

Estudios e investigaciones experimentales sobre la fabricación de los termofosfatos fertilizantes y en particular sobre los productos obtenidos con el empleo de materias primas típicas de Chile

COMUNICADO EN LA SESION ACADEMICA DE LA FACULTAD DEL 11 DE DICIEMBRE DE 1952

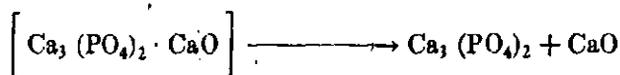
POR EL DR. PROF. ARCEO ANGIOLANI

LOS TERMOFOSFATOS FERTILIZANTES Y SU FABRICACION

La fabricación de los termofosfatos surgió como consecuencia de haberse podido experimentalmente comprobar que las *Escorias Thomas*, que se obtienen como subproducto en la fabricación del acero con el convertidor básico, tenían eficaz acción fertilizante en el cultivo de las plantas. Por esto se emplearon como abonos fosfatados en agricultura; y debido a que su producción, por ser subproducto de una fabricación, quedaba forzosamente limitada e insuficiente en relación con la demanda de los mercados, surgió la idea de ver de obtenerlas directamente utilizando como materias primas los fosfatos minerales naturales.

El constituyente fosfatado más importante de estas *escorias* es el *fosfato tetracálcico* $\left[\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO} \right]$, compuesto de síntesis que se forma durante la elaboración del acero en el convertidor Thomas: pero se puede obtener también por combinación a elevada temperatura (superior a los 1.300°C .) del fosfato tricálcico con el óxido de calcio.

El fosfato tetracálcico se disocia fácilmente a las temperaturas elevadas en sus componentes:



especialmente en presencia de sílice.

Otro componente de las *Escorias Thomas* es el *silico-fosfato de calcio*, combinación del fosfato tetracálcico con el silicato monocálcico de composición correspondiente a la fórmula $\left[\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaO} \right]$. Ambos compuestos fosfatados que se encuentran en las *Escorias Thomas* son insolubles en el agua, pero solubles en las soluciones diluidas de ácido cítrico.

Dichas escorias contienen además el 2-4% de manganeso, cuya presencia en ellas es muy útil para la intensificación de la acción fertilizante de los constituyentes fosfatados, habiéndose comprobado que ese elemento tiene la propiedad de ser un enérgico activador catalítico de los procesos químico-biológicos que se desarrollan en las raíces de las plantas (1). El efecto es un aumento en la producción del jugo ácido de las raíces.

Los fosfatos minerales naturales —*fosforitas y apatitas*— contienen como constituyente principal el fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, que hasta pocos años atrás se creyó que estuviese presente en ellos al estado libre y no de combinación compleja con otros compuestos, como al contrario se pudo comprobar cuando se descubrió el nuevo método de análisis por medio de los rayos X.

Estas combinaciones son los complejos apatíticos, que son compuestos formados por el fosfato tricálcico en combinación: o con el hidrato, o con el carbonato, o con el fluoruro o con el cloruro de calcio, llamados: hidroxiapatita, carbonatoapatita, fluoro y cloroapatitas.

Estos complejos son compuestos o muy poco solubles, o insolubles en las soluciones diluidas de ácido cítrico: son todos insolubles en el agua. Es importante tener presente que el anhídrido fosfórico que contienen no es—o es poco—aprovechable para la nutrición de las plantas. De aquí la necesidad de destruir las combinaciones que los forman, en sus constituyentes, para transformar los fosfatos minerales naturales en fertilizantes fosfatados.

Cuando en los años inmediatamente después de la primera guerra mundial, por el elevado aumento que experimentó el costo del ácido sulfúrico, la fabricación del superfosfato—que era el fertilizante fosfatado de mayor empleo en agricultura, aunque se hubiese comprobado que su aplicación no era sin inconvenientes para los cultivos y para el terreno agrario (2)—empezó a resultar demasiado costosa, se quiso ver de sustituirla con la fabricación de otros fertilizantes fosfatados que podían realizarse más económicamente. Fué en esa época que se desarrolló la preparación industrial de los termofosfatos, que se obtienen tratando a elevadas temperaturas los fosfatos minerales naturales en mezcla con sustancias minerales adecuadas en función de reactivos sobre el fosfato tricálcico.

