

LABORATORIO DE QUIMICA ANALITICA
INFORME PRESENTADO A LA PROF. ANGELA SIFONTE

TITULACION ACIDO-BASE

INFORME N° 1.
PRESENTADO POR EL Br. WILLIAM CHEN CHEN
C.I.: 16.113.714

CARACAS, 17 NOVIEMBRE DE 2004.

RESUMEN

El objetivo principal de esta experiencia es realizar un control de calidad de un vinagre comercial dado como muestra; el control de calidad se traduce a calcular el % en peso de ácido acético en el vinagre, para ello se aplicó un método de valoración (ácido - base), se hizo una titulación volumétrica del ácido acético, se utilizó una solución patrón o titulante de NaOH, a partir de los datos obtenidos se determinó el porcentaje en peso de la muestra de vinagre dada en el laboratorio, además, se realizó un análisis estadístico de los mismos.

El procedimiento para lograr el objetivo fundamental se inició al pesar una muestra de vinagre comercial asignado, en este caso Eureka, en un beaker de 100 mL se diluyó con agua la muestra hasta el aforo en un balón aforado de 100 mL el cual fue agitado continuamente para que se homogeneizara la preparación, luego se trasvasó la solución preparada a un beaker de 250 mL, previamente curado al igual que una pipeta volumétrica de 10 mL y se tomó un grupo de siete erlenmeyers limpios, se le agregó a cada uno una alícuota de 10 mL de la solución de vinagre que estaba en el balón. Se le añadieron unas 3 o 2 gotas de fenolftaleína a cada uno. Se curó una bureta de 50 mL con la solución de NaOH y luego se enrazó la misma para proceder a titular la solución acuosa de vinagre de cada erlenmeyer, con una agitación constante para poder observar el punto final de la titulación.

Se tomó nota del volumen utilizado de NaOH en cada titulación, con éstos se hizo el análisis estadístico, en el cual se calculó la media aritmética, desviación estándar, desviación estándar relativa, desviación absoluta y el límite de confianza para un 95%; luego se calculó el volumen promedio de NaOH empleado para la titulación, los equivalentes de ácido, los equivalentes totales del ácido, la masa de ácido, el porcentaje de ácido acético, los granos del vinagre y el error relativo del mismo asumiendo como verdadero el valor de 5% en peso. Los resultados obtenidos fueron muy buenos ya que el porcentaje la desviación del porcentaje de acidez del vinagre fue de 5,6. De los resultados obtenidos se puede afirmar que la muestra de vinagre analizada cumple con los requisitos por lo que se considera apto para su comercialización.

OBJETIVOS

1. Generales:

-  Realizar un estudio de control de calidad de una muestra de Vinagre Eureka, determinando experimentalmente por el método de titulación volumétrica su porcentaje en peso de ácido acético y compararlo con el porcentaje presentado en la etiqueta del mismo.

2. Específicos:

-  Familiarizar al estudiante con los métodos de titulación Acido-Base, y con los instrumentos utilizados durante el mismo.
-  Determinar el volumen promedio de hidróxido de sodio gastado en la titulación.
-  Realizar un estudio estadístico a los volúmenes de hidróxido de sodio empleados en la titulación.
-  Determinar los equivalentes de ácidos consumidos a partir del volumen promedio de hidróxido de sodio empleado y de su normalidad.
-  Determinar experimentalmente los granos de la muestra de vinagre y comprobar que éste es apto para ser comercializado.
-  Determinar y analizar el error relativo del porcentaje de vinagre.

INTRODUCCION

En la industria el control de calidad es un factor fundamental para que un producto se terminado o no, por tanto es de principal importancia para éstas empresas ofrecer un producto de calidad y dentro de las especificaciones.

El vinagre es un producto químico que consiste en una solución acuosa de ácido acético (CH_3COOH), con una concentración del ácido entre 4 y 8% en masa. Dependiendo de la materia prima utilizada para su elaboración los vinagres pueden clasificarse como: a) vinagre de manzana o sidra, b) vinagre de vino o uva, c) vinagre de malta, d) vinagre de azúcar o melaza, e) vinagre de glucosa, f) vinagre de gramos. El vinagre se prepara a través de dos procesos microbianos sucesivos: en primer lugar se realiza una fermentación de la materia prima utilizada para generar etanol y luego se realiza una fermentación oxidante del etanol para generar el producto. Para considerar comercialmente estos productos como vinagre deben poseer no menos de 4% en masa de ácido acético. Además del ácido acético los vinagres comerciales contienen cantidades variables, pero pequeñas de otros ácidos orgánicos así como alcoholes y azúcares sin oxidar y otra diversidad de compuestos químicos.

