

EL COSTE ENERGETICO EN LA PRODUCCION Y EL TRANSPORTE DE LOS ABONOS

El análisis del coste energético de la producción y transporte de fertilizantes no se sitúa, en el presente trabajo, en un contexto de urgencia causado por la crisis energética, sino dentro de un método normal de trabajo para la búsqueda de los datos necesarios que permitan mantener en sus niveles óptimos nuestras producciones agrarias, en cuanto dependa de los abonos no sólo en el momento presente, sino en situaciones futuras.

En líneas generales podemos considerar que como resultado de una actividad productiva, los abonos responden a la ecuación:

$$\text{Abono} = \text{Materia prima} + \text{Energía}$$

Las materias primas utilizadas en la industria de fertilizantes son: nafta, pirita, roca fosfórica, cloruro potásico, piedra caliza, gas, cok y nitrógeno. Hay una serie de productos básicos derivados de algunas de las anteriores, tales como amoníaco, ácido sulfúrico y ácido fosfórico que, junto con aquellas, contribuyen a la obtención de la casi totalidad de los fertilizantes empleados en España.

La energía suministrada en cada una de las instalaciones se puede desglosar en energía eléctrica tomada de la red y en combustible empleados para obtener calor. A veces, los propios procesos

de fabricación generan energía utilizable, incluso, para electricidad general; el estudio del aprovechamiento de esta energía autoproducida escapa de los objetivos de este trabajo, aún cuando dejemos constancia de que puede dar lugar a un ahorro de coste energético de los abonos.

La dependencia que tiene la industria de los abonos del petróleo se ilustra en la figura 1 en la que se incluyen los principales productos fertilizantes y las relaciones que existen entre ellos.

Señalaremos, finalmente, que los datos de consumo de abonos en la campaña 1979/80 fueron:

Abonos nitrogenados	906.785 tm de N
Abonos fosfatados	480.737 tm de P_2O_5
Abonos potásicos	292.909 tm de K_2O

EL COSTE ENERGETICO DE LOS PRODUCTOS BASICOS

Vamos a analizar en primer lugar el coste energético de los productos básicos para la fabricación de abonos, tales como amoníaco, ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido fosfórico para, después, proseguir nuestro estudio con los fertilizantes.