Se consideró que los productos resultantes podrían substituir el superfosfato y las escorias Thomas a la vez.

Las sustancias minerales que se eligieron por emplear con los fosfatos minerales naturales, fueron los sílico-aluminatos alcalinos naturales, como la leucita, por ejemplo, o las sales alcalinas fácilmente disociables (como el carbonato de sodio) y sílice, juntamente a caliza. Las mezclas obtenidas con estos materiales, calentadas a las temperaturas entre 1.200 y 1.300° C. por un tiempo de algunas horas, provoca la formación de compuestos fosfatados característicos, que son los *fosfatos*

(1) Milon et Crepau: *Sur l'action fertilizante de certains produits accessoires des scories*. Bull. Soc. Agr. Paris, 1905. Ver también las numerosas comprobaciones en los trabajos de Bertrand, Garola, Stoklasa, Stein, Guffroy, etc.

(2) A. Angiolani: *Sobre las características de preparación y de acción de los fosfatos fertilizantes*, etc., en este mismo fascículo de los Anales de la Universidad de Chile, (pág. 52).

calcico-alcálicos, estudiados por primera vez por Ditte en 1882 (3). La composición de estos compuestos corresponde a la fórmula: $\left[P_2O_5, (CaO)_2 \cdot M_2O \right]$ en la cual se indica con M el metal alcalino, sodio o potasio.

Estas sales insolubles en el agua, tienen la propiedad de ser solubles en las soluciones diluídas de ácido cítrico, como el fosfato tetracálcico y el sílico-fosfato de calcio de las Escorias Thomas; y empleados como abonos demostraron que tenían buena acción fertilizante.

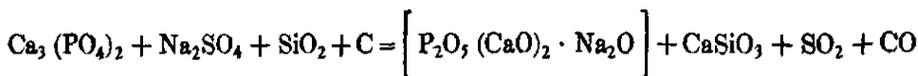
Por el concepto que se tenía, que el fosfato tricálcico no tenía acción fertilizante por ser insoluble en el agua y en las soluciones diluídas de ácido cítrico (como parecía comprobarlo, el ningún o poco efecto que se obtenía empleando los fosfatos minerales naturales en los cultivos) se adoptó el criterio de considerar la acción fertilizante de las Escorias Thomas y de los termofosfatos, proporcional al contenido que tenían de anhídrido fosfórico soluble en las soluciones cítricas diluídas.

EL PROCESO QUIMICO DE LA FABRICACION DE LOS TERMOFOSFATOS

La fabricación de los termofosfatos se inició sobre bases químicas insuficientes, y pudo realizarse como industria sólo solucionando empíricamente los problemas y las dificultades que se presentaron en la práctica.

Se debe añadir también que tales bases han quedado las mismas, probablemente en relación con el hecho que esa fabricación no alcanzó un notable desarrollo, y por esto no alcanzó a despertar gran interés en los estudiosos de cuestiones de química industrial. La causa de ese limitado desarrollo reside indudablemente en que las condiciones necesarias para que la fabricación resulte económicamente conveniente son que el país sea productor de las sales alcalinas apropiadas y de combustible y, a precio relativamente barato. Desde este punto de vista Chile se encuentra en situación bastante favorable para hacer desarrollar su industria de los termofosfatos fertilizantes; por esto me ha parecido interesante efectuar estudios e investigaciones experimentales para ver de poder poner sobre bases totalmente racionales la fabricación de los termofosfatos y, eventualmente, perfeccionarla o rendirla más económica.

