

DICNE
/ 500.00

27 ENE. 1986

FECHA DE DEVOLUCION

El último sello marca la fecha tope para ser devuelto este libro.

El lector pagará ~~12.00~~ pesos por cada día que pase una semana después del vencimiento.

26 AGO. 1987

[Handwritten signature]
Noviembre 27, 1985

FE DE ERRATAS

+ En la tabla A, a la cual le corresponde la página 13, debe tener de título, Producción e importancia del CaO en E.U.A.

+ En la página 33 en el quinto renglón, es un 36% de CO₂ en lugar de 30% de CO₂, que corresponde a la media aritmética de la primera muestra.

+ En la página 55, en la figura No.1 se está graficando coeficiente de actividad en la ordenada, contra fracción molar en la abscisa y en la figura No.2 se está graficando coeficiente de actividad iónica en la ordenada, contra raíz cuadrada de la concentración.

+ En la página 64 en la tercera igualdad debió de haber sido:

$$S = \frac{(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad \text{en lugar de:} \quad S = \frac{(x-x)^2}{N}$$

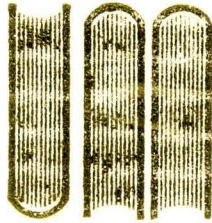
y en la cuarta igualdad

$$X = \frac{\sum x}{N} \quad \text{en lugar de:} \quad X = \frac{x}{N}$$

[Handwritten signature]
3/7/86

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

DIVISION DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS



UNIVERSIDAD
DE MONTERREY

Clasif.

040.5466

G984e

1985

c. 1

folio

900616

Título

ESTUDIO QUIMICO DE UN
YACIMIENTO DE CALIZA

REPORTE DEL PROGRAMA DE EVALUACION FINAL

Autor

QUE PRESENTA

SONIA PATRICIA GUTIERREZ CANTU

EN OPCION AL TITULO DE
LICENCIADA EN QUIMICA
CON ESPECIALIDAD EN QUIMICA INDUSTRIAL

BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

MONTERREY, N. L.,

DICIEMBRE DE 1985

A Dios Nuestro Señor
porque ha sido siem-
pre mi guía y mi luz

A mi esposo Enrique.

A mis padres César Alejandro y Graciela.

A mis hermanos Alejandro, Luis y Rosemberg.

A mis amigos.

Agradezco a mi asesor,

Dr. Francisco Carrión Appel

por su valiosa ayuda y orientación

para la elaboración del presente trabajo.

Al Ing. Ramón Poo y a la

Lic. Luz Ma. Gutiérrez por su

colaboración en este programa.

A todos y cada uno de
los Maestros que me
ayudaron a llegar a
mi meta.

INDICE

PAGINA

INTRODUCCION

A) OBJETIVO	1
B) CARBONATO DE CALCIO	
1) Propiedades Físicas y Químicas	2
2) Historia del carbonato de calcio precipitado . .	4
3) Método de fabricación del carbonato de calcio precipitado	5
C) ANALISIS	
1) Análisis Químico	8
2) Análisis Físico	8
D) NORMAS Y ESPECIFICACIONES	10
E) ASPECTOS ECONOMICOS	12

MATERIALES Y METODOS

A) PREPARACION DE LOS REACTIVOS

1) Dióxido de silicio	14
2) Oxido de aluminio III y óxido de fierro III . .	15
3) Oxido de calcio (Método Gravimétrico)	16
4) Oxido de calcio (Método Volumétrico)	17
5) Oxido de magnesio	19

B) METODOS ANALITICOS

1) Dióxido de silicio	20
2) Oxido de aluminio III y óxido de fierro III . .	21
3) Oxido de calcio (Método Gravimétrico)	22
4) Oxido de calcio (Método Volumétrico)	23
5) Oxido de magnesio	23
6) Carbonatos (Pérdidas de peso por Calcinación) .	24
7) Carbonatos (Método de Alcalímetro)	25

C) FLUORESCENCIA DE RAYOS X 25

Continuación ...	PAGINA
RESULTADOS	32
CONCLUSIONES	54
RESUMEN	57
BIBLIOGRAFIA	58
APENDICE	
A) Procedimientos de Cálculo	62

INTRODUCCION

A) OBJETIVO

El objetivo de este proyecto, consiste en el análisis de dióxido de silicio, óxido de aluminio III y óxido de fierro III, óxido de calcio, óxido de magnesio y carbonatos en muestras de una mina de caliza por medio del ensayo químico. Se evaluaron los resultados estadísticamente y se compararon con los resultados obtenidos en un laboratorio de la industria química, que usa fluorescencia de rayos X para estos análisis.

B) CARBONATO DE CALCIO.

1) PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS.

El carbonato de calcio, de peso molecular 100.09, es el principal componente de la caliza. (I1)

En cuanto a la abundancia se trata, en la corteza terrestre, los porcentajes reportados, son: para el calcio 3.63 % y para el oxígeno 46.43 %. (I2)

Se presenta en estado natural en dos formas cristalinas, la aragonita y la calcita. La aragonita es ortorrómbica; con un punto de fusión de 825 grados centígrados.

La calcita es hexagonal; con un punto de fusión de 898 grados centígrados.

En cuanto a la calcita y la aragonita. La calcita es termodinámicamente estable a todas las presiones y temperaturas. La aragonita polimórfica es metaestable y con cambios irreversibles a calcita cuando se calienta en aire seco a 400 grados centígrados, la cantidad incrementa con la temperatura. La transformación es mucho más rápida cuando se pone en contacto con agua o solución con carbonato de calcio a temperatura ambiente. (I3)

Las formas de cristal de la calcita es un sistema hexagonal y la aragonita existe como sistema ortorrómbico. Rápida precipitación, alta concentración de reactivos, altas temperaturas y la presencia de cationes divalentes incrementa la tendencia a producir aragonita. (I3)

La mayoría del carbonato de calcio de grado comercial tiene un mínimo de pureza del 98 % y los contaminantes mayores son el carbonato de magnesio y la sílica.

Los productos son buenos con un rango de partícula de 0.03m - 5m (pasa sedazo de 800 mallas). (I4)

Se denomina carbonato calcico precipitado al carbonato producido por procedimientos químicos. Sirve para distinguirlo de los materiales producidos por el tratamiento mecánico aplicado a las variedades naturales del carbonato de calcio. Estos se llaman blancos, y su producción y uso son anteriores a la introducción de los carbonatos químicos; en consecuencia, el nombre de blanco se ha consagrado en el uso popular y se aplica indistintamente a los carbonatos de calcio pulverizados. Las expresiones blanco precipitado, blanco artificial y blanco subproducto se usan a menudo para designar carbonatos de calcio producidos en la industria química. (I5)

2) HISTORIA DEL CARBONATO DE CALCIO PRECIPITADO. (I6)

La producción industrial de los carbonatos sintéticos empezó hacia el año de 1898 con la fabricación en Tyrone, Pa. El carbonato de calcio (blanco alba), recuperado del desperdicio procedente de la causticación en las fábricas de papel que después adquirió la West Virginia Pulp & Paper Company. Después se formó una empresa semejante en Barberton, Ohio, que funcionó durante una década con el nombre de National Whiting Company.

