

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE  
COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS Y  
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN  
EL PROCESO

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA

DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

POR

BYRON OBED ROSALES SALGUERO

PREVIO A OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

08  
T(3853)  
C.4

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
Vocal 1o.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
Vocal 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
Vocal 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
Vocal 4o.	Br. Fernando Waldemar de León Contreras
Vocal 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXMINADOR	Ing. Williams Alvarez
EXAMINADOR	Ing. Julio Chávez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Bravatti Castro
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

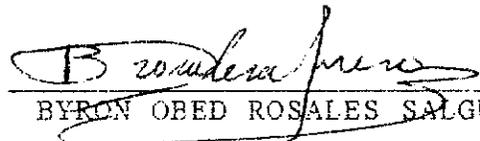
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo a honra someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis intitulado:

ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE  
COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS Y  
ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN  
EL PROCESO.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de  
Ingeniería Química.

Guatemala, octubre de 1996.

  
BYRON OBED ROSALES SALGUERO

Guatemala, 21 de agosto de 1,988.

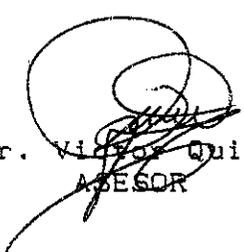
Dr. Adolfo Gramajo,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Química,  
Facultad de Ingeniería,  
Presente.

Estimado Doctor.

Por este medio me permito hacer de su conocimiento que habiendo tenido a la vista el trabajo final de investigación del estudiante Byron Obed Rosales Salguero, CARNET 79-12523; titulado: ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS y, habiendo realizado la revisión del mismo, considero que dicha investigación de graduación profesional es satisfactoria, por lo que otorgo la aprobación respectiva como asesor de tesis.

Agradeciendo la atención que le sirva dar a la presente me suscribo de usted.

Atentamente,  
D Y ENSEÑAD A TODOS

  
Dr. Víctor Quiroa  
ASESOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de septiembre de 1,996.

Doctor  
Adolfo Gramajo  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

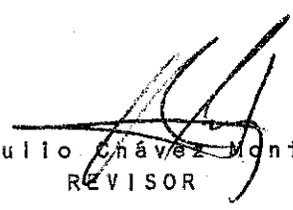
Doctor Gramajo.

Hago de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis del estudiante **Byron Obed Rosales Salguero**; titulado: **ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS**, a la vez se le hace la siguiente modificación al título: **ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILISANTES COMPUESTOS Y ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL PROCESO**, de la cual dejo constancia de mi aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Julio Chávez Montúfar  
REVISOR



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, después de  
conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de  
Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante; Byron Obed  
Rosales Salguero, titulado: **ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL  
PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS Y ESTUDIO DEL  
EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL PROCESO**, procede a la  
autorización del mismo.

  
Dr. Adolfo Gramajo  
DIRECTOR

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 24 de octubre de 1,996.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química al trabajo de tesis titulado: **ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS Y ESTUDIO DEL EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL PROCESO**, del estudiante **Byron Obed Rosales Salguero**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

**IMPRIMASE:**

Ing. Julio Ismael González Podszueck



Guatemala, 24 de octubre de 1,996

**Dedicatoria:**

A Jesucristo: Mi salvador y ayudador.

A mi padre: Carlos René Rosales Reyes

A mi madre: Aurora Elena Salguero Peñate

A mi esposa: Gloria Yanet Carrillo de Rosales

A mi hermana: Aurora Lisette Rosales Salguero

A mis sobrinos: Gerardo Machorro Rosales y José Gabriel Paz Carrillo

A mis tíos y primos.

A mi pastor: Orlando Mejía

A todos mis hermanos en Cristo.

A mis amigos.

**Agradecimiento:**

Al Dr. Victor Quiroa por su ayuda.

Al Ing. Francisco Rosaies.