Por tanto, se emplea la técnica de titulación volumétrica, para verificar si el vinagre en estudio cumple con las especificaciones requeridas. Este informe comprende el estudio de la determinación del porcentaje de ácido acético del Vinagre Mavesa mediante la titulación volumétrica realizada con NaOH, para garantizar que es apto para el consumo humano y demostrar que esta titulación es una herramienta muy útil para el control de éste producto alimenticio.

Para realizar con éxito los objetivos existe una cantidad de un vinagre comercial, debidamente pesada, que será transferida cuantitativamente a un balón aforado, llevada a la marca de aforo con agua destilada y homogeneizada mediante agitación continua. Alícuotas de la solución preparada se titularán con NaOH de concentración conocida, usando fenolftaleína como indicador para la titulación. Una vez conocidos el volumen y la molaridad del NaOH consumido, podrán obtenerse la cantidad en gramos de ácido acético presente, y relacionando esto con la masa de vinagre inicialmente pesada, se podrá determinar el porcentaje de acidez de la muestra comercial seleccionada. Una vez realizada la experiencia se debe haber manejado el proceso de titulación, y haber manipulado los instrumentos utilizados durante la misma con gran eficacia. Así como también, comparar el valor de acidez de una muestra comercial de vinagre Eureka con el suministrado por el fabricante.

MARCO TEORICO

ANÁLISIS VOLUMÉTRICOS: Un método volumétrico es aquel en el cual el análisis es concluido midiendo el volumen de una disolución de concentración establecida necesario para reaccionar completamente con la sustancia que se determina. Son rápidos y convenientes; su uso está muy difundido.

TITULACIÓN VOLUMÉTRICA: Se basan en la medición de la cantidad de un reactivo de concentración conocida (el titulante), que se consume por el analito (sustancia que se analiza). En la titulación volumétrica se mide el volumen de una solución de concentración conocida (titulante) que se necesita para que reaccione completamente con el analito. Operacionalmente la titulación se realiza añadiendo cuidadosamente y de forma controlada desde una bureta u otro artefacto automatizado que suministre líquido, una solución patrón del titulante a la solución del analito hasta que la reacción se considere completa. Durante la titulación el punto en el cual la cantidad de titulante añadido es estequiométricamente equivalente a la cantidad de analito en la muestra se define como el punto de equivalencia. El punto de equivalencia de una titulación es un valor teórico que no se puede determinar experimentalmente. Sólo se puede estimar su posición observando algún cambio físico asociado a la condición de equivalencia. Este cambio se llama punto final de la titulación. En una titulación es muy común añadir un indicador a la solución del analito para obtener un cambio físico apreciable (el punto final) en o cerca del punto de equivalencia. Los cambios más grandes en la concentración relativa del analito o del titulante se dan. Precisamente, en la zona del punto de equivalencia. Estos cambios de concentración son los que hacen que cambie la forma del indicador, siendo los más típicos la aparición o desaparición de turbiedad o color.

VALORIZACIÓN: es un proceso en el cual se mide cuantitativamente la capacidad de una sustancia para combinarse con un reactivo. Esto se lleva a cabo por la adición controlada de un reactivo de concentración conocida a una disolución de la sustancia hasta que se juzga es completa la reacción entre las dos; entonces se ha medido el volumen respectivo.

VINAGRE: es un producto químico que consiste en una solución acuosa de ácido acético con una concentración del ácido entre el 4% y 8% en masa, se utiliza mucho para condimentos y aderezos. El porcentaje en masa también es expresado en granos, que se define como aquel que contiene 0,1 g de ácido acético en 100 g de vinagre. La fuerza del vinagre comercial debe ser siempre mayor de 40 granos.