El interés por la producción de un material comparable a la creta precipitada, llevó, hacia el año de 1913 a la instalación de una pequeña fábrica en Luke, Md., en la cual se produjo una calidad ligera de material usando gases de los hornos de cal para carbonatar la lechada de cal; el producto era inferior a la calidad U.S.P. porque la materia prima era inferior. La fábrica de Luke dejó de trabajar después de que se estableció la producción del material de calidad U.S.P. en Covington, Va., hacia el año de 1928. Otras empresas entraron también en este campo, produciendo la calidad U.S.P., entre ellas la New England Lime Company, La Ste Genevieve Lime Company, La Ste Genevieve Mo.

La Diamond Alkali Company se ha dedicado al tipo de subproducto, al mismo tiempo que al producto partiendo de soluciones reaccionantes, y obtiene una serie de productos específicos para ciertas aplicaciones, entre ellas pinturas, caucho y productos farmacéuticos.

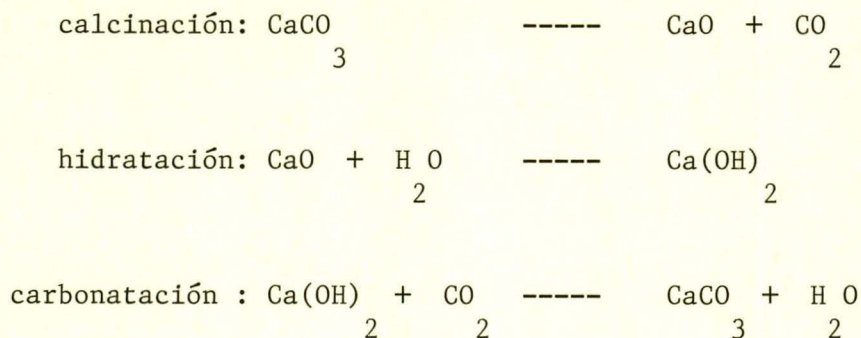
La Wyandotte Chemical Corporation fabrica también una calidad aceptable para su uso en productos alimenticios y como medicamento. Esta empresa se ha especializado en la producción en gran escala y en la adaptación del carbonato precipitado para revestir el papel. Desde 1930, aproximadamente, se han instalado plantas para la fabricación de carbono anexas a las fábricas de papel.

3) METODO DE FABRICACION DEL CARBONATO DE CALCIO PRECIPITADO (17)

El carbonato de calcio precipitado se obtiene en los Estados Unidos por el proceso de carbonatación. Este es el proceso comercial más simple y más directo, utilizando materiales de fabricación fácilmente disponibles y baratos.

El carbonato de calcio se calcina en un horno para obtener dióxido de carbono y óxido de calcio. Estos productos se purifican separadamente antes de recombinarse. El óxido de calcio se mezcla con agua para producir hidróxido de calcio. Cuando el hidróxido de calcio es el que se usa, se agrega agua para producir leche de cal un poco más oscura. El dióxido de carbono empleado y purificado y el gas que se carga al horno se burbujan a través de la leche de cal en un reactor conocido como carbonatador. La gasificación continúa hasta que todo el hidróxido de calcio ha sido convertido a carbonato. El punto final puede ser monitoreado por pH o por medidas químicas.

Las reacciones involucradas en este método de producción son las siguientes:



Las condiciones de reacción determinan el tipo de cristal, el tamaño de partícula y la distribución del tamaño producida. Las variables del proceso incluyen temperatura inicial, temperatura durante la carbonatación, grado de mezclado, pH, concentración de reactivos y la presencia o ausencia de aditivos químicos.

Siguiendo la carbonatación, el producto puede ser mayormente purificado mediante el tamizado de las impurezas de la lechada de cal que permanece como partículas gruesas en comparación a las de tamaño micrométrico del carbonato de calcio precipitado. Este tamizado es también para controlar el tamaño máximo del producto.

Los filtros de presión o centrífugos son utilizados en la remoción mecánica del agua. El lavado de la torta del filtro es innecesaria dado que el agua es el único producto secundario de carbonatación.

El secado final es llevado a cabo ya sea en secadores rotatorios, de tunel, por asperción o instantáneos. Este producto seco es usualmente desintegrado en un micropulverizador.

El material es llevado a grandes bodegas para cargas a granel, o para empaquetarlo en cajas.

El carbonato de calcio seco, es embarcado normalmente a granel o en cajas de 22.7 Kg. bien cubiertas.

C) ANALISIS. (I9)

1) ANALISIS QUIMICO

El análisis cuantitativo de todas las variedades, se hace por los métodos corrientes. La existencia del dióxido de silicio, óxido férrico, óxido de aluminio III y carbonato de magnesio en la corteza terrestre, nos obliga al análisis de ellos, para tener idea exacta de la pureza de la caliza.

2) ANALISIS FISICO

De importancia más práctica son los establecidos por los fabricantes para distinguir sus calidades. El fin perseguido es obtener un índice de lo que se expresa generalmente como densidad, ligereza y capacidad de absorción. Esas cualidades, reveladas por los resultados de las pruebas, guardan relación con una aproximación bastante aceptable cuando se aplican a una serie de calidades obtenidas por un método de fabricación dado.

No puede esperarse una concordancia exacta, ya que los métodos normalizados se basan en condiciones elegidas más o menos arbitrariamente, con la mira de la rapidez de la determinación por procedimientos muy sencillos. Los métodos usuales de ensayo son tres.

Dos de ellos se relacionan con el volumen ocupado por un peso dado de la sustancia seca y en suspensión en agua, respectivamente y el tercero con la cantidad de agua necesaria para mojar el producto transformándolo en pasta.

El primero es el método de densidad aparente o de la densidad de caída y consiste en someter 40 gr. de polvo tamizado en una probeta graduada de 250 ml. a la compresión por su propio peso y en condiciones normales durante un tiempo fijo. Las condiciones se eligen para llenar los huecos grandes entre los copos, pero sin destruir los agregados característicos de partículas. La densidad aparente puede expresarse en libras por pie cúbico o en gramos por litro.