Los conocimientos que se encuentran en la bibliografía internacional sobre el argumento *se limitan únicamente* a indicar la reacción de resumen del proceso químico que, cuando se emplea el sulfato de sodio como reactivo para actuar (a las temperaturas 1.200-1.300° C) sobre el fosfato tricálcico, es la siguiente:



y nada más.

Las que van a seguir a continuación son mis consideraciones.

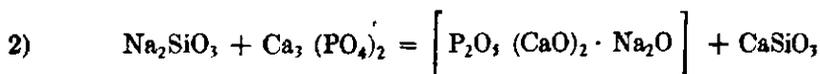
La presencia del carbono es necesaria para reducir previamente el sulfato

(3) Ditte: Comptes Rendus de Séances de l'Academie des Sciences, Vol. 94, pág. 1952. París, 1882.

de sodio a sulfito, más fácilmente disociable que el sulfato, y así poder más fácilmente obtener el metasilicato de sodio:

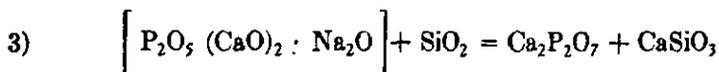


que es la sal que directamente —según el que suscribe (4)— reacciona con el fosfato tricálcico para producir el fosfato cálcico-alkalino:



También esta reacción es notablemente endotérmica.

Entonces, el compuesto intermediario para la obtención de los fosfatos cálcico-alkalinos es un metasilicato alcalino, y no debe ser un silicato más ácido porque un exceso de sílice provoca la descomposición del fosfato cálcico-alkalino según la reacción:

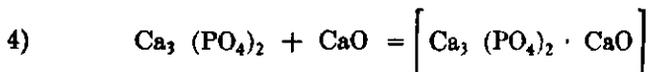


con formación del pirofosfato de calcio, que es insoluble en las soluciones cítricas diluídas, y no tiene acción fertilizante. Es evidente que esta última reacción se debe por esto evitar, siendo contraproducente para las calidades agronómicas del producto por fabricar.

Los fosfatos minerales naturales contienen notables proporciones de impurezas, entre las cuales la sílice, el óxido de hierro, el óxido de calcio bajo forma de varias sales, el óxido de magnesio, etc.; todos estos compuestos por reacción entre sí a elevada temperatura, si la proporción de sílice es suficiente, forman verdaderas escorias, como las que se obtienen en las operaciones metalúrgicas, y debido a que la alúmina se encuentra en ellos en escasa cantidad, estas escorias van a resultar constituídas por una mezcla de silicatos.

Estas escorias van a tener en mezcla el metasilicato de sodio; y para que se evite la reacción 3) es necesario que no contenga exceso de sílice, o sea, deben ser suficientemente básicas; además deben resultar suficientemente fusibles a la temperatura a la que debe producirse la reacción 2) y quedar en este estado también cuando, por efecto de esta reacción, el metasilicato de sodio que ha reaccionado va a ser sustituido por el metasilicato de calcio que se ha formado. El arreglo de la basicidad hasta el valor conveniente se hace agregando caliza.

Si la escoria puede obtenerse suficientemente básica y la temperatura en el horno alcanzar los 1.300° C y más, puede formarse también el fosfato tetracálcico — el constituyente de las Escorias Thomas— por efecto de la reacción:



La escoria que se forma durante la fabricación constituye entonces el medio en que deben producirse todas las reacciones del proceso químico: de aquí la gran

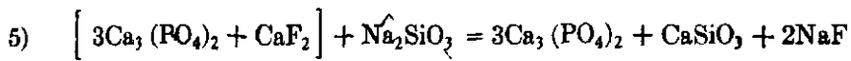
(4) A. Angiolani: *Chimica Industriale* (Tratado de Química Industrial), pág. 369. Istituto Editoriale Cisalpino, Mileno, 1946.

importancia que su composición química y sus caracteres físicos resultan adecuados para permitir de obtener un producto con las propiedades deseadas; y tiene una función análoga a la de los fundentes en la fabricación del cemento.