REACCIONES INVOLUCRADAS

Las reacciones de hidróxido de sodio con ácido acético, justo en el punto de equivalencia los equivalentes de ácido son iguales a los equivalentes de la base, por consiguiente como el ácido y la base poseen un ión, los equivalentes del ácido son iguales a los moles del ácido en la solución, dando origen a la reacción:



INDICADORES ÁCIDO – BASE:

Un indicador ácido-base es un ácido orgánico débil o una base orgánica débil cuya forma no disociada tiene un color diferente a la de su forma conjugada. En este caso la disociación se ve acompañada por cambios en la estructura interna del indicador y ocasiona un cambio de color. Un aumento en la concentración de iones hidrógeno o disminución del pH ocurre una transferencia de iones y esto se va acompañado con la aparición de otro color.

Es importante destacar ciertos conceptos a la hora de realizar cualquier tipo de medición, debido a que toda medición de una propiedad está afectada por un cierto grado de incertidumbre.

PRECISIÓN: se define como el grado de concordancia que existe entre un conjunto de medidas realizadas a un observable físico por un mismo operador y a las mismas condiciones.

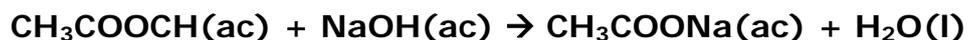
EXACTITUD: es la dispersión presentada por uno o un conjunto de datos respecto del valor real de la propiedad sometida a estudio. Igualmente existe un conjunto de parámetros que permite tener una cierta idea de la exactitud y precisión de un conjunto de datos, como por ejemplo: media, mediana, desviación absoluta y desviación relativa.

MEDIA: es el valor promedio de una serie de datos igual a la sumatoria de todas las mediciones realizadas entre el número de mediciones.

DESVIACIÓN ABSOLUTA: representa la diferencia entre un valor experimental y el que se toma como el mejor de la serie.

DESVIACIÓN RELATIVA: se define como el porcentaje o partes por mil de la desviación absoluta respecto al valor más aceptado.

La reacción química que tiene lugar se expresa por medio de la ecuación:



Las reacciones ácido-base, como la anterior, reciben el nombre de reacciones de neutralización.

DATOS EXPERIMENTALES

A continuación se presentan los datos recopilados durante el desarrollo de la práctica de Titulación Acido-Base:

Tabla N° 1. Cantidad y propiedades del Vinagre empleada.

Marca Comercial	Eureka
Masa de Vinagre ($M_v \pm 0,01$)g	12,48
Porcentaje de Acido Acético (CH_3COOH)	5%

Tabla N° 2. Concentración del titulante (NaOH).

Concentración del NaOH ($C_{\text{NaOH}} \pm 0,0002$)N
0,1008

Tabla N° 3. Volumen de NaOH empleado.

Ensayo	Volumen de NaOH ($V_{\text{NaOH}} \pm 0,05$)mL
1	10,80
2	10,90
3	10,90
4	11,0
5	11,00
6	11,00
7	10,90

Tabla N° 4. Peso Molecular del titulante y del analito.

Compuesto	Peso Molecular (P_M) g/mol
Hidróxido de Sodio (NaOH)	40
Acido Acético (CH_3COOH)	60

RESULTADOS

Tabla N° 5. Resultados pertinentes al estudio estadístico del volumen de NaOH empleado.

Media Aritmética (\bar{X})	10,93 mL
Desviación Estándar ($\bar{\delta}$)	0,08 mL
Desviación Absoluta (\bar{d})	0,06 mL
Varianza (V)	0,0064 mL
Desviación Estándar Relativa ($\delta_{RELATIVA}$)	0,73%
Límite de Confianza (L.C.)	[11,00mL - 10,86mL]

Tabla N° 6. Resultados pertinentes a titulación.

