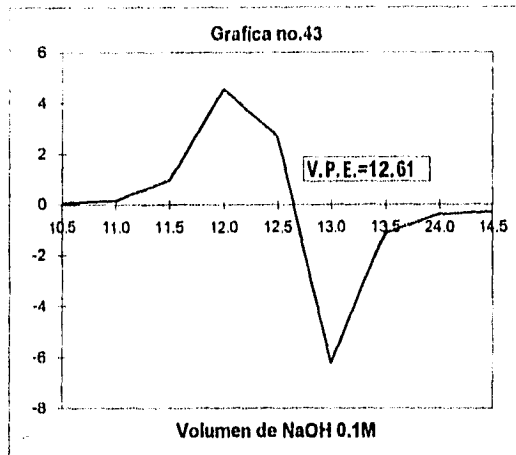
Gráfica no.40. Corresponde a la segunda curva diferencial para la segunda valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH



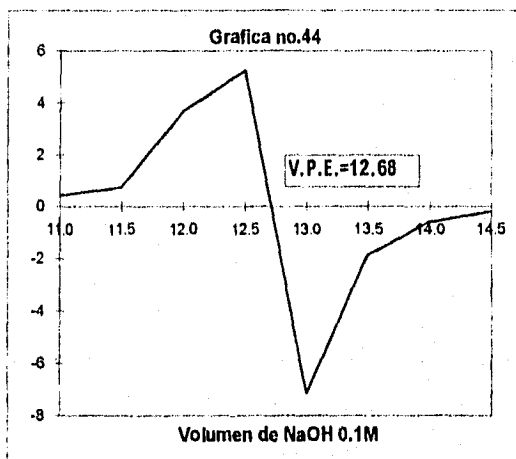
Gráfica no.41. Corresponde a la segunda curva diferencial para la tercera valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como



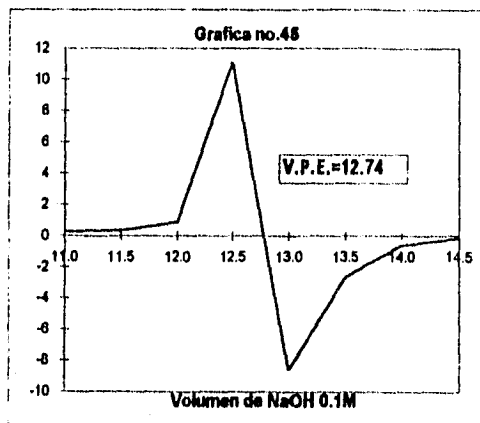
Gráfica no.42. Corresponde a la segunda curva diferencial para la cuarta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como



Gráfica no.43. Corresponde a la segunda curva diferencial para la quinta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como



Gráfica no.44. Corresponde a la segunda curva diferencial para la sexta valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como



Gráfica no.45. Corresponde a la segunda curva diferencial para la séptima valoración potenciométrica del HF en presencia de nitrato de litio con NaOH como valorante.

El procedimiento de interpolación lineal es satisfactorio, debido a que el segmento central de la curva ($\Delta^2E/\Delta V^2$)=(ml de valorante) es prácticamente una línea recta cerca del punto de equivalencia.

En las tablas 25,26 y 27 se reportan los resultados de los V.P.E. calculados por el método de la segunda diferencial para cada una de las valoraciones realizadas.

Valoración no.	V.P.E. (ml)
1	11.76
2	11.76
3	11.78
4	11.75
5	11.75
6	11.72
7	11.76

Tabla 25. Resultados correspondientes a los V.P.E. calculados para las valoraciones potenciométricas del HF sólo.

Valoración no.	V.P.E. (ml)
1	11.30
2	11.75
3	11.42
4	11.75
5	11.79
6	11.82
7	11.77

Tabla 26. Resultados correspondientes a los V.P.E. calculados para las valoraciones potenciométricas del HF en presencia de nitrato de magnesio.

Valoración no.	V.P.E. (ml)
1	12.73
2	12.68
3	12.63
4	12.73
5	12.61
6	12.68
7	12.74

Tabla 27. Resultados correspondientes a los V.P.E. calculados para las valoraciones potenciométricas del HF en presencia de nitrato de litio.

En base a los V.P.E calculados mediante el método de la segunda derivada se llevo a cabo un estudio estadístico para averiguar si existe alguna diferencia significativa entre los datos experimentales proporcionados por el sistema POSAI-316.

Para el caso de las valoraciones potenciométricas de HF sólo tenemos:

$$n = 7$$

$$M_0 = 11.76$$

$$\sum x_i = 82.28$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{82.28}{7} = 11.754$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0.0299$$

$$CP = \left\{ \frac{\bar{x} - Mo}{S} \right\} = \left\{ \frac{11.754 - 11.76}{0.0299} \right\} = -0.2006$$

El coeficiente de Pearson CP nos indica que la distribución de los datos puede considerarse simétrica ya que se considera que una curva es sesgada cuando CP + 3 o mayor. En nuestro caso la curva tiene una ligera dispersión; pero puede considerarse simétrica.

Para el caso de las valoraciones potenciométricas de HF en presencia de nitrato de magnesio tenemos que:

- n = 7
- Mo = 11.75
- x̄ = 11.657
- Σxi = 81.60
- s = 0.207
- CP = -0.4492

Por lo tanto al igual que para el caso anterior podemos considerar que la distribución de los datos es normal.

Para el caso de las valoraciones potenciométricas de HF en presencia de nitrato de litio tenemos que:

- n = 7
- Mo = 12.73
- x̄ = 12.685
- Σxi = 88.80
- CP = -0.9183
- s = 0.0.49

Podemos considerar que la distribución de los datos es normal.