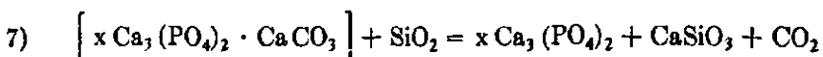
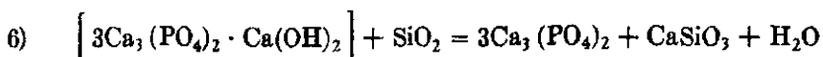
Obsérvese que tanto el fosfato tricálcico, por su elevado punto de fusión (1.730° C), como los fosfatos cálcico-alcálicos, por lo que se conoce, se descomponen a temperaturas superiores a 1.450° C y quedan simplemente en íntima mezcla con la escoria sin que sus constituyentes participen en su formación. Esta escoria es por esto solamente una mezcla de silicatos; y su acción química y su punto de fusión dependen de su composición.

La reacción 2) arriba indicada, fundamental para el formarse de los silicatos cálcico-alcálicos, considera que el fosfato tricálcico se encuentre como componente libre de los fosfatos minerales naturales: al contrario se encuentra en ellos bajo forma de complejos apatíticos. Es este un punto que no ha sido tomado en consideración por los que se han ocupado del estudio de la fabricación de los termofosfatos, mientras tiene notable importancia sea en relación con la fabricación, sea en relación con la acción fertilizante del termofosfato por producir.

Los complejos apatíticos, por reacción con el metasilicato de sodio, en un primer momento se desagregan dejando libre el fosfato tricálcico, como indica por ejemplo la siguiente notación referente a la desagregación de la fluoroapatita:

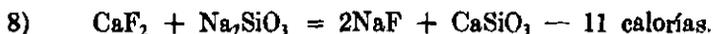


La desagregación de la hidroxiapatita y de la carbonato-apatita se producen por acción de la sílice según las reacciones:



A medida que el fosfato tricálcico resulta libre, se produce la reacción 2) ya indicada.

Considerando reducido el calor de formación de los complejos apatíticos por ser sus constituyentes ligados por valencias secundarias (como ocurre para todos los compuestos obtenidos por enlace de esta clase de valencias), la reacción 5) se puede más sencillamente representar por la reacción entre el fluoruro de calcio y el metasilicato de sodio.



Entonces el cálculo de la proporción de sales sódicas —y de la correspondiente proporción de sílice— que deben encontrarse en las mezclas de materias primas que se cargan en el horno para obtener la formación de los fosfatos cálcico-alcálicos debe ser basado, no sólo sobre la reacción 2) sino también sobre la reacción 8).

Por lo que se refiere a la composición de la escoria que debe producirse es necesario considerar que debe resultar suficientemente básica, y al mismo tiempo, suficientemente fusible para que puedan bien desarrollarse las reacciones del proceso químico de la fabricación. Pero su fusibilidad no debe ser demasiado grande porque en este caso la escoria adheriría más fácilmente sobre el material refractario del horno provocando inconvenientes a la marcha del mismo; ni poco fusible por exceso de cal, porque en este caso las reacciones que deben producirse quedarían notablemente obstaculizadas y no podrían llegar a proporcionar los resultados deseados.

Se debe también tener presente que el metasilicato de sodio se forma por primero siendo el más fusible de todos (P. F. = 1.088° C); y que por consiguiente influye notablemente sobre la fusibilidad inicial de la escoria, que se va modificando después a medida que se producen las reacciones 2) y 8).

Por fin debe cuidarse que la fabricación se realice en hornos —que son del tipo rotatorio a tubo —con revestimiento refractario no ácido, para evitar que la escoria que se forma, que debe ser siempre fuertemente básica, reaccione con la sílice del revestimiento refractario formando costras de silicatos que quedarían tenazmente cementadas con el refractario mismo. Esto, al contrario, no va a ocurrir si el material refractario es químicamente neutro, o sea, suficientemente aluminoso: la escoria en este caso puede quedar adherida sobre el refractario, pero sólo por acciones físicas sin la intervención de reacciones químicas, y se puede más fácilmente despegar, lo que permite limitar más fácilmente el inconveniente de la formación de «anillos» en tales tipos de hornos.