En la segunda prueba de sedimentación o de asentamiento, se agita una cantidad pesada de material, por lo general 10 gr. con agua destilada en una probeta graduada para hacer volumen fijo, 100 ml. o 250 ml. de suspensión. Se deja la probeta en reposo un tiempo determinado y se ve el volumen que ocupa el material sedimentado. Bastan dos horas para que el resultado sea significativo, y éste se expresa en volumen sedimentado en centímetros cúbicos por 10 gr.

La tercera se llama prueba de deslizamiento o de absorción y determina el volumen de agua destilada que se necesita para mojar un peso dado de material (15 gr. es una cantidad apropiada) hasta formar una pasta uniforme que corra por su propio peso. El agua se añade en pequeñas cantidades agitando vigorosamente después de cada adición. El volumen mínimo de agua necesario, en mililitros, para que su mezcla corra por un tubo invertido, se llama valor de desli-

zamiento o valor de absorción del carbonato.

D) NORMAS Y ESPECIFICACIONES. (I10)

El carbonato de calcio precipitado es un polvo blanco, cuya densidad y finura son variables, según la calidad. Puede ser flocculento o correr con relativa facilidad. No se debe percibir un color amarillo o gris. No debe producir sensación de arenilla entre los dientes ni tener sabor alguno. Es insoluble en agua y tiene rápida efervescencia cuando se añade ácido a su superficie.

En cuanto a las variedades de calcita (variedad romboédrica) y aragonita (variedad ortorrómbica), controlando las condiciones de temperatura, rapidez de precipitación y la concentración de los reactivos, pueden prepararse productos en que predomine una u otra forma. Las formas ligeras contienen más aragonita que las más densas las cuales contienen más calcita. Las calidades comerciales son mezclas intermedias.

En la distribución de tamaños de las partículas hay una amplitud considerable. Para las calidades usuales de material precipitado sin tratar, los tamaños varían entre 0.15 - 15 micras. En las calidades más ligeras preponderan los tamaños más ligeros y las partículas forman agregados estables. En las calidades más pesadas contienen mucho menos partículas pequeñas, las proporciones de tamaños son más aproximadamente iguales y hay poca aglomeración en terrones. En general esto explica la variación de la densidad de

las calidades.

Los requisitos según la U.S.P. son los siguientes: proporción de CaCO_3 , no menor de 98 %; pérdida de peso secado a 200 grados centígrados durante cuatro horas, no mayor de 2 %; sustancias insolubles en ácidos partiendo de 5 gramos, no más de 10 miligramos; bario, por la prueba de la llama, ninguna coloración verde; metales pesados, no más de treinta partes por millón; sales de magnesio y alcalinas en 0.5 gramos, no más de 5 miligramos.

Cualquiera que sea su composición, todos los productos se clasifican según su densidad aparente. Los nombres dados a las calidades pueden ser descriptivos como superligero, ligero, semiligero, semipesado, pesado y superpesado. Algunos productos distinguen las calidades por números que guardan relación con los valores respectivos obtenidos con el uso de algún ensayo sencillo.

El material se envasa en sacos de papel Kraft de cuatro capas, que contienen 40-75 Lb., según la calidad de que se trate. Para la exportación se usan sacos arksafe; estos son de papel laminado de tres capas con cubierta crepé de papel Kraft.

E) ASPECTOS ECONOMICOS

En general la estructura del precio del carbonato de calcio precipitado está en relación con el tamaño de partícula; los grados ultrafinos son más caros que los gruesos.

Y en cuanto a su producción: (III) El óxido de calcio es un producto químico básico obtenido directamente a partir del CaCO_3 .

TABLA A

Producción e importancia del CaO

LUGAR DE IMPORTANCIA SEGUN PRODUCCION	P R O D U C C I O N		PROMEDIO DE CAMBIO EN PRODUCCION	
	1974	1973	1973-1974	1972-1973
2º	20,376 Mt	19,882 Mt	2.5 %	3.2 %
2º	18,135 Mt	20,376 Mt	2.5 %	1.2 %
4º	17,969 Mt	17,680 Mt	1.6 %	-8.8 %

MATERIALES Y METODOS

A) PREPARACION DE LOS REACTIVOS

1) DIOXIDO DE SILICIO

Los reactivos necesarios para determinar SiO_2 , se realizaron por los métodos estándares según el A.S.T.M. (M1)

a) Acido Clorhídrico (HCl) (1:99)

Mezclar por cada un volumen de HCl concentrado, 99 volúmenes de agua destilada.

b) HCl (1:1)

Mezclar volúmenes iguales de HCl concentrado y de agua destilada.

2) OXIDO DE ALUMINIO III Y OXIDO DE FIERRO III

Los reactivos necesarios para determinar tanto el Al_2O_3 como el Fe_2O_3 , se realizaron por los métodos estándares según el A.S.T.M. (M2)

a) 4,4 dimetilaminoazobenceno-2 ácido carboxílico (M3) (1)

Se pesan 2 gr. de 4,4 dimetilaminoazobenceno-2 ácido carboxílico, se disuelve en un poco de alcohol etílico al 95 % y se afora a 1000 ml. con alcohol etílico al 95 %.

b) Hidróxido de amonio (NH_4OH) libre de CO_2 (1:1)

Se pone a hervir el agua destilada en un vaso de precipitados por una hora, luego se retira el vaso de la fuente de calentamiento, se tapa con un vidrio de reloj y se deja enfriar. Luego se mezclan volúmenes iguales del agua preparada y de NH_4OH concentrado y se guardan en un frasco tapado.

(1) Rojo de metilo

c) Nitrato de amonio (NH_4NO_3) 20 gr./lt.

Se pesan 20 gr. de NH_4NO_3 y se disuelven en la mínima cantidad de agua, esta solución se afora luego a 1000 ml. y se calienta al momento de usarse.

d) HCl (1:2)

Mezclar por cada un volumen de HCl concentrado, dos volúmenes de agua destilada.

3) OXIDO DE CALCIO (METODO GRAVIMETRICO)

Los reactivos necesarios para determinar el CaO por el método gravimétrico, se realizaron por los métodos estándares según el A.S.T.M. (M4)

a) Agua de bromo

Se satura el volumen necesario de agua con bromo.

b) 4,4 dimetilaminoazobenceno-2 ácido carboxílico. (1)

Se pesan 2 gr. de 4,4 dimetilaminoazobenceno-2 ácido carboxílico,

(1) Rojo de metilo

se disuelven en un poco de alcohol etílico al 95 % y se afora a 1000 ml. con alcohol etílico al 95 %.

c) Oxalato De Amonio ((NH₄)₂C₂O₄) 50 gr./lt.

Se pesan 50 gr. de (NH₄)₂C₂O₄ y se disuelven en la mínima cantidad de agua posible, y esta solución se afora a 1000 ml.

d) HCl (1:4).