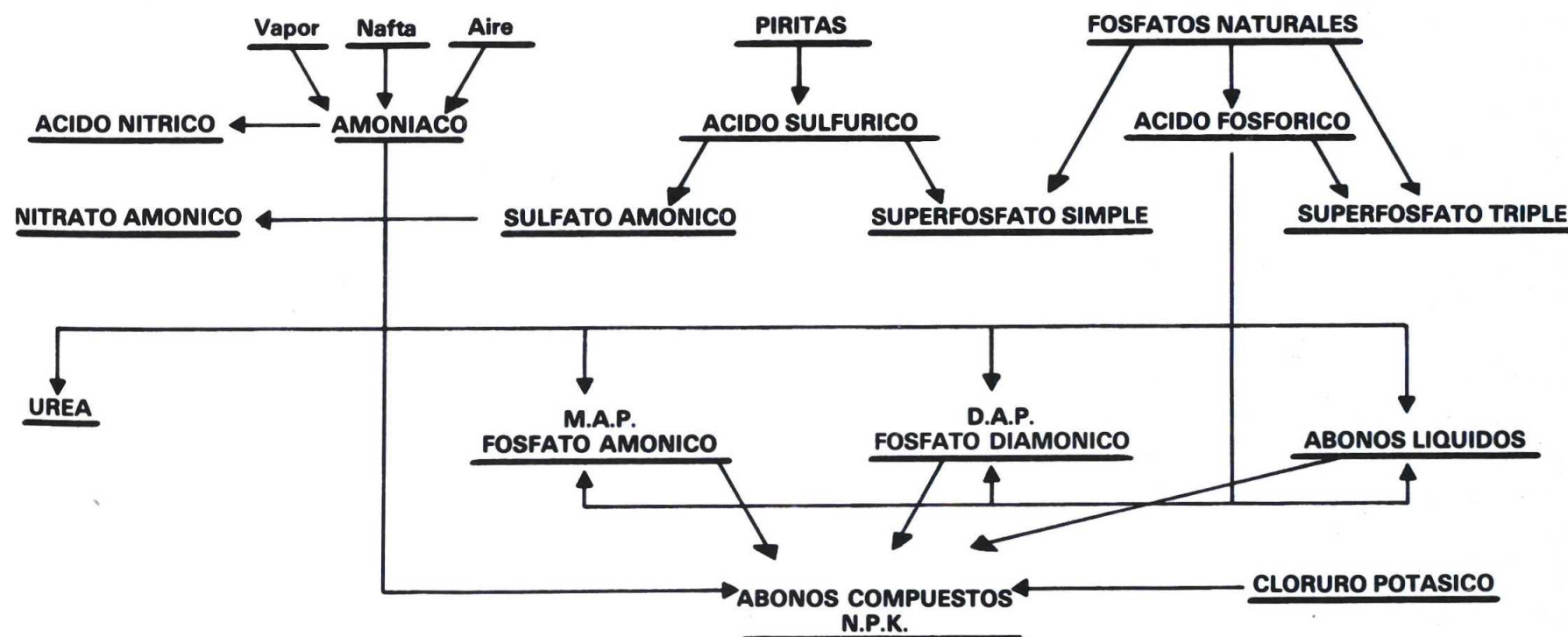


Fig. 1. — Esquema de productos en la industria de fertilizantes y sus relaciones.

tes derivados de ellos. Con el fin de dar uniformidad a la exposición, la energía necesaria en los diversos procesos se expresará en kilocalorías referidas a una unidad de peso; en el coste energético distinguiremos la energía directa aplicada durante la fabricación y el equivalente energético o capacidad energética de las materias primas empleadas así como el total de ambos.

Coste energético del amoníaco.—La materia prima más empleada en España para la fabricación del amoníaco es la nafta ligera que aporta el hidrógeno necesario para construir la molécula de amoníaco. De forma resumida se puede decir que el proceso de fabricación de este compuesto consiste en mezclar nafta vaporizada con aire y vapor de agua, obteniéndose un gas de síntesis que se transforma en amoníaco mediante una reacción exotérmica, cuyo calor es utilizado para generar vapor de agua que se emplea posteriormente en el proceso. Todo esto se puede resumir con la siguiente ecuación:

$$\text{Amoníaco} = \text{Nafta} + \text{Aire} + \text{Vapor} + \text{Energía}$$

Los consumos específicos para producir una tonelada de amoníaco se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA TONELADA DE AMONIACO.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Nafta	0,880 tm	10,249.10 ⁶ kcal/tm	9.019.102 kcal
Fuel	0,170 tm	9,631.10 ⁶ kcal/tm	1.637.270 kcal
Electricidad.	180 kwh	860 kcal/kwh	154.800 kcal
Total			10.811.190 kcal

En relación con este proceso citamos textualmente un párrafo del capítulo dedicado a la fabricación de amoníaco en la publicación «Situación energética en la industria». Centro de Estudios de la Energía, 1979.

«Desde el punto de vista energético, y aunque la nafta empleada como materia prima en el 83 por 100 de la capacidad instalada para la producción de amoníaco no ha de ser considerada como *consumo energético*, no se debe olvidar que ésta tiene un elemento potencial energético intrínseco. Hoy día, al precio internacional de las naftas es muy difícil obtener rentabilidad en la fabricación de amoníaco partiendo de esta materia prima, especialmente en los países no productores de petróleo. Por tanto, se hace necesario el estudio y posterior empleo de otros tipos de materia prima como gas natural, fracciones pesadas del petróleo y, por último, del carbón.»

Coste energético del ácido nítrico.—De forma muy abreviada podemos decir que el ácido nítrico se obtiene mediante la oxidación del amoníaco. La ecuación del proceso sería:

$$\text{Acido nítrico} = \text{Amoníaco} + \text{Oxígeno} + \text{Energía}$$

Los consumos específicos para producir una tonelada de este producto se pueden cifrar en los indicados en el cuadro 2.