## INDICE

PAGINA

GLOSARIO	
SUMARIO	
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
GENERALIDADES	5
1. ANTECEDENTES	5
2. JUSTIFICACIONES	5
3. OBJETIVOS	5
4. HIPOTESIS	6
CAPITULO II	
PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS	7
1. RECEPCION Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS	7
2. PRODUCCION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS	9
2.1 LLENADO DE SILOS DE MATERIA PRIMA	9
2.2 PREMOLIDOS DE MATERIAS PRIMAS	10
2.3 PESADO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA FORMULACION	11
DESEADA	
2.4 MEZCLADO DE MATERIAS PRIMAS	14
2.5 TRITURACION DE MEZCLA	14
2.6 MATERIAL DE RECICLO	16
2.7 MEZCLADO CONTINUO	16
2.8 COMPACTACION	17
2.9 TRITURACION DE COMPACTOS	25
2.10 CLASIFICACION DE PRODUCTO TERMINADO	26
2.11 RECUPERACION DE POLVOS	28

2.12 RECUBRIMIENTO DEL PRODUCTO TERMINADO Y ENVASADO	28
2.13 CONSIDERACIONES GENERALES	30
CAPITULO III	
CONTROL DE CALIDAD DEL FERTILIZANTE COMPUESTO	32
COMPACTADO	
1. PRUEBAS FISICAS	32
2. PRUEBAS QUIMICAS	34
EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL PROCESO DE	43
COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS	
(PARTE EXPERIMENTAL)	
1. RESULTADOS Y DISCUSION	43
2. CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS	48
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXOS	50

## GLOSARIO DE TERMINOS

1. Aspa: pieza incorporada a un eje, la cual dependiendo de la función a desarrollar, puede tener diferentes formas: curva, rectangular y otras. Entre sus funciones principales tenemos: mediante rotación, se efectúa la agitación o mezclado de líquidos y sólidos.
2. Bin: depósito donde se almacena materia prima de fertilizantes, a granel.
3. Higroscopocidad: tendencia que tiene una sustancia para absorber agua, generalmente proveniente de la atmósfera.
4. Humedad relativa: es la relación entre la presión parcial del vapor y la presión de vapor del líquido a la temperatura del gas. Generalmente se expresa sobre una base porcentual, de forma que la humedad del 100 por cien corresponde a gas saturado, y la del cero por ciento a gas seco.
5. Humedad relativa crítica: para un material fertilizante, puede definirse simplemente como la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe espontáneamente humedad y por debajo de la cual no la absorbe.
6. Malla: número de aberturas por pulgada lineal a partir del centro de cualquier alambre hasta el punto situado, exactamente a una pulgada de distancia.
7. Silo: tolva o depósito.

### SUMARIO

El presente trabajo considera el proceso de compactación de fertilizantes compuestos y las principales variables que lo afectan. Se detalla cada una de las etapas del proceso, desde la recepción de materia prima, hasta el envasado del producto terminado.

Experimentalmente se demuestra que la humedad relativa afecta la dureza del producto terminado, debido que las materias primas de los fertilizantes compuestos son higroscópicos (especialmente la urea). También se concluye que el aumento de la temperatura en el producto, a consecuencia de la presión que el compactador ejerce sobre el mismo, aumenta la dureza del producto terminado.

Finalmente, se dan a conocer las principales pruebas, tanto físicas como químicas, a través de las cuales se respalda un producto de calidad.

## INTRODUCCION

Los fertilizantes pueden definirse como una mezcla de nutrientes que proporcionan los elementos esenciales para mantener o bien hacer un suelo fértil, con el propósito de mantener una nutrición balanceada de los cultivos sembrados en dicho suelo, y de esta manera obtener una cosecha productiva.