Mezclar por cada volumen de HCl concentrado, cuatro volúmenes de agua destilada. Calentar en el momento de usarse.

e) (NH₄)₂C₂O₄ 1 gr./lt.

Se pesa un gramo de (NH₄)₂C₂O₄ y se disuelve en la mínima cantidad de agua, esta solución se afora a 1000 ml.

4) OXIDO DE CALCIO (METODO VOLUMETRICO).

Los reactivos necesarios para determinar el CaO por el método volumétrico, se realizaron según el libro de Ayres. (M5)

a) HCl 1M.

Medir 22.52 ml. de HCl concentrado y aforar a 1000 ml.

b) Solución buffer de pH. 10.

Se pesan 6.8 gr. de NH_4Cl , se disuelven en 20 ml. de agua destilada, se le añade 57 ml. de NH_4OH concentrado y se lleva todo a 100 ml. de agua.

c) 3-hidroxi-4-((1-hidroxi-2-naftil)azo)-7-nitro-1-naftasulfonato de sodio. (1)

Pesar 0.5 gr. de 1-hidroxi-2-naftil y 100 gr. de NaCl y mezclarlos.

d) Etilendiamíntetracetato de sodio. (2)

Se pesan 37.224 gr. de etilendiamíntetracetato de sodio y se disuelven en la mínima cantidad de agua posible y esta solución se afora a 1000 ml.

(1) Ericromo negro T

(2) E.D.T.A. Sódico

e) Etilendiamintetracetato de sodio. (1)

Se pesan 18.612 gr. de etilendiamintetracetato de sodio y se disuelven en la mínima cantidad de agua posible y esta solución se afora a 1000 ml.

5) OXIDO DE MAGNESIO

Los reactivos necesarios para determinar el MgO, se realizaron por los métodos estándares según el A.S.T.M. (M6)

a) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 250 gr./lt.

Se pesan 250 gr. de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y se disuelven en la mínima cantidad de agua, esta solución se afora a 1000 ml.

b) NH_4NO_3 .

Disolver 100 gr. de NH_4NO_3 en agua, añadirle 200 ml. de NH_4OH concentrado, diluir a 1000 ml.

c) HCl (1-4).

Mezclar por cada un volumen de HCl concentrado, cuatro volúmenes de agua destilada.

(1) E.D.T.A. Sódico

B) METODOS ANALITICOS

1) DIOXIDO DE SILICIO. (M1)

Moler 0.5 gr. de muestra en un mortero, y ponerlos en una cápsula de porcelana, agregarle 10 ml. de agua fría y agitar, luego se le añaden 10 ml. de HCl concentrado y se digiere la muestra con ayuda de calentamiento. Ya disuelta toda la muestra, se evapora la solución a sequedad en baño de vapor, quedando un sólido blanco con apariencia esponjosa. Luego al residuo se le añaden 10 ml. de HCl concentrado y el sólido se disuelve un poco, luego se añaden 10 ml de agua, se cubre el plato con un vidrio de reloj y se pone en baño de vapor por diez minutos, con eso se disolvió el sólido un poco más, luego se diluye la mezcla con 20 ml. de agua destilada y se filtra en papel filtro de poro medio. El sólido obtenido se lava con HCL caliente (1:99), y luego con agua caliente y se reserva el residuo negro. Evaporar de nuevo el filtrado a sequedad, y el residuo blanco se lleva a la estufa por una hora a 105-110 grados centígrados, se le añaden 15 ml. de HCl y 15 ml. de H₂O luego se filtra el sólido en papel filtro de poro medio, y se lava con HCl (1:99) caliente, y luego con agua caliente. El filtrado y lavados se reservan para la determinación de Al₂O₃ y Fe₂O₃, y el residuo sólido negro junto con el obtenido anteriormente se ponen en un crisol tarado y se llevan a peso constante a 900 grados centígrados en una mufla.

2) OXIDO DE ALUMINIO III Y OXIDO DE FIERRO III. (M2)

El filtrado y lavados reservados en la determinación anterior, se diluyen a 200 ml. con agua destilada y se le añaden 15 ml. de HCl concentrado y dos gotas de rojo de metilo, con esto la solución se pone roja. Luego se calienta la solución a ebullición, y luego se le pone el hidróxido de amonio (1:1) libre de CO₂ hasta que la solución pasa de rojo a amarillo. Luego se calienta la solución en baño de vapor por diez minutos y se filtra, el sólido blanco luego se lava de dos a cuatro veces con nitrato de amonio caliente 20 gr./lt. A la solución que se obtiene se le añade dos gotas de rojo de metilo y luego hidróxido de amonio libre de CO₂ (1:1) hasta que el color de la solución pasa de rojo a amarillo, esto en cuanto al líquido, en cuanto al sólido que se filtró, se disuelve en HCl (1:2) y se diluye la solución a 100 ml., se le añaden 15 ml. de HCl concentrado y dos gotas de rojo de metilo. Se calienta luego la solución a ebullición y se le añade hidróxido de amonio (1:1) libre de CO₂ hasta que la solución pasa de rojo a amarillo y aparece así un sólido blanco. Luego se digiere el sólido y la solución en baño de vapor por diez minutos y se filtra la mezcla. Se lava el sólido de dos a cuatro veces con nitrato de amonio (20 gr./lt.). Se combinan los filtrados y lavados obtenidos para la determinación de CaO y en cuanto a los residuos obtenidos se ponen en un crisol tarado y se llevan a peso constante en una mufla a 900 grados centígrados.

3) OXIDO DE CALCIO (METODO GRAVIMETRICO). (M4)

Se acidifican los filtrados y lavados obtenidos en la determinación anterior con HCl concentrado. Luego se evapora la solución a 100 ml., y se le añaden cuarenta mililitros de agua de bromo, con lo que la solución toma un color anaranjado, entonces se añade hidróxido de amonio hasta hacer la solución alcalina, se pone a ebullición la solución por cinco minutos, se deja precipitar la solución, dejándola en reposo por una hora, y como no apareció ningún sólido, entonces se acidifica el filtrado con HCl concentrado. Luego se ebulle la solución hasta que se haya desprendido todo el bromo. Entonces se le añaden a la solución 5 ml. de HCl concentrado y se diluye luego a 200 ml. con agua destilada, luego se añade un poco de rojo de metilo, y con esto la solución se puso roja, entonces se añaden 30 ml. de oxalato de amonio 50 gr./lt., luego se calienta la solución a 70-80 grados centígrados y se le añade a la solución hidróxido de amonio (1:1) hasta que la solución pase de rojo a amarillo, ya amarilla la solución, se calienta una hora a 70 grados centígrados, con agitación ocasional los primeros treinta minutos, entonces se filtra el sólido y se lava con oxalato de amonio 1 gr./lt., y se reservan el filtrado y lavados.