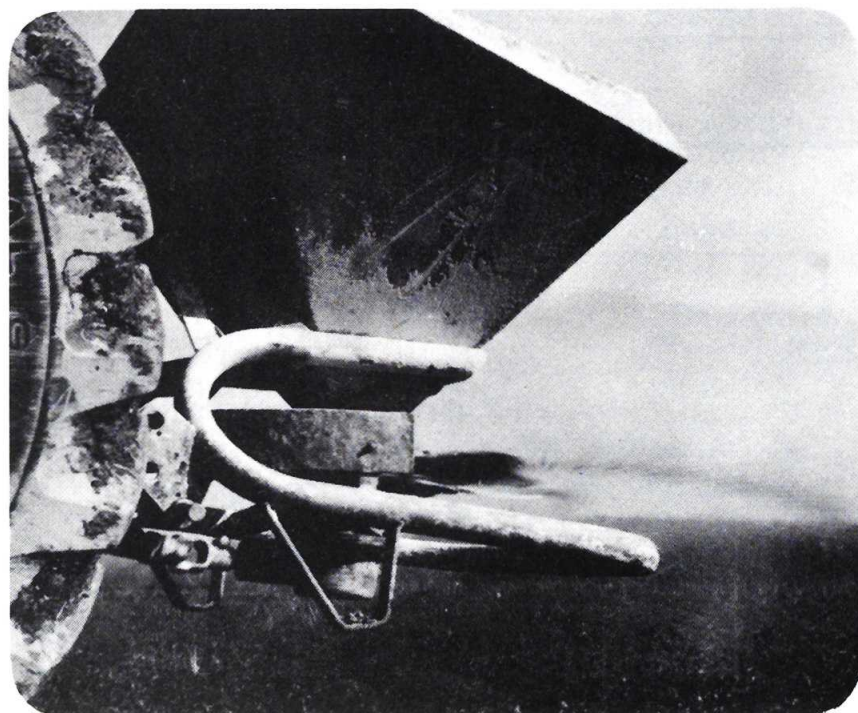
Cuadro 2.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA TONELADA DE ACIDO NITRICO.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoníaco.	0,291 tm	10.811.140 kcal/tm	3.146.041,7 kcal
Energía	77 kwh	860 kcal/kwh	66.220,0 kcal
Total			3.212.261,7 kcal

Coste energético del ácido sulfúrico.—La principal fuente de azufre que se emplea en España para la fabricación de ácido sulfúrico es la pirita de hierro o cobre. Para el cálculo consideramos que la fábrica de ácido está situada como máximo a 100 km del yacimiento del mineral. Por otra parte, se supone que parte del calor de la reacción se utiliza en la fabricación de ácido fosfórico.

Por lo tanto, la fabricación de ácido sulfúrico incluiría extracción del mineral, transporte y producción del ácido. El coste energético total se cifra en 150.000 kcal/tm de ácido sulfúrico (98 por 100).

Coste energético del ácido fosfórico.—Se supone que la materia prima empleada es el fosfato de Marruecos y que la instalación está ubicada en el mismo complejo que la del producto anterior. Bajo estas condiciones el coste energético se puede cifrar en 666.000 kcal/tm de ácido fosfórico del 50 por 100 de riqueza en P₂O₅, lo que equivale a 1.332 kcal por unidad fertilizante de fósforo, expresada en P₂O₅.



COSTE ENERGETICO DE LOS ABONOS SIMPLES

Sulfato amónico.—Se obtiene este producto mediante la reacción entre amoníaco y ácido sulfúrico; la ecuación que resume este proceso es:

Sulfato amónico = Amoníaco + Acido sulfúrico + Energía

Los consumos específicos para producir una tonelada de sulfato amónico son los que se indican en el cuadro 3.

Cuadro 3.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE SULFATO AMONICO.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Acido sulfúrico	0,750 tm	150.000 kcal/tm	112.500 kcal
Amoníaco..	0,250 tm	10.811.190 kcal/tm	2.702.797,5 kcal
Energía	58 kwh	860 kcal/kwh	49.880 kcal
Total			2.865.177,5 kcal

Por tanto, el coste energético de la unidad fertilizante de nitrógeno, considerando una riqueza del 21 por 100, será de 13.643,70 kcal.

Nitrato amónico cálcico (26 por 100).—Se obtiene haciendo reaccionar amoníaco y ácido nítrico y recubriendo las partículas resultantes con carbonato cálcico, principalmente.