Las bases del proceso químico que se desarrolla en la fabricación de los termofosfatos fertilizantes corresponden, según los resultados de mis investigaciones, a las hasta aquí indicadas: y realizando la fabricación con la guía de tales bases químicas, es siempre posible obtener con seguridad el éxito que se desea alcanzar, como he podido experimentalmente comprobar. No solamente: el conocimiento de estas bases racionales puede también permitir —como se comprende y como siempre ocurre cuando el proceso químico de cualquiera preparación de productos está claramente definido— de realizar perfeccionamientos y adelantos en la fabricación.

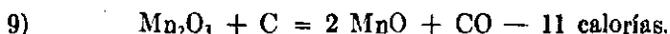
UN NUEVO TIPO DE TERMOFOSFATO FERTILIZANTE

En estos últimos años las investigaciones de química agraria por un lado, y la experimentación agronómica por el otro comprobaron, sin dar lugar a dudas, que el fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ aún siendo insoluble en el agua y en las soluciones cítricas diluídas, tiene eficaz acción fertilizante, contrariamente a lo que se creyó hasta hace pocos años. La equivocación en que cayeron los estudiosos de estas cuestiones químico-agronómicas de decenios atrás por causa de la imperfección de los medios de investigación, se debió a la creencia que los fosfatos minerales naturales contuviesen su fosfato tricálcico al estado libre: y como ellos tienen poca o ninguna acción fertilizante, se concluyó que esta acción era insuficiente o inexistente por ser el fosfato tricálcico no apto directamente para la nutrición fosfatada de las plantas.

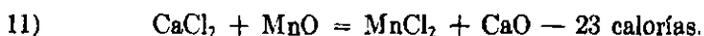
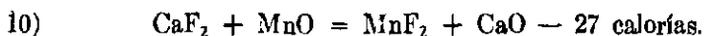
La comprobación del contrario de esta equivocada deducción, ha tenido y va a tener una siempre mayor importancia en el campo de la fabricación de los fertilizantes fosfatados —aunque muchos no la hayan todavía tomado en la consideración que merece— porque ha indicado que se puede dar otra orientación a dicha fabricación, diferente de la tradicional, basándola no sobre la transformación del fosfato tricálcico de los fosfatos minerales naturales en otros ortofosfatos (también los fosfatos cálcico-alcalinos son ortofosfatos), sino más sencillamente —y entonces más económicamente— sobre la desagregación química de los complejos apatíticos contenidos en los fosfatos minerales naturales (5).

Siguiendo este nuevo criterio —que hay la mayor conveniencia de tener en cuenta por sus beneficiosas consecuencias económicas— y los conceptos de base del proceso químico de la fabricación de los termofosfatos de mi elaboración, he estudiado y preparado un nuevo tipo de termofosfato fertilizante con el empleo, como reactivos, de minerales típicos de Chile. Estos son los minerales de manganeso de baja ley que en grandes yacimientos se encuentran especialmente en el Norte Chico, y que todavía no tienen utilización. Juntamente he empleado también el sulfato de sodio natural de las regiones del norte de Chile; y como materias primas fosfatadas, las apatitas chilenas de buena ley en fosfato tricálcico. Sobre el empleo de esos minerales de manganeso para la fabricación de abonos fosfatados me había ya preocupado desde años antes (6).