Se han identificado varios elementos importantes en el crecimiento de las plantas, los cuales se clasifican en tres grupos:

- a. Nutrientes primarios: están constituidos por el nitrógeno, fósforo y potasio.
- b. Nutrientes secundarios: están constituidos por el calcio, magnesio y azufre.
- c. Micronutrientes: hierro, cobre, manganeso, boro, zinc, molibdeno y otros que se encuentran en forma de sales metálicas en el suelo.

Se distinguen dos tipos de fertilizantes: orgánicos e industriales; estos últimos a veces son designados inorgánicos.

Entre los orgánicos, se encuentran los universalmente conocidos como abonos, los cuales son materiales de desecho provenientes de animales y vegetales, por ejemplo: sangre, desechos de frutas, desperdicios de pescados, lodo de aguas residuales, estiércol seco, harina de semillas, harina de huesos y otros.

En el segundo grupo están los fertilizantes industriales, los cuales son formulados o sintetizados a gran escala por un proceso diseñado por el hombre. Existen dos tipos de fertilizantes industriales: complejos y compuestos.

Los fertilizantes complejos involucran dentro del proceso de producción reacciones químicas entre las materias primas que contienen a los nutrientes. Se pueden identificar tres tipos de fertilizantes complejos: Los fosfatos de amonio, los nitrofosfatos y los fertilizantes líquidos.

Los fertilizantes compuestos son aquellos que contienen dos o tres nutrientes primarios. Son producidos mediante una granulación de todas las fuentes de nutrientes individuales, o en otras palabras, una mezcla de gránulos de materias primas. Existen tres diferentes tipos: mezclas a granel, comúnmente conocidas como mezclas físicas, mezclas en polvo y mezclas compactadas, cuyo proceso es abordado en forma detallada en el presente trabajo.

El presente trabajo de tesis determina las condiciones óptimas del proceso de compactación de fertilizantes compuestos, para que la operación de la planta se realice eficientemente y se obtenga un producto terminado de calidad aceptable. Se demuestra que la humedad relativa afecta el proceso de compactación de fertilizantes compuesto, ya que su valor modifica la dureza del producto terminado y afecta de esta manera la calidad del mismo.

En la primera parte, se detalla el manejo de las materias primas que se van a utilizar en el proceso. En la segunda parte, el autor enfoca cada una de las etapas involucradas en el proceso de compactación de fertilizantes compuestos, métodos de control de calidad para materia prima y producto terminado; por último, experimentalmente se demuestra la influencia de la humedad relativa en el proceso de compactación.

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

**1. ANTECEDENTES**

La investigación bibliográfica en las bibliotecas de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Facultad de Ingeniería, Biblioteca Central, Universidad del Valle de Guatemala, y Universidad Landívar, mostró que no existe a la fecha ningún documento que detalle la COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS en Guatemala.

**2. JUSTIFICACIONES**

Siendo Guatemala un país evidentemente agrícola, es importante que los fertilizantes compactados utilizados presenten una calidad para alcanzar el nivel más alto de producción. En el año de 1995, la producción de fertilizantes compactados en Guatemala rebasó el medio millón de quintales<sup>1</sup>

Encontrar información detallada sobre el proceso de compactación de fertilizantes compuestos, actualmente es difícil. Guatemala posee una de las pocas plantas en el mundo que se dedica a compactar fertilizantes compuestos.

Por lo anteriormente expuesto, se pretende enriquecer a través del documento escrito un material bibliográfico que permita ilustrar adecuadamente el desarrollo de este proceso.

---

<sup>1</sup> Estadística de la empresa de fertilizantes compactados FERQUIGUA.

### 3. OBJETIVOS

- 3.1 Determinar las condiciones óptimas del proceso de compactación de fertilizantes compuestos, para que la operación de la planta se realice eficientemente y se obtenga un producto terminado de calidad aceptable.
- 3.2 Demostrar que la humedad relativa afecta al proceso de compactación de fertilizante compuesto y determina en gran medida la calidad del producto terminado.

### 4. HIPOTESIS

La elaboración de una guía para el proceso de compactación de fertilizantes compuestos es factible.