Los consumos específicos para producir una tonelada de nitrato amónico son los indicados en el cuadro 4.

Cuadro 4.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE NITRATO AMONICO.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoníaco..	0,168 tm	10.811.190 kcal/tm	1.816.279,9 kcal
Acido nítrico.	0,609 tm	3.212.261,7 kcal/tm	1.956.267,3 kcal
Energía	36 kwh	860 kcal/kwh	30.960,0 kcal
Total			3.803.507,2 kcal

Es decir, el coste energético de la unidad fertilizante es 14.628,873 kcal/U.F. de nitrógeno.

El nitrato amónico perlado (26 por 100) es un producto similar al anterior, en el cual se produce un granulado especial (perlado), lo que incrementa la calidad del abono. El coste energético en este caso es de 3.821.000 kcal por tonelada de producto, lo que equivale a 14.696,15 kcal por U.F. de nitrógeno.

La fabricación del nitrato amónico cálcico (33,5 por 100), responde a los esquemas anteriores cambiando únicamente las proporciones. El coste energético es de 4.860.000 kcal por tonelada, lo que equivale a 14.507,4 kcal por U.F. de nitrógeno.

Urea.— Su proceso de fabricación responde a:

Urea = Amoníaco + calor

Los consumos específicos para producir una tonelada de urea son los indicados en el cuadro 5.

Cuadro 5.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE UREA.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoníaco..	0,575 tm	10.811.190 kcal/tm	6.216.434,2 kcal
Energía	157 kwh	860 kcal/kwh	135.020 kcal
Total			6.351.454,2 kcal

Por tanto, el coste energético de la unidad de fertilizante es 13.807,50 kcal por U.F. de nitrógeno.

El coste energético de una solución nitrogenada del 32 por 100 de riqueza en nitrógeno se estima, según los datos que poseemos, en 15.718,75 kcal por U.F. de nitrógeno.

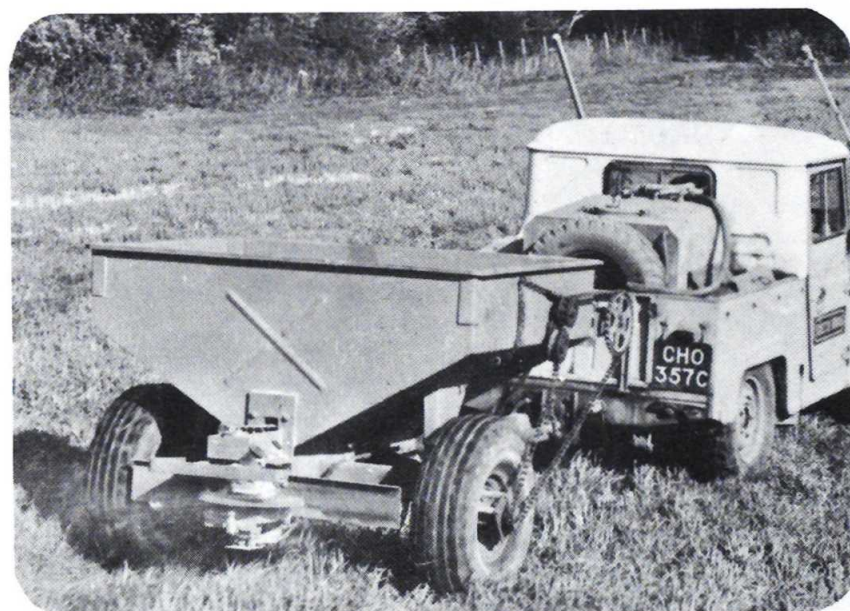
Superfosfato de cal (18 por 100).— Como es sabido el proceso de fabricación de este abono consiste en hacer reaccionar ácido sulfúrico con fosfatos naturales, pudiéndose resumir con la expresión:

Superfosfato = Fosfato natural + Acido sulfúrico

Los consumos específicos para producir una tonelada de superfosfato se pueden resumir como se indica en el cuadro 6.

Cuadro 6.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE SUPERFOSFATO DE CAL (18 por 100).