La filtración se hace en Gooch, por el tamaño de partícula del CaO. Se disuelve el sólido en 50 ml. de HCl caliente (1:4), y se diluye la solución a 200 ml., se añade un poco de rojo de metilo y la solución pasa a color rojo y se añaden 20 ml. de oxalato de

amonio 50 gr./lt. caliente, se calienta cerca del punto de ebullición la solución y se neutraliza con hidróxido de amonio (1:1) con lo cual la solución se pone amarilla, se deja reposar por dos horas y se filtra en el Gooch anterior. Se lava el sólido con oxalato de amonio 1 gr./lt. Se combinan el filtrado y lavados con los obtenidos anteriormente y se reservan para la determinación de magnesio a la forma de MgO. En cuanto al sólido blanco, se lleva a peso constante en el crisol de Gooch previamente tarado a 900 grados centígrados.

4) OXIDO DE CALCIO (METODO VOLUMETRICO). (M7)

Se pesan 0.2 gr. de muestra que esté bien molida en un mortero, luego se disuelve en HCl 1M. A la solución ya acidificada, se le añaden dos mililitros de solución buffer de pH 10 y se afora la solución a 100 ml. Entonces se toman 25 ml. de la solución se le añade un poco de ericromo negro T, y se titula la solución resultante con ácido etilendiamintetracético 0.2 N o con el ácido 0.1 N, hasta que se observe un cambio de color en la solución de rosa a azul violeta.

5) OXIDO DE MAGNESIO. (M6)

Se acidifican los filtrados y lavados que se obtuvieron en la determinación anterior con HCl concentrado y se concentra la solución

a 250 ml. A la solución ácida anterior se le añaden 10 ml. de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 250 gr./lt. y se enfría la solución a la temperatura del cuarto. Ya fría la solución, se le añade hidróxido de amonio hasta ver la formación de un sólido blanco, y se deja la solución en reposo ocho horas en el refrigerador. Se filtra luego la mezcla y se lava el sólido con solución de nitrato de amonio.

Ya obtenido el sólido, se disuelve el HCl (1:4) y se diluye la solución a 100 ml., entonces se añade un mililitro de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 250 gr./lt., y se enfría la solución a la temperatura del cuarto, ya fría la solución, se le añade gota a gota hidróxido de amonio con agitación constante, hasta la formación de un sólido blanco, entonces se enfría la solución y se deja reposar por dos horas, se filtra el sólido y se lava con dos porciones de 10 ml. de nitrato de amonio. En un crisol tarado se lleva el sólido a peso constante a 900 grados centígrados en una mufla.

6) CARBONATOS (PERDIDA DE PESO POR CALCINACION). (M8)

Se lleva un crisol a peso constante en la estufa a 100 grados centígrados, luego se le añaden al crisol 2 gr. de muestra bien moli- da en un mortero, y se lleva también a peso constante en la estufa a 100 grados centígrados. Ya tarado el crisol, se lleva a peso constante en la mufla a 900 grados centígrados.

7) CARBONATOS (METODO DE ALCALIMETRO). (M9)

Se pesan alrededor de 2.5 gr. de muestra molida (en un mortero), y con la ayuda de una bureta se le añade HCl concentrado poco a poco hasta que la mezcla de la muestra y ácido ya no forma tantas burbujas.

C) FLUORESCENCIA DE RAYOS X

El fenómeno de fluorescencia consiste en la absorción de un fotón de alta energía y la reemisión en un tiempo de 10^8 a 10^5 segundos, después, de un fotón de menor energía. Esta emisión está regulada por el modelo de Bose-Einstein por lo que es posible correlacionar los fotones y las energías correspondientes con los elementos, como lo muestran las tablas I y I-bis.

£ - Exponenciación

TABLA I

Longitud de onda de los rayos X (en A's)

CALCIO	SILICIO	FIERRO	ALUMINIO	MAGNESIO
A	A	A	A	A
3.361	7.127	1.939	8.341	9.890
3.358	7.125	1.936	8.339	9.521
3.089	6.753	1.756	7.960	251.500
3.074	135.500	1.744	171.400	317.000
40.460	-	15.650	290.000	-
35.940	-	19.750	-	-
40.960	-	17.260	-	-
36.330	-	20.150	-	-

TABLA I (Continuación)

Longitud de onda de los rayos X (en A's)

CALCIO	SILICIO	FIERRO	ALUMINIO	MAGNESIO
A	A	A	A	A
5.25	-	17.59	-	-
-	-	243.00	-	-

TABLA I-bis

Longitud de onda de los rayos X (en KeV's)

CALCIO	SILICIO	FIERRO	ALUMINIO	MAGNESIO
KeV	KeV	KeV	KeV	KeV
3.688	1.739	6.391	1.486	1.254
3.691	1.740	6.403	1.557	1.302
4.013	1.836	7.057	0.072	0.049
4.032	0.092	7.108	0.043	0.037
0.306	-	0.792	-	-
0.344	-	0.628	-	-
0.302	-	0.718	-	-
0.341	-	0.615	-	-

TABLA I-bis (Continuación)

Longitud de onda de los rayos X (en KeV's)

CALCIO	SILICIO	FIERRO	ALUMINIO	MAGNESIO
KeV	KeV	KeV	KeV	KeV
0.023	-	0.715	-	-
-	-	0.051	-	-

La relación de concentración puede seguir la ley de Beer (M11).

$$P/P_0 = e^{-\epsilon C b}$$

$$1 - P/P_0 = (1 - e^{-\epsilon C b})$$

$$P_0 - P = P_0 (1 - e^{-\epsilon C b})$$

Modificado para la intensidad total de fluorescencia, de la siguiente forma:

$$F = (P_0 - P) \phi$$

donde ϕ es la eficiencia cuántica de fluorescencia, quedando:

$$F = \phi P_0 (1 - e^{-\epsilon C b})$$

si hacemos soluciones diluídas donde el término $\epsilon C b$ sea menor a 0.05, la expresión anterior se reduce a:

$$F = K \phi P_0 \epsilon C b.$$

Las líneas de emisión se muestran en la tabla II. (M12)

ϵ - Exponenciación

TABLA II

Emisión por capas (en KeV's)

	CALCIO	SILICIO	FIERRO	ALUMINIO	MAGNESIO
K	4038.1	7112.0	1559.6	1838.9	1305.0
LI	437.8	846.1	117.7	148.7	89.4
LII	350.0	721.1	73.1	99.2	51.4
LIII	346.4	708.1	-	-	-
MI	43.7	92.9	-	-	-
MII, III	25.4	54.0	-	-	-
MIV, V	-	3.6	-	-	-

Es posible detectar por rangos de energía, las emisiones fluorescentes de los diferentes elementos.