## CAPITULO II

## PROCESO DE COMPACTACION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS

## 1. RECEPCION Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS.

La calidad de las materias primas es un factor que afecta el proceso de compactación de fertilizantes. Las materias primas son polvos finos generalmente importadas. Independientemente del origen, la materia prima debe ser cargada en camiones y luego transportada al área de compactación. Se debe evitar que la materia prima se humedezca.

En el proceso de recepción, los camiones descargan la materia prima a unas fosas equipadas con cribas que retendrán todo objeto extraño de tamaño considerable que puede dañar la maquinaria desde donde la materia prima puede ser transportada por:

- a) Un transportador inclinado de paletas que deposita la materia prima en una banda transportadora instalada sobre un sistema de rieles que permite movilizar su descarga a un área específica.
- b) Un elevador de cubetas que deposita la materia prima es una tubería pivotante, a partir de donde se puede rotar para orientarla en el área de descarga deseada.

De esta manera, la materia prima es transportada al BIN o depósito horizontal donde queda almacenada hasta que sea utilizada en una formulación; la capacidad de estos depósitos es variable según el diseño y la materia prima que se almacene; sin embargo, normalmente oscilan entre 500 y 2000 TM. Es en esta etapa de recepción donde se muestrea la materia prima para verificar la composición química que el proveedor refiere.

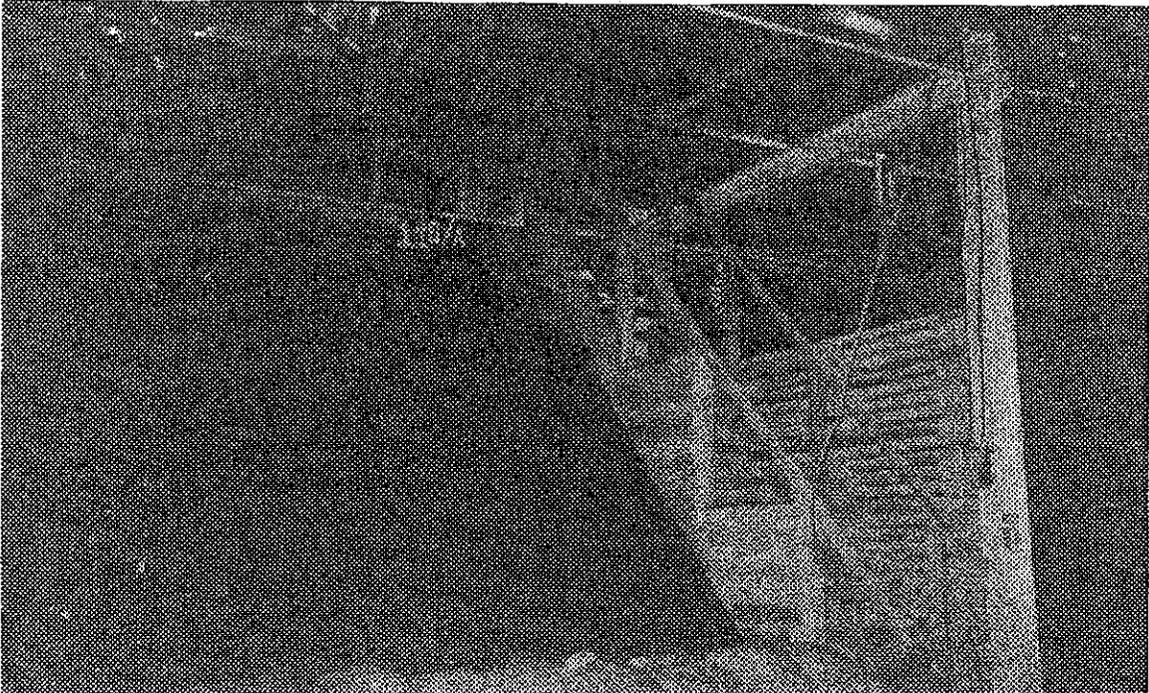


Figura 1. Un BIN o depósito horizontal que contiene sulfato de amonio a granel.