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Acido sulfúrico	0,388 tm	150.000 kcal/tm	58.200 kcal
Fosfato natural	0,540 tm	219.166,6 kcal/tm	118.350 kcal
Energía	10,69 kwh	860 kcal/kwh	9.193,4 kcal
Total			185.734,4 kcal



En consecuencia, el coste energético de la unidad fertilizante será 1.031,90 kcal por U.F. de P_2O_5 .

Supertriple (45 por 100).—Se obtiene haciendo reaccionar ácido fosfórico con fosfato natural. Proceso que se puede resumir de la siguiente forma:

Supertriple = Fosfato natural + Acido fosfórico

Los consumos específicos son los del cuadro 7.

Cuadro 7.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE SUPERFOSFATO TRIPLE (45 por 100).

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Acido fosfórico	0,650 tm	660.000 kcal/tm	429.000 kcal
Fosfato natural	0,400 tm	219.166,6 kcal/tm	87.666,64 kcal
Energía	12,57 kwh	860 kcal/kwh	10.900 kcal
Total			527.566,64 kcal

Por tanto, el coste energético de la unidad fertilizante será de 1.172,17 kcal por U.F. de P_2O_5 .

Cloruro potásico.—No disponemos de datos suficientes para el establecimiento, con cierto rigor, del coste energético del cloruro potásico; sin embargo, a efectos de cálculo y de acuerdo con datos aproximados que obran en nuestro poder se puede cifrar en 60.000 kcal por tonelada del producto.

COSTE ENERGETICO DE ABONOS BINARIOS

Coste energético del fosfato monoamónico MAP (11-54-0).—Se fabrica haciendo reaccionar ácido fosfórico con amoníaco; este proceso se puede resumir con la siguiente expresión:

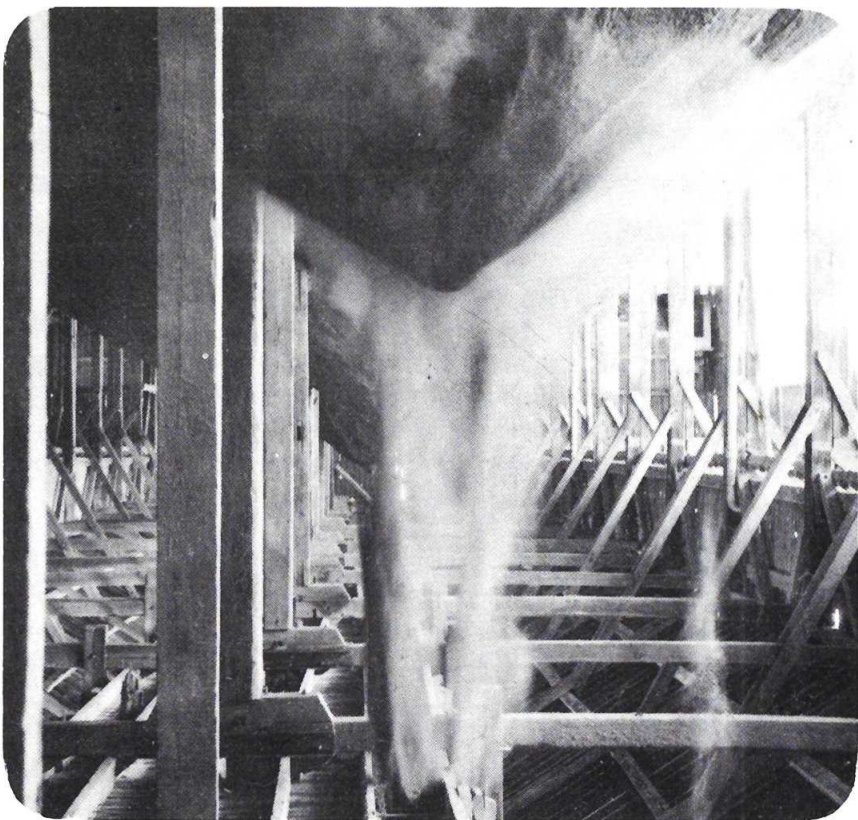
MAP = Acido fosfórico + Amoniaco + Energía

El consumo específico de productos para producir una tonelada de MAP es el que indica el cuadro 8.