Volumen Promedio NaOH ($V_{NaOH} \pm 0,08$) mL	(10,93 \pm 0,08) mL
Concentración de la solución ácida (N)	(0,110 \pm 0,001) N
Equivalentes del ácido acético (eq)	(0,00110 \pm 0,00001) eq
Equivalentes totales de ácido acético (eq)	(0,0110 \pm 0,0001) eq
Masa del ácido acético (g)	(0,6600 \pm 0,0001) g
Porcentaje de ácido acético (%)	(5,288 \pm 0,004)%
Granos del Vinagre	52,88
Error Relativo del porcentaje de vinagre	5,6%

DISCUSION DE RESULTADOS

Al ver la tabla N° 3 se puede afirmar que los datos recogidos son bastante precisos, esto debido a la reproducibilidad de las mediciones y sabiendo que la precisión viene dada por la simple repetición de la medición. Adicionalmente, la media calculada resultó ser un valor muy cercano a cualquiera de las mediciones. Si se observan en la tabla N° 5 la desviación absoluta y la desviación estándar relativa, se llega a la misma conclusión con respecto a la precisión de la recogida de los datos, ya que ambas desviaciones son extremadamente pequeñas. Lo mismo ocurre con la desviación estándar, esta medida de la variabilidad o de la precisión de una muestra de datos resultó ser tan pequeña que permite concluir que no hay que dudar de la validez de los volúmenes medidos y se pueden tomar como correctos, esto asumiendo que las pequeñas desviaciones se deben a errores aleatorios o indeterminados personales, es decir, se deben a la precisión del analista.

El porcentaje en peso de la muestra de vinagre resultó ser ligeramente mayor que el marcado en la etiqueta del producto, esto, asumiendo que el de la etiqueta es exactamente correcto, indica que hubo una ligera desviación de la exactitud. La desviación de la exactitud es pequeña, un 5,6 % del valor real teórico. Este error es adjudicado a los errores sistemáticos personales que se hayan podido cometer, (recordando que se asume que el porcentaje de la etiqueta del producto es exacto).

Desde el punto de vista de los errores, se pudo haber cometido errores de paralaje cuando al calibrar las buretas; además de errores de lecturas debido a que es difícil diferenciar las medidas en las buretas que dan lugar a errores de visualización y lectura. A su vez se

puede decir que las titulaciones no son del cien por ciento exactas, debido a que las titulaciones volumétricas se mide el volumen de la solución de hidróxido de sodio que se necesita para que reacciones completamente el ácido acético, este proceso se termina cuando se halla llegado al punto final de la titulación donde se puede estimar debido al cambio de color de un rosado pálido de la muestra de vinagre con la ayuda de la fenoftaleína, el cual se puede ver afectado visualmente si no se presta mucha atención al cambio de color, ya que el ojo humano es poco sensible para apreciar las diferencias de color en soluciones de este tipo, en consecuencia para el observador el color que imparte este tipo de soluciones con el indicador parece cambiar rápidamente y una gota adicional de hidróxido de sodio hace que el punto final de la titulación se pase y se lean volúmenes gastados de hidróxido de sodio con cierto error, logrando así que el porcentaje calculado de acidez de ácido acético no sea el correcto. Otra posible causa, es que no hayan lavado de manera efectiva los instrumentos utilizados, garantizando así que esas partículas ajenas influyan en los resultados. Los errores instrumentales asociados a la balanza son mínimos porque las balanzas eléctricas calibradas son bastantes exactas y precisas, lo que pudo haber afectado la pesada fue un flujo de aire o algo movimiento sobre la mesa en la que se encuentra la balanza.

Los granos calculados para este vinagre indican que este es efectivamente un vinagre apto para la comercialización, ya que la fuerza mínima requerida para un vinagre comercial es de 40 granos, y el analizado tiene una fuerza de más de 50 granos (52,88), cumpliéndose de esta forma el objetivo general de la practica que era realizar un control de calidad del vinagre Eureka por titulación volumétrica.

CONCLUSION

1. Tanto los objetivos generales como los específicos de la práctica se cumplieron
2. Es inevitable cometer errores indeterminados en este tipo de experiencias, sin embargo, aunque este tipo de errores no se pueden controlar, se pueden compensar entre sí.
3. El vinagre analizado es apto para ser comercializado, ya que tiene un porcentaje en peso de ácido acético que se ubica dentro del rango de 4% y 8%, adicionalmente tiene una fuerza mayor de 40 granos.
4. La reacción es rápida y se distinguió el punto final de la titulación mediante la presencia del cambio de color a rosa pálido.
5. Los resultados del análisis estadístico presentan valores bajos y cercanos, que permiten afirmar que la experiencia realizada es confiable, y no presenta grandes desviaciones estadísticas que influyan en su análisis.
6. No se presentaron valores dispersos o distintos en los volúmenes consumidos de hidróxido de sodio, respecto a la media.
7. La titulación volumétrica es un excelente método de análisis cuantitativo, sin embargo es un procedimiento delicado que se puede ver afectado seriamente por el más mínimo error.