Algo que es común en la recepción de materias primas es su contaminación, debido principalmente a 2 causas:

- a) Error de operación, al seleccionar y descargar producto en un BIN equivocado, ya ocupado parcialmente con una materia prima diferente a la que se está recibiendo.
- b) Cuando el operador no advierte el llenado máximo del BIN, lo que provoca un rebalse del mismo y contamina otras materias primas en los bins aledaños.

La composición de las materias primas comunes en una planta de compactación de fertilizantes compuestos se muestra en el siguiente cuadro:<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>"Cuadro Completo de Fuentes de Nutrientes" Buen Fruto. Suplemento No. 1, marzo 1989. Comunicador de la Empresa de Fertilizantes DISAGRO.

CUADRO No. 1

Materia Prima	N	P	K	Ca	Mg.	Boro	S	Origen
Urea ( $N_2$ , H CO)	46							USA, HOLANDA MEXICO
Sulfato de amonio ( $NH_4$ , $SO_4$ )	21						24	USA, HOLANDA RUSIA
Fosfato de amonio simple (MAP) ( $NH_4$ , H $PO_4$ )	10	50		1.8	0.7		2.3	USA
Cloruro de potasio (KCl)			60					CANADA ALEMANIA
Sulfato de potasa magnesio (K-MAG)			22		18		22	USA
Boro ( $Na_2$ , $B_4$ , $O_7$ , $5H_2O$ )						48		USA

Todas las materias primas se encuentran en forma fina o polvo, aunque si hay necesidad de usar materias primas granulares, se someten primero a un triturado primario.

## 2. PRODUCCION DE FERTILIZANTES COMPUESTOS.

Como todo proceso, la compactación de fertilizantes compuestos consta de varias etapas, las cuales se detallan a continuación.

### 2.1 LLENADO DE SILOS CON MATERIA PRIMA

Después de seleccionar el Bin o depósito vertical que se va a llenar, un cargador frontal recoge la materia prima de los bins horizontales y luego la carga a una tolva equipada con un desmenuzador rotatorio que golpea y presiona todo aglomerado o terrón contra un tamiz fijo, que permitirá el paso sólo a determinado tamaño, y evitar de esta forma

taponamientos. La materia prima pasa luego a un elevador de cubetas que la transportará hasta el ducto que comunica con el Bin vertical. El número de bins verticales depende del número de materias primas utilizadas en las formulaciones de la planta. Cada uno de ellos alberga una materia prima específica. El operador del cargador frontal necesita de un ayudante que verifique la selección correcta del bin, y de esta manera evitar contaminación de materia prima mediante mezcla. Otro riesgo es el taponamiento del ducto de descarga del elevador de cubetas. Esto sucede generalmente cuando la materia prima tiene un grado de humedad muy alto, y permite que la tubería se incruste, de tal manera, que su diámetro interno se reduce dando lugar a un taponamiento fácil, que provocará a la postre un atascamiento del elevador de cubetas. Una limpieza periódica de estos lugares, así como un control a la hora de llenar los bins, permitirá una operación sin problemas en esta etapa del proceso.

Cuando la planta tiene que parar por algunos días, es recomendable que el bin vertical, que contiene la urea, quede vacío, ya que debido a que este producto es muy higroscópico, al permanecer mucho tiempo estático, se apelmaza de tal forma que no fluye a la hora de querer descargar urea en la mezcla a formular, lo que provocará pérdida de tiempo de producción.

## 2.2 PREMOLIDO DE MATERIAS PRIMAS

Cuando en la formulación se utilizan materias primas granulares, con una dureza superior a la urea perlada (por ejemplo

MAP granular), se hace un premolido de éstas, utilizándose para ello un molino tipo jaula.