Dichos minerales contienen el manganeso bajo la forma de óxidos, y como se sabe, éstos, por calentamiento en presencia de carbono y a la temperatura de 1.000° C., más o menos, se transforman en óxido de manganeso, MnO. Por ejemplo, con el óxido de la braunita se tiene:



Las apatitas de Chile contienen su fosfato tricálcico bajo forma de fluoroapatita y cloroapatita: el óxido manganoso produce por reacción con el fluoruro de calcio y con el cloruro de calcio de los dos complejos apatíticos, la desagregación química de estos complejos en manera análoga a la que produce el silicato de sodio, o sea, dejando libre el fosfato tricálcico. Estas dos reacciones de transformación de CaF_2 y CaCl_2 son las siguientes:



análogas a la 8). Por la presencia de la sílice se forma después el metasilicato de calcio CaSiO_3 ; la reacción correspondiente se encuentra favorecida por la acción

(5) A. Angiolani: *Los criterios químicos y agronómicos actuales en la fabricación y empleo de los abonos fosfatados*. Revista *Simiente* de la Sociedad Agronómica de Chile, Vol. XVIII, N.º 3, págs. 105-121, Santiago, 1948.

(6) A. Angiolani: *El problema de los abonos fosfatados en Chile*. Conferencia dictada en la Universidad de Concepción en 1939, publicada por el Departamento de Agricultura de la Universidad.

fluidificante que tiene el óxido manganeso todavía no combinado, sobre la escoria que se forma durante la fabricación, por efecto de las reacciones entre las impurezas contenidas en las mezclas de materias primas.

Todas las indicadas reacciones se producen entre las temperaturas de 1.100° C. y 1.300° C. Si el contenido en sílice de las mezclas es notable, es necesario agregar una suficiente cantidad de caliza para que la cal, que se obtiene ya a la temperatura de 900° C., neutralice convenientemente la acidez de la sílice en exceso.

El manganeso que se agrega con el mineral queda después totalmente en el producto; *su presencia constituye una ventaja para la acción fertilizante del compuesto fosfatado contenido en el producto*, debido a que, como ya dije, este elemento actúa catalíticamente intensificando los procesos químico-biológicos que se desarrollan en las raíces de las plantas.

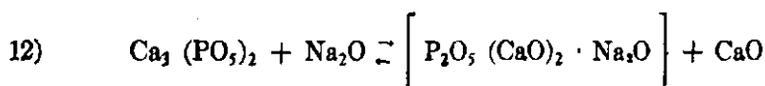
Si el fosfato tricálcico que se rinde libre con la desagregación viene a encontrarse a temperaturas superiores a la de 1.180° C., resulta de la variedad α , soluble en las soluciones cítricas diluídas; mientras que si las temperaturas son inferiores a esa, resulta de la variedad β , insoluble en tales soluciones.

He realizado experiencias de preparación de termofosfatos sobre la base de las indicadas reacciones 9), 10) y 11), con horno rotatorio a tubo (largo 10 metros; diámetro 0,60 metros; revestimiento refractario totalmente en ladrillos aluminosos con el 58% de Al_2O_3), empleando apatita con el 58,7% de fosfato tricálcico, el 2% de fluoruro de calcio, el 1,5% de cloruro de calcio; mineral de manganeso de ley 32%; hulla con el 50% de carbono fijo; y calentamiento a la temperatura entre 1.150 y 1.180° C. durante dos horas; y obtenido productos con la composición término medio: 25% de anhídrido fosfórico total, y el 2,3% de manganeso.

La proporción de anhídrido fosfórico soluble en las soluciones cítricas diluídas resulta del 36% del total como mínimo, y es mucho más notable trabajando a temperaturas superiores a los 1.220° C., por la mayor proporción de fosfato tricálcico variedad α que en las condiciones de trabajo del horno alcanza a formarse. Pero el aumento del grado de solubilidad del anhídrido fosfórico de estos productos en las soluciones cítricas diluídas (necesario para las exigencias de la venta de estos fertilizantes), se obtiene con mayor seguridad agregando en las mezclas de materias primas que se cargan en el horno, las cantidades necesarias de sulfato de sodio y carbón para que pueda formarse también el fosfato cálcico sódico (que es soluble en las soluciones cítricas diluídas) en la proporción que se desea.

La sal sódica, que se transforma por combinación con la sílice en metasilicato, sirve además para contribuir a la disgregación de los complejos apatíticos como indica la reacción 8).