Cuadro 8.—CONSUMOS ESPECÍFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE FOSFATO MONOAMÓNICO.

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoniaco.	0,140 tm	10.811.190 kcal/tm	1.513.566,66 kcal
Acido fosfórico	1,160 tm	666.000 kcal/tm	772.560 kcal
Energía	10 kwh	860 kcal/kwh	8.600 kcal
Total			2.294.726,6 kcal

A la vista de esto podemos preguntarnos si la mezcla equivalente de abonos simples tiene un



coste energético mayor o menor. Para abordar esta cuestión vamos a considerar no solamente el coste energético de los abonos simples sino el coste del exceso de transporte que su mezcla representa en relación con el abono complejo. Vamos a tomar como referencia los abonos simples más baratos que son sulfato amónico y superfosfato de cal; para tener el equivalente de una tonelada de fosfato monoamónico serían necesarios 523,8 kg de sulfato amónico y 3.000 kg de superfosfato, cuyo coste energético total sería de 2.057.983,1 kcal, por lo que se pone de manifiesto una diferencia de 236.743,5 kcal favorable a la mezcla. Por otra parte, hay una diferencia de peso de 2.523,8 kg favorable al complejo, por lo que considerando el transporte por camión y que todos los productos se producen en el mismo lugar, podemos afirmar que el complejo empieza a ser más barato energéticamente a partir de 226 kilómetros de distancia del punto de fabricación.

Coste energético del fosfato diamónico DAP (18-46-0).—El proceso de obtención de este producto puede considerarse, en teoría, similar al anterior. El consumo específico por tonelada de DAP se indica en el cuadro 9.

Cuadro 9.—CONSUMOS ESPECIFICOS PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE FOSFATO DIAMONICO.

Productos	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoniaco.	0,224 tm	10.811.190 kcal/tm	2.421.706,5 kcal
Acido fosfórico	0,939 tm	666.000 kcal/tm	624.374,0 kcal
Energía	162,8 kwh	860 kcal/kwh	140.008,0 kcal
Total			3.187.088,5 kcal

Siguiendo el razonamiento del caso anterior, vamos a considerar el coste energético de una mezcla de abonos simples que proporcione las mismas unidades fertilizantes que este complejo. Para ello, necesitaríamos 857,14 kg de sulfato amónico y 2.555,5 kg de superfosfato, siendo el coste energético total de 2.930.511,7 kcal; con una diferencia en favor de la mezcla de 256.576,8 kilocalorías. Por otra parte, hay una diferencia de peso favorable al complejo de 2.412,64 kg; suponiendo que todos los productos se fabrican en el mismo punto, existiría una ventaja a favor del complejo a partir de 256 km de transporte por camión.

COSTE ENERGETICO DE LOS ABONOS COMPUESTOS

Compuesto 22:11:11.—Nos vamos a referir a este compuesto, que no se fabrica en España, por disponer de datos suficientes para nuestro análisis. Queremos señalar que las conclusiones que se puedan obtener deberán referirse a las circunstancias concretas de fabricación.

El consumo específico para la fabricación de una tonelada de este compuesto se puede resumir de la forma siguiente:

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoniaco.	0,143 tm	10.811.190 kcal/tm	1.546.000,1 kcal
Acido nítrico.	0,520 tm	3.212.261,7 kcal/tm	1.670.376,0 kcal
Acido fosfórico	0,226 tm	666.000 kcal/tm	150.516,0 kcal
Cloruro potásico ...	0,226 tm	60.000 kcal/tm	13.560,0 kcal
Energía	945,2 kwh	860 kcal/kwh	812.872,0 kcal

De ello, resulta un total de 4.193.324,1 kcal/tm. Una mezcla de abonos simples que proporcionara las mismas unidades fertilizantes necesitaría:

- 1.047.619 kg de sulfato amónico.
- 611,111 kg de superfosfato.
- 220,000 kg de cloruro potásico.