CALCULOS TIPOS

1. Media aritmética de Volumen del titulante (NaOH) empleado en la solución:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética del volumen de NaOH empleado (mL).

X_i : Volumen de NaOH empleado para cada muestra (mL).

n : Número de muestras (adimensional).

$$\bar{X} = \frac{10,80\text{mL} + 10,90\text{mL} + 10,90\text{mL} + 11,00\text{mL} + 11,00\text{mL} + 11,00\text{mL} + 10,90\text{mL}}{7} = 10,93\text{mL}$$

2. Desviación Estándar:

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Donde:

$\bar{\delta}$: Desviación Estándar (mL).

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{(10,80-10,93)^2 + (10,90-10,93)^2 + (10,90-10,93)^2 + (11,00-10,93)^2 + (11,00-10,93)^2 + (11,00-10,93)^2 + (10,90-10,93)^2}{n-1}}$$

$$\bar{\delta} = 0,08\text{mL}$$

3. Varianza:

$$V = \bar{\delta}^2$$

Donde:

V : Varianza (mL²).

$$V = (0,08\text{mL})^2 = 0,0064\text{mL}^2$$

Existen varias maneras para reportar el error o la incertidumbre del Volumen Promedio de NaOH o error:

Una de ellas es con la desviación estándar y la otra es la siguiente:

$$e = \frac{\text{Apreciación}}{2} + \bar{d}$$

Donde:

e : Error asociado al Volumen Promedio de NaOH (mL).

\bar{d} : Desviación Absoluta.

Apreciación: Menor medida que se puede tomar = 0,05mL

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n}$$

$$\bar{d} = \frac{|(10,80-10,93)| + |(10,90-10,93)| + |(10,90-10,93)| + |(11,00-10,93)| + |(11,00-10,93)| + |(11,00-10,93)| + |(10,90-10,93)|}{7}$$

$$\bar{d} = 0,06mL$$

$$e = \frac{0,05mL}{2} + 0,06mL = 0,09mL$$

Por lo tanto, el volumen promedio de NaOH empleado es:

 Mediante la desviación estándar:

$$V_{NaOH} = (10,93 \pm 0,08)mL$$

 Mediante la desviación absoluta:

$$V_{NaOH} = (10,93 \pm 0,09)mL$$

Ambas son similares pero se va a tomar la que se reporta mediante la desviación estándar; ya que la otra se emplea mayoritariamente es en el campo de la física.

4. Desviación Estándar Relativa:

$$\delta_{RELATIVA} = \frac{\bar{\delta}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

$\delta_{RELATIVA}$: Desviación Estándar Relativa (%).

$$\delta_{RELATIVA} = \frac{0,08mL}{10,93mL} \times 100 = 0,73\%$$

5. Límite de Confianza:

$$L.C. = \bar{X} \pm \frac{t \times \bar{\delta}}{\sqrt{n}}$$

Donde:

L.C.: Límite de Confianza.

t: depende de los grados de libertad y nivel de probabilidad.

El valor de t para un 95% de confianza con $(7-1)=6$ grados de libertad es (conseguida en la tabla):

$$t = 2,45$$

$$L.C. = \bar{X} \pm \frac{t \times \bar{\delta}}{\sqrt{n}} = 10,93mL \pm \frac{2,45 \times 0,08mL}{\sqrt{7}}$$

$$11,00mL \geq L.C. \geq 10,86mL$$

ó

el L.C. es entre $[11,00mL - 10,86mL]$

6. Concentración de la solución ácida:

$$N_a = \frac{N_b \times V_b}{V_a}$$

Donde:

N_a : Normalidad del ácido.

N_b : Normalidad de la base.

V_a : Volumen del ácido que se titula.