La reacción de formación del fosfato cálcico-sódico es, como se ha visto, la 2) que puede representarse también con la notación:



tratándose de una reacción de equilibrio en la que el óxido de sodio desplaza el óxido de calcio. Entonces, por la ley de acción de las masas, para favorecer el rendimiento en fosfato cálcico-sódico es necesario emplear un exceso de Na_2O respec-

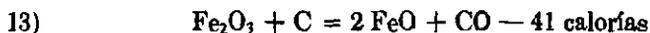
to a la proporción de CaO que va a formarse, mientras que, por la misma ley la presencia de un exceso de CaO es contraproducente para tal efecto. Esto indica que la escoria que se produce durante la preparación, que debe resultar básica por su contenido en cal, no debe tener una proporción muy elevada en cal para no limitar la formación del fosfato cálcico-sódico.

Las experiencias que efectué con el mismo horno y las mismas materias primas, manteniendo constante la cantidad de mineral de manganeso, y empleando proporciones crecientes de sulfato de sodio natural de Chile (de ley 90% en Na_2SO_4) y las necesarias proporciones de caliza, y calentamiento a las temperaturas entre 1.200 y 1.250° C. durante dos horas, dieron productos cuyas características se indican a continuación:

	I	II	III
Anhídrido fosfórico total	23,25%	23,25%	22,70%
P_2O_5 soluble en sol. cítricas . . .	17,00%	18,70%	21,10%
Manganeso	2,05%	1,97%	2,23%
Oxido de sodio Na_2O	6,74%	7,51%	8,13%

Obsérvese que el contenido en óxido de sodio de los termofosfatos corrientes fabricados con empleo de solas sales sódicas, es de 12-14%. La menor proporción de Na_2O que contiene este nuevo tipo de termofosfato representa una ventaja desde el punto de vista de la rapidez de aprovechamiento del anhídrido fosfórico por parte de las plantas, por la menor alcalinización que esa proporción de Na_2O produce en los líquidos del terreno agrario.

La apatita empleada para las experiencias contenía una notable proporción de óxido de hierro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 13,8\%$), que es conveniente hacer transformar en óxido ferroso FeO por acción de limitadas proporciones de carbono como indica la reacción:



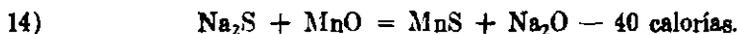
para aprovechar de la acción química básica de este óxido en la formación de la escoria. (El carbono que actúa en ésta y en las demás reacciones del proceso químico es prevalentemente el carbono fijo de los carbones que se emplean).

Como ya indiqué, la escoria debe resultar notablemente básica: su grado de saturación expresado por la razón:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO}}{\text{SiO}_2}$$

he encontrado que debe tener el valor de 1,5; y su punto de fusión, determinado gráficamente por medio del diagrama triangular de Hoffman en función de su contenido en $\text{Si}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{FeO}$, tener su punto figurativo entre las isoterms que limitan la zona de los 1.300° C. En estas condiciones se obtienen los mejores resultados en la preparación.

El nuevo tipo de termofosfato con óxido manganoso obtenido sobre las bases hasta aquí indicadas, tiene también la ventaja de resultar exento de sulfuro de sodio (dañino para la vegetación) porque la eventual formación de este compuesto por reducción completa del sulfato de sodio, queda neutralizada por el óxido manganoso con la reacción:



Agrego por fin que su fabricación industrial resulta económicamente más conveniente que la del tipo corriente sin empleo de mineral de manganeso, sea porque para obtenerlo se necesita una menor proporción de sulfato de sodio (que es una sal más costosa que los minerales de manganeso de baja ley); sea porque queda por esto más limitada la cantidad de calor absorbida por la reacción 1) fuertemente endotérmica; sea porque la masa de materiales en movimiento y en reacción para la elaboración del producto es menor. Por estas dos últimas causas el consumo de combustible para el desarrollo del proceso químico en el horno es más reducido.

Santiago, octubre de 1952.