RESULTADOS

Los resultados de los análisis se encuentran resumidos en las tablas de la 1 a la 14. El trabajo preliminar de análisis, del cual los resultados preliminares obtenidos están en las tablas 1 a la 5 los cuales se refieren a dióxido de silicio, óxido de aluminio III y óxido de fierro III, óxido de calcio, óxido de magnesio y carbonatos, con tal fin se procedió a realizar un chequeo para tener así una mayor consistencia en los resultados, y por la gran dispersión observada en los resultados referentes a óxido de calcio y carbonatos, se procedió a determinar calcio volumétricamente, titulado con E.D.T.A. sódico, y carbonatos por el método del alcalímetro.

Se concluyó que los análisis no estaban bien, pues no se obtuvieron buenos resultados estadísticos, como lo muestra la tabla 15, pues considerando un CaCO_3 puro: 56 % de CaO y 44 % de CO_2 : resultados teóricos, contra los resultados experimentales: 51.99 % de CaO y 30 % de CO_2 , se ve claramente mucha diferencia. Aparte, se obtuvieron desviaciones estándares, con respecto a los resultados obtenidos, de 5 para el CaO y de 14 para el CO_2 . Esto se debe a un error sistemático, por lo cual se necesita más reproducibilidad en los resultados, para lo cual se decidió hacer los resultados por otros métodos. El usado para determinar calcio, fue volumétricamente titulado con E.D.T.A. sódico con el cual primero se realizaron los análisis usando E.D.T.A. 0.2 N y los resultados mejoraron, pero no tanto, por lo que se decidió reducir la concentración a 0.1 N. del E.D.T.A. para reducir la fuerza iónica del medio, con lo cual los resultados mejoraron mucho.

Y para carbonatos, se usó el método de alcalímetro, en el cual, también los resultados ya fueron buenos.

Ya en la segunda muestra, que abarca de la tabla 9 a la 14, se procedió a completar los análisis por los métodos ya estandarizados. Por último se pusieron en las tablas 15 y 16 los resultados estadísticos de los análisis. La tabla 8 muestra los resultados que se obtuvieron para estos análisis en un laboratorio de la industria química, que usa otros medios. Estos resultados nos sirvieron para poder evaluar los resultados que se habían obtenido.

TABLA 1

% en peso de SiO₂ en los seis análisis de la primera muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

1a. MUESTRA	0.200 %
2a. MUESTRA	0.200 %
3a. MUESTRA	0.224 %
4a. MUESTRA	0.180 %
5a. MUESTRA	0.200 %
6a. MUESTRA	0.280 %

TABLA 2

% en peso de Al₂O₃ y Fe₂O₃ en los seis análisis de la primera muestra gravimétricamente según A.S.T.M.

1a. MUESTRA	0.220 %
2a. MUESTRA	0.100 %
3a. MUESTRA	0.120 %
4a. MUESTRA	0.194 %
5a. MUESTRA	0.180 %
6a. MUESTRA	0.150 %

TABLA 3

% en peso de CaO en los seis análisis de la primera muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

1a. MUESTRA	52.00 %
2a. MUESTRA	42.38 %
3a. MUESTRA	54.00 %
4a. MUESTRA	55.20 %
5a. MUESTRA	56.34 %
6a. MUESTRA	52.03 %

TABLA 4

% en peso de MgO en los seis análisis de la primera muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

1a. MUESTRA	1.65 %
2a. MUESTRA	1.32 %
3a. MUESTRA	1.21 %
4a. MUESTRA	1.35 %
5a. MUESTRA	1.46 %
6a. MUESTRA	1.59 %

TABLA 5

% en peso de CO₃ en los seis análisis de la primera muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

1a. MUESTRA	58.580 %
2a. MUESTRA	20.000 %
3a. MUESTRA	33.260 %
4a. MUESTRA	54.070 %
5a. MUESTRA	58.290 %
6a. MUESTRA	77.512 %

TABLA 6

% en peso de CaO en los veinte análisis de la muestra por medio de volumetría con E.D.T.A.

1a. MUESTRA	70.00 %
2a. MUESTRA	50.68 %
3a. MUESTRA	53.76 %
4a. MUESTRA	60.48 %
5a. MUESTRA	53.76 %
6a. MUESTRA	54.88 %
7a. MUESTRA	56.00 %
8a. MUESTRA	53.76 %
9a. MUESTRA	54.88 %
10a. MUESTRA	54.88 %

TABLA 6 (Continuación)

% en peso de CaO en los veinte análisis de la muestra por medio de volumetría con E.D.T.A.

11a. MUESTRA	54.88 %
12a. MUESTRA	54.88 %
13a. MUESTRA	54.88 %
14a. MUESTRA	54.88 %
15a. MUESTRA	54.88 %
16a. MUESTRA	54.88 %
17a. MUESTRA	54.88 %
18a. MUESTRA	54.88 %
19a. MUESTRA	54.88 %
20a. MUESTRA	54.88 %

TABLA 7

% en peso de CO₃ en los veinte análisis de la muestra
por medio del método del alcalímetro

1a. MUESTRA	62.12 %
2a. MUESTRA	64.35 %
3a. MUESTRA	60.25 %
4a. MUESTRA	65.00 %
5a. MUESTRA	67.00 %
6a. MUESTRA	53.00 %
7a. MUESTRA	61.39 %
8a. MUESTRA	60.50 %
9a. MUESTRA	70.00 %
10a. MUESTRA	59.67 %

TABLA 7 (Continuación)

% en peso de CO₃ en los veinte análisis de la muestra
por medio del método del alcalímetro

11a. MUESTRA	48.85 %
12a. MUESTRA	65.00 %
13a. MUESTRA	60.00 %
14a. MUESTRA	70.00 %
15a. MUESTRA	63.00 %
16a. MUESTRA	63.00 %
17a. MUESTRA	60.00 %
18a. MUESTRA	62.00 %
19a. MUESTRA	70.00 %
20a. MUESTRA	70.00 %

TABLA 8

% en peso de los resultados obtenidos en industria conocida

CaO	54.430 %
CO ₂	43.000 %
SiO ₂	0.600 %
Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃	0.160 %
MgO	0.374 %

TABLA 9

% en peso de SiO₂ en los cinco análisis de la segunda muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

7a. MUESTRA	0 %
8a. MUESTRA	0 %
9a. MUESTRA	0 %
10a. MUESTRA	0 %
11a. MUESTRA	0 %

TABLA 10

% en peso de Fe₂O₃ y Al₂O₃ en los cinco análisis de la segunda muestra gravimétricamente según A.S.T.M.