Básicamente esta etapa del proceso comienza con la carga de una tolva equipada con un desmenuzador rotatorio y un tamiz fijo sobre el que se presiona todo aglomerado o terrón, que permite el paso sólo a determinado tamaño de partícula. El producto pasa a un elevador de cubetas que lo transportará a una tolva, desde la cual será dosificado a un molino tipo jaula por medio de un transportador de tornillo, hasta el elevador de cubetas que se utiliza para el llenado de los bins verticales; el triturado es depositado en el Bin vertical correspondiente para la formulación.

### 2.3 PESADO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA FORMULACION DESEADA

La pureza de la fórmula que se va a producir, depende en gran medida de que las materias primas sean agregadas en las cantidades exactas.

Se sugiere como regla general, hacer correcciones en las recetas de formulación de fertilizantes cuando a alguna materia prima se le reporta un contenido de un nutriente que varía en más de 1% del valor esperado.<sup>3</sup>

Una forma de calcular una receta para una fórmula es:

fórmula: 15-15-15

---

<sup>3</sup>Méndez, Carlos, Control de Calidad de Materia Prima y producto terminado en una planta formuladora de fertilizantes. (Tesis: Facultades de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle). Guatemala 1992. Página 33.

Materias primas a utilizar	Composición		
	%N	%P	%K
Fosfato de monoamonio (MAP)	10	50	0
Sulfato de amonio	21	0	0
Urea	46	0	0
Cloruro de potasio	0	0	60

Tomamos como base 100kg. de producto.

X= Cantidad de urea

Y= Cantidad de sulfato de amonio

Z= Cantidad de MAP

W= Cantidad de cloruro de potasio

Haciendo un balance para el nitrógeno de la fórmula:

$$0.46X + 0.21Y + 0.1Z = 15$$

donde: 15 representa el nitrógeno total de la fórmula y el valor que acompaña a cada una de las variables es el porcentaje de nitrógeno presente en cada una de las materias primas.

La cantidad de MAP se puede calcular fácil, ya que sólo esta materia prima contiene fósforo en este caso, entonces:

$$Z = \frac{15}{0.5} = 30 \text{ kg de MAP,}$$

$$0.5$$

donde: 15 representa el fósforo total en la fórmula y 0.5 es el contenido de fósforo en un kilogramo de MAP.

Sustituyendo este valor en la ecuación 1, tenemos:

$$0.46X + 0.21Y + 0.1 (30) = 15$$

$$0.46X + 0.21Y = 12 \text{ Ecu. 1A}$$

Todo lo que en las materias primas no constituye el nutriente en sí, será considerado como material de relleno. Por ejemplo, en

la urea, un 46% es nitrógeno y un 54% es material de relleno. Con base en el material de relleno, se construirá una segunda ecuación, pero antes se calculará la cantidad de cloruro de potasio, que es la única fuente de potasio en este ejemplo:

$$W = \frac{15}{0.6} = 25 \text{ kg de cloruro de potasio}$$

0.6

El material de relleno desconocido que corresponde a la urea y sulfato de amonio se calcula así:

$$\text{Relleno} = 100 - (Z + W + 12) = 100 - (30 + 25 + 12) = 33$$

Donde: 100 es la cantidad de 15-15-15 que se va a preparar y 12 son los kilogramos de nitrógeno que aportarían el sulfato de amonio y la urea. La ecuación queda así:

$$0.54 X + 0.79 Y = 33 \text{ Ecu. 2}$$

Resolviendo por simultaneidad las ecuaciones 1A y 2, tenemos:

$$X = \text{Cantidad de Urea} = 10.187\%$$

$$Y = \text{Cantidad de Sulfato de Amonio} = 34.83\%$$

La receta para un 15-15-15 requiere:

$$\text{urea} = 10.187\%$$

$$\text{sulfato de amonio} = 34.83\%$$

$$\text{fosfato monoamónico (MAP)} = 30\%$$

$$\text{cloruro de potasio} = 25\%$$

Con base en una receta y por medio de una central de control computarizado y una báscula industrial con su tolva, se pesan las cantidades de materia prima necesarias para la formulación en proceso.