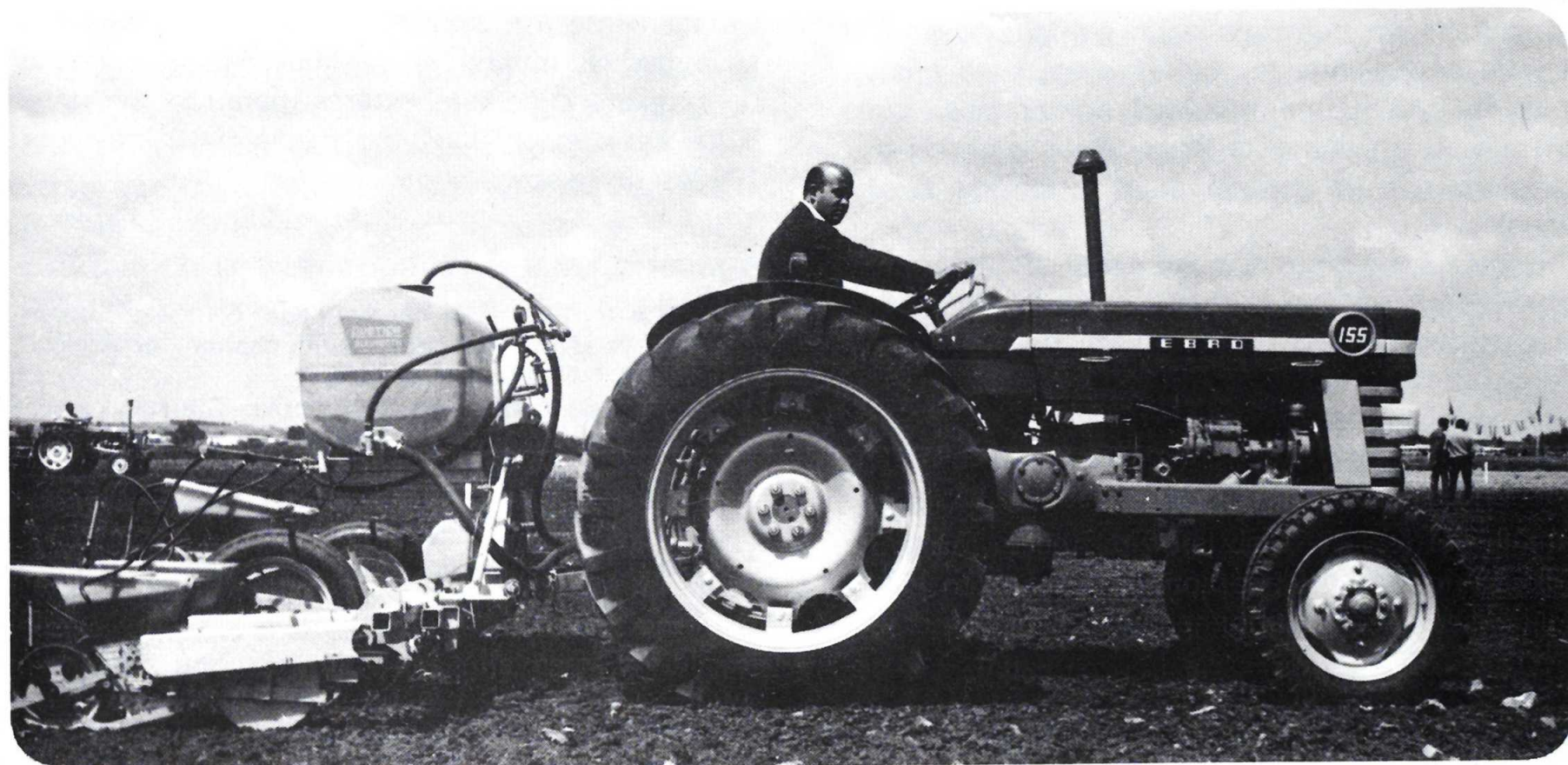
cuyo coste energético sería de 3.128.318,6 kcal, resultando en la comparación con el compuesto una diferencia de 1.065.005,5 kcal favorable a la mezcla de abonos simples. Por otra parte, hay una diferencia de 878,729 kg a favor del compuesto, por lo que éste empieza a ser más barato, considerando que todos se producen en el mismo lugar, a partir de 2.913,40 kg de transporte con camión.