7a. MUESTRA	0.970 %
8a. MUESTRA	1.100 %
9a. MUESTRA	1.030 %
10a. MUESTRA	0.990 %
11a. MUESTRA	0.963 %

TABLA 11

% en peso de CaO en los veinte análisis de la segunda muestra
volumétricamente con E.D.T.A. 0.2 N

21a. MUESTRA	56 %
22a. MUESTRA	56 %
23a. MUESTRA	56 %
24a. MUESTRA	56 %
25a. MUESTRA	56 %
26a. MUESTRA	56 %
27a. MUESTRA	56 %
28a. MUESTRA	56 %
29a. MUESTRA	56 %
30a. MUESTRA	56 %

TABLA 11 (Continuación)

% en peso de CaO en los veinte análisis de la segunda muestra
volumétricamente con E.D.T.A. 0.2 N

31a. MUESTRA	56 %
32a. MUESTRA	56 %
33a. MUESTRA	56 %
34a. MUESTRA	56 %
35a. MUESTRA	56 %
36a. MUESTRA	56 %
37a. MUESTRA	56 %
38a. MUESTRA	56 %
39a. MUESTRA	56 %
40a. MUESTRA	56 %

TABLA 12

% en peso de CaO en diez análisis de la segunda muestra
volumétricamente con E.D.T.A. 0.1 N

47a. MUESTRA	53.76 %
48a. MUESTRA	53.76 %
49a. MUESTRA	53.76 %
50a. MUESTRA	54.32 %
51a. MUESTRA	53.76 %
52a. MUESTRA	53.76 %
53a. MUESTRA	53.76 %
54a. MUESTRA	53.76 %
55a. MUESTRA	54.32 %
56a. MUESTRA	53.76 %

TABLA 13

% en peso de MgO en cinco análisis de la primera muestra
gravimétricamente según A.S.T.M.

7a. MUESTRA	0.94 %
8a. MUESTRA	0.96 %
9a. MUESTRA	0.93 %
10a. MUESTRA	0.95 %
11a. MUESTRA	0.95 %

TABLA 14

% en peso de CO3 en los veinte análisis de la segunda muestra

1a. MUESTRA	59.790 %
2a. MUESTRA	59.720 %
3a. MUESTRA	63.000 %
4a. MUESTRA	59.540 %
5a. MUESTRA	58.000 %
6a. MUESTRA	58.896 %
7a. MUESTRA	45.000 %
8a. MUESTRA	45.540 %
9a. MUESTRA	57.670 %
10a. MUESTRA	57.370 %

TABLA 14 (Continuación)

% en peso de CO₃ en los veinte análisis de la segunda muestra

11a. MUESTRA	58.27 %
12a. MUESTRA	58.00 %
13a. MUESTRA	60.00 %
14a. MUESTRA	57.86 %
15a. MUESTRA	58.90 %
16a. MUESTRA	60.00 %
17a. MUESTRA	60.00 %
18a. MUESTRA	59.77 %
19a. MUESTRA	59.20 %
20a. MUESTRA	59.98 %

TABLA 15

\bar{X} y S para cada una de las determinaciones de la primera muestra

Compuesto	\bar{X}	S
CaO (1)	51.9900	5.0120
CaO (2)	54.0000	1.0600
CO ₂ (3)	36.0000	14.0000
CO ₂ (4)	45.2000	4.0000
SiO ₂	0.2140	0.1182
Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃	0.1617	4.1700
MgO	2.2170	0.5200

- NOTAS:
- (1) el análisis se hizo gravimétricamente
 - (2) el análisis se hizo volumétricamente
 - (3) el análisis se hizo por la técnica de la pérdida por calcinación en peso.
 - (4) el análisis se hizo por el método del alcalímetro

TABLA 16

\bar{X} y S para cada una de las determinaciones de la segunda muestra

Compuesto	\bar{X}	S
CaO (0,2N)	56.000	0.00
CaO (0,1N)	54.000	0.22
CO2	43.000	0.77
SiO2	0.000	0.00
Fe2O3 y Al2O3	1.012	4.00
MgO	0.940	1.00

CONCLUSIONES

En la determinación de calcio, de la primera muestra, por el método gravimétrico, no se obtuvieron buenos resultados, ya que al calcinar el oxalato de calcio (en la mufla) a 900 grados centígrado, no se taparon los crisoles al sacarlos de la mufla y el óxido de calcio con el dióxido de carbono del medio se transformaba en carbonato de calcio, variando el peso del producto. Entonces se decidió hacer los análisis volumétricamente titulando con E.D.T.A. sódico 0.2 N, con el cual se obtuvo una desviación estandar pequeña y el resultado promedio no es correcto. Luego se decidió comprobar con E.D.T.A. 0.1 N, con lo que el promedio sí fue correcto, y por lo tanto el resultado de 0.1 N se considera más exacto.

Esto se debió a que se redujo la fuerza iónica del medio y las actividades se aproximan más a las concentraciones reales. (Cl)

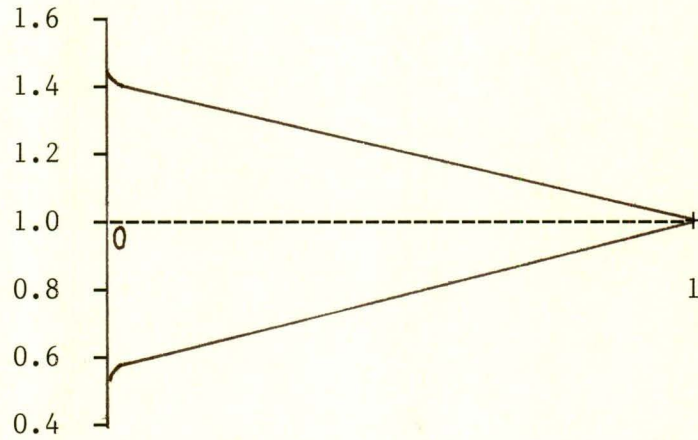


FIGURA No. 1

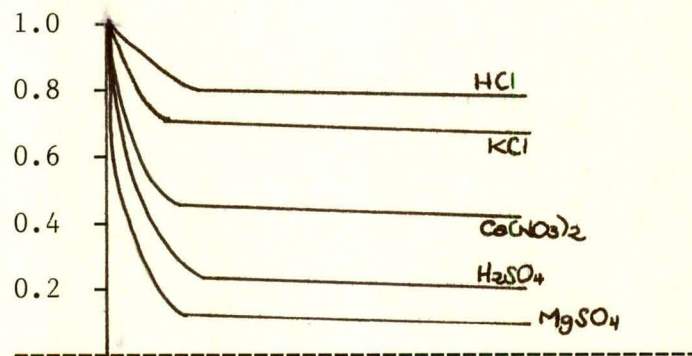


FIGURA No. 2

La figura No. 1 muestra claramente la relación entre el coeficiente de actividad y la fracción molar, y se deduce que entre más aumenta la concentración existe más variación del coeficiente de actividad. En la figura No. 2 se observa que entre más grande sea la carga de los iones producidos por los electrolitos, mayor es la desviación de la actividad con respecto a la concentración.