V_b : Volumen de base gastado = \bar{X} .

$$N_a = \frac{(0,1008 \pm 0,0002)N \times (10,93 \pm 0,09)mL}{(10,00 \pm 0,02)mL}$$

Incertidumbre de la concentración de del ácido o su error:

$$\varepsilon_{N_a} = N_a \times \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{N_b}}{N_b}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{V_b}}{V_b}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{V_a}}{V_a}\right)^2}$$

Donde:

ε_i : Error que presenta el parámetro i.

i: N_a , N_b , V_b , V_a .

$$\varepsilon_{N_a} = \frac{0,1008N \times 10,93mL}{10mL} \times \sqrt{\left(\frac{0,0002}{0,1008}\right)^2 + \left(\frac{0,08}{10,93}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,00}\right)^2} = 0,001N$$

Por lo tanto, la normalidad de la solución ácida es:

$$N_a = (0,110 \pm 0,001) N$$

7. Equivalentes del ácido acético:

$$Eq_{ac} = N_a \times V_a$$

$$Eq_{ac} = (0,110 \pm 0,001)N \times (10,00 \pm 0,02)mL \times \frac{1L}{1000mL}$$

Incertidumbre del equivalente de ácido acético:

$$\varepsilon_{Eq_{ac}} = \frac{0,110N \times 10,00L}{1000} \times \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,110}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,00}\right)^2} = 0,00001 \text{ eq}$$

Por lo tanto, el equivalente del ácido acético es:

$$\varepsilon_{Eq_{ac}} = (0,00110 \pm 0,00001) \text{ eq}$$

8. Equivalentes totales de ácido acético:

$$Eq_{acTOT} = Eq_{ac} \times \alpha = Eq_{ac} \times \frac{V_{B.A}}{V_{Alic}}$$

Donde:

Eq_{acTOT} : Equivalentes totales de ácido acético.

α : Factor de dilución.

$V_{B.A}$: Volumen total de la solución contenida en el balón aforado.

V_{Alic} : Volumen de la alícuota empleada.

$$Eq_{acTOT} = (0,00110 \pm 0,00001)_{\text{eq}} \times \frac{(100,00 \pm 0,08)mL}{(10,00 \pm 0,02)mL}$$

Incertidumbre de los equivalentes totales de ácido acético:

$$\varepsilon_{Eq_{ac}} = \frac{0,00110_{\text{eq}} \times 100,00}{10} \times \sqrt{\left(\frac{0,00001}{0,00110}\right)^2 + \left(\frac{0,08}{100,00}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10,00}\right)^2} = 0,0001$$

Por lo tanto, los equivalentes totales de ácido acético es:

$$Eq_{acTOT} = (0,0110 \pm 0,0001) \text{ eq}$$

9. Masa del ácido acético presente en los 100mL de solución:

$$m_{Acid} = Eq_{acTOT} \times P_{equi}$$

Donde:

m_{Acid} : Masa del ácido acético en los 100mL de solución.

P_{equi} : Peso equivalente del ácido acético= 60

El peso equivalente del ácido acético es igual a su peso molecular debido a que es un ácido monoprótico.

$$m_{Acid} = (0,0110 \pm 0,0001) \text{ mol} \times 60 \text{ g/mol} = (0,6600 \pm 0,0001) \text{ g}$$

10. Porcentaje de ácido acético:

$$\%_{Acid} = \frac{m_{Acid}}{m_v} \times 100$$

Donde:

$\%_{Acid}$: Porcentaje de ácido acético.

m_v : Masa de la muestra de vinagre pesada.

$$\%_{Acid} = \frac{(0,6600 \pm 0,0001) \text{ g}}{(12,48 \pm 0,01) \text{ g}} \times 100$$

Incertidumbre del porcentaje de ácido acético:

$$\varepsilon_{\%_{Acid}} = \frac{0,6600 \text{ g} \times 100}{12,48 \text{ g}} \times \sqrt{\left(\frac{0,0001}{0,6600}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{12,48}\right)^2} = 0,004$$

Por lo tanto, el porcentaje de ácido acético es:

$$\%_{Acid} = (5,288 \pm 0,004)\%$$

11. Granos del Vinagre:

$$Granos_{Vinagre} = \%_{Acid} \times 10 = 5,288 \times 10 = 52,88 \text{ granos}$$

12. Error Relativo del porcentaje de vinagre:

$$\varepsilon_{\%_{Vinagre}} = \frac{|\%_{Teo} - \%_{Exp}|}{\%_{Teo}} \times 100 = \frac{|5 - 5,28|}{5} \times 100 = 5,6\%$$