Compuesto 17:17:17.—Siguiendo un método parecido al del párrafo anterior señalamos que los consumos específicos para producir una tonelada de este producto pueden establecerse como sigue:

Producto	Cantidad	Potencial energético	Total
Amoniaco.	0,110 tm	10.811.190 kcal/tm	1.189.230,9 kcal
Acido nítrico.	0,403 tm	3.212.261,7 kcal/tm	1.294.541,4 kcal
Acido fosfórico	0,350 tm	666.000 kcal/tm	233.100,0 kcal
Cloruro potásico ...	0,350 tm	60.000 kcal/tm	21.000 kcal
Electricidad.	945,2 kwh	860 kcal/kwh	812.872,0 kcal

Resultando un total de 3.550.744,3 kcal/tm.

En cuanto a la mezcla equivalente de abonos simples, ésta debería estar integrada por las siguientes cantidades referidas a una tonelada de compuesto:





- 809,52 kg de sulfato amónico (21 por 100).
- 944,44 kg de superfosfato (18 por 100).
- 340,00 kg de cloruro potásico (50 por 100).

y el coste energético será de 2.515.234,2 kcal por lo que hay una diferencia de 1.035.510,1 kcal en favor de la mezcla de abonos simples. En cuanto a la diferencia de peso entre el abono compuesto y la mezcla de simples, ésta es de 1.093,96 kilogramos, por lo que de acuerdo con los criterios anteriores, la utilización del compuesto empieza a ser más barata energéticamente a partir de los 2.275 km.

COMENTARIO

A lo largo de los párrafos precedentes hemos analizado el coste energético de distintos productos fertilizantes sin que en este análisis hayan sido más concluyentes los criterios agronómicos que los puramente aritméticos. Cuando hemos comparado un complejo o un compuesto con la mezcla equivalente de abonos simples no queríamos establecer una prioridad agronómica, pues en nuestra opinión esta labor requiere de un tratamiento que se escape a las posibilidades del trabajo.

Hemos incluido datos de coste de transporte para lo cual se ha aplicado en todos los casos el coste energético de transporte de la tonelada de abono por camión, forma de transporte que es la más cara, pues su coste unitario es de 416 kcal/tm/km, frente a 116 kcal/tm/km y 118 kcal/tm/km del ferrocarril y el barco, respectivamente. Esto nos ha permitido, en parte, soslayar la consideración de los costes energéticos de aplicación del abono al suelo en los análisis precedentes.

CONCLUSIONES

La conclusión del estudio precedente sólo pue-

de comprenderse en un contexto de racionalización del abonado. En la actualidad el coste energético del abonado en España es, aproximadamente, equivalente a $2,03372 \cdot 10^9$ kg de fuel o lo que es lo mismo $1,95867 \cdot 10^{13}$ kcal.

La economía debe lograrse mejorando los procesos de producción de los fertilizantes y racionalizando su aplicación. Respecto al primer punto, debemos señalar que carecemos de datos suficientes para establecer una opinión trascendente, no obstante, pensamos que no sería menor el ahorro que se obtuviese mediante una racionalización de la producción que mediante la racionalización del uso.

Finalmente con el fin de ilustrar este caso, señalaremos que un abonado normal por hectárea para un cultivo más o menos intensivo se puede cifrar en 300 U.F. de nitrógeno, 100 U.F. de P_2O_5 y 100 U.F. de K_2O , lo cual equivale, aproximadamente a 6.398.674 kcal/ha. Este consumo se aproxima mucho al que necesitaría el coche del propietario de esa hectárea, para recorrer unos 8.300 km con un consumo medio de 9 litros por 100 km de gasolina super.

Juan Cánovas Cuenca

DOCUMENTACION

1. LEWIS y otro: Role de l'énergie dans les engrais dans la production agricole. Phosphore et Agriculture, n.º 74, novembre, 1978.
2. Centro de Estudio de la Energía: Situación energética en la industria. Sectores: química orgánica, química inorgánica, fertilizantes, comisaría de la energía y recursos minerales. Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 1979.
3. LOSTE y otros: Optimización energética de proceso y logística de la producción de fertilizantes complejos. Seminario «Economía de la energía». V Convención de Industria Química. Barcelona, 1975.
4. AGUIRRE, J.: Suelos, abonos y enmiendas. Editorial Dossat, S. A. Madrid, 1963.