La sal de E.D.T.A. con sodio o con calcio puede presentar un comportamiento similar al del $MgSO_4$ según la teoría de Debye-Hueckel.

Los métodos de análisis no serían apropiados para un laboratorio de una corporación donde se necesiten realizar una gran cantidad de resultados, pues son métodos baratos en material pero costosos en tiempo y eficiencia para generar la información requerida de los análisis; pero sí son adecuados para una compañía que va a empezar a tecnificarse, ya que se obtienen resultados consistentes. En la determinación de carbonatos, de la primera muestra, por el método de pérdida de peso por calcinación, no se obtuvieron buenos resultados, ya que era muy difícil mantener la mufla todas las veces que se metía el crisol para ponerlo a peso constante a una misma temperatura, y aparte, al calcinar el carbonato de calcio, no se tapaba el crisol, con lo cual, al calcinarse, tomaba dióxido de carbono y se transformaba en carbonato de calcio, con lo que el peso no es el mismo. Entonces se decidió hacer los análisis de carbonato por el método del alcalímetro, el cual es mucho más rápido y se obtienen mucho mejores resultados.

RESUMEN

Se hicieron todos los análisis, primero que todo gravimétricamente, obteniéndose magníficos resultados, excepto en la determinación de calcio a la forma de óxido y en la determinación de carbonatos a la técnica de pérdida de peso por calcinación, por lo tanto se decidió determinar calcio volumétricamente y carbonatos por el método del alcalímetro. Obteniéndose resultados de excelente consistencia estadística.

BIBLIOGRAFIA

- I1.- The Merck Index, 1a. Edición,
Merck & Co Inc., 1983, Pág. 228
- I2.- Lange, N. Handbook of Chemistry, 1a. Edición,
Mc. Graw-Hill, New York, Pág. 163
- I3.- Kirk, Raymond y Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology,
3a. Edición, John Wiley and Sons, EEUU, Tomo # 5, 1978,
Pág. 427
- I4.- Ibid, Pág. 428

- I5.- Kirk, Raymond y Othmer. Encilopedia de Tecnología Química
Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México,
Tomo # 3, 1966, Pág. 473
- I6.- Ibid, Pág. 474
- I7.- Kirk, Raymond y Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology
3a. Edición, John Wiley and Sons, EEUU, Tomo # 5, 1978
Pág. 429
- I8.- Kirk, Raymond y Othmer. Encilopedia de Tecnología Química
Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, México,
Tomo # 3, 1966, Pág. 477
- I9.- Ibid, Pág. 478
- I10.- Ibid, Pág. 476
- I11.- Plant, Albert. Chemical and Engineering News
Division of Public Profesional and International Comunica-
tions, Washington, 1974, 1975, 1981
- M1.- Annual Book of A.S.T.M. Standards
American Society for Testing and Materials, Filadelfia,
1979, Pág. 91

- M2.- Ibid, Pág. 92
- M3.- Ibid, Pág. 90
- M4.- Ibid, Pág. 94
- M5.- Ayres, Gilbert. Análisis Química Cuantitativa, 2a. Edición
HARLA, S.A. de C.V., España, 1978, Pág. 369
- M6.- Annual Book of A.S.T.M. Standards
American Society for Testing and Materials, Filadelfia,
1979, Pág. 95
- M7.- Ayres, Gilbert. Análisis Química Cuantitativa, 2a. Edición
HARLA, S.A. de C.V., España, 1978, Pág. 646
- M8.- Kolthoff, Maurits. Textbook of Quantitative Inorganic
Analisis, 1a. Edición, The Macmillan Company, New York,
1949, Pág. 377
- M9.- Ibid, Pág. 384
- M10.- Weast, Robert. CRC Handbook of Chemistry and Physics
CRC Press, Inc., Cleveland, 1978, Pág. E145

- M11.- Willard, Hobart. Instrumental Methods of Analysis
D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1965, Pág. 376
- M12.- Weast, Robert. CRC Handbook of Chemistry and Physics
CRC Press, Inc., Cleveland, 1978, Pág. E184
- C1.- Castellan, Gilbert. Physical Chemistry, 2a. Edición
Addison-Wesley Publishing Company, EEUU, 1972, Pág. 357

APENDICE

A) Procedimientos de Cálculo.

$$\begin{array}{rcl} & \text{gr. pesados x 100} & \\ \% \text{ SiO}_2 & = \frac{\text{-----}}{\text{gr. de muestra}} & \text{(A2)} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} & \text{gr. pesados x 100} & \\ \% \text{ Fe}_2\text{O}_3 & = \frac{\text{-----}}{\text{gr. de muestra}} & \text{(A2)} \end{array}$$

$$\% \text{ CaO} = \frac{\text{gr. pesados} \times 100}{\text{gr. de muestra}} \quad (\text{gravim\u00e9tricamente}) \quad (\text{A2})$$

$$\% \text{ MgO} = \frac{\text{gr. pesados} \times 100}{\text{gr. de muestra}} \quad (\text{A2})$$

$$\% \text{ CO}_2 = \frac{\text{gr. CO}_2 \times 100}{\text{gr. de muestra}} \quad (\text{m\u00e9todo de p\u00e9rdida de peso por calcinaci\u00f3n}) \quad (\text{A2})$$

(ml E.D.T.A. s\u00f3dico) (N del E.D.T.A.) (P.M. del CaCO₃)

$$\text{gr CaCO}_3 = \frac{\text{-----}}{2000}$$

$$\text{gr CaO} = \frac{\text{gr. CaCO} \times \text{PF CaO}}{\text{PF CaCO}_3}$$

$$\% \text{ CaO} = \frac{\text{gr. CaO} \times 100}{\text{gr. de muestra}} \quad (\text{volum\u00e9tricamente}) \quad (\text{A2})$$

$$\text{gr CO}_2 = \frac{\text{gr. CO}_2 \times 100}{\text{gr. de muestra}} \quad (\text{método alcalímetro}) \quad (\text{A2})$$

gr de CO₂ = Pérdida de peso después de añadido el HCL

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{N}} \quad (\text{A1})$$

$$\bar{X} = \frac{X}{N} \quad (\text{A1})$$

£ - Exponenciación

BIBLIOGRAFIAS APENDICE

A1.- Spiegel, Murray, Estadística

Mc Graw-Hill, México, 1982, Pág. 77

A2.- Ayres, Hilbert, Análisis Químico Cuantitativo

HARLA, S.A. de C.V., España, 1978, Pág. 210