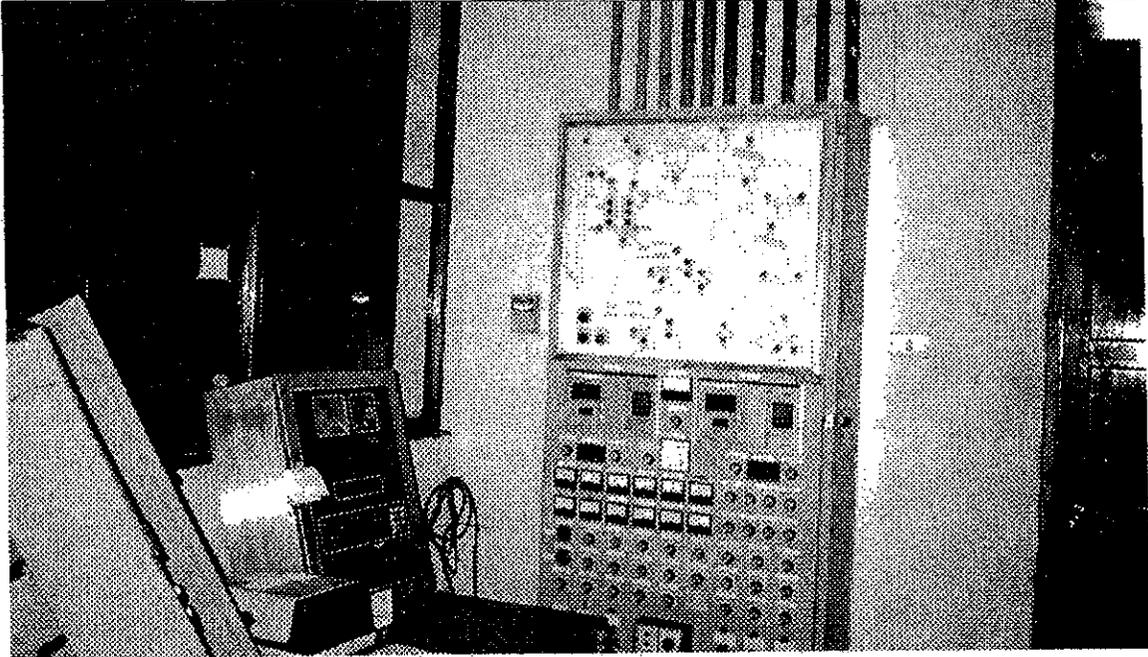


Figura 2. Cuarto de controles de una planta de compactación.

#### 2.4 MEZCLADO DE MATERIAS PRIMAS

Al tener pesadas todas las materias primas que se van a utilizar, de acuerdo con la receta de la fórmula que se va a producir, se procede a descargar la tolva de báscula a un mezclador. Este mezclador consta de aspas en forma de ancla, ubicadas a lo largo de un eje, bastante ajustadas a la carcasa, de manera que cuando rotan efectúan junto con el mezclado, la función de raspar todo producto adherido a la superficie de la carcasa.

El tiempo de mezclado no debe ser mayor de 1 minuto en las fórmulas, cuyo contenido de Urea es alto, pues hay problemas de fluidez al descargar el lote de mezcla, ya que éste se humedece.

Después de descargar el mezclador, la mezcla de finos es llevada por un transportador de paletas a un elevador de cubetas que lo transportará hasta un molino tipo jaula.

#### 2.5 TRITURACION DE LA MEZCLA

Utilizando un molino tipo jaula, todo gránulo presente en la mezcla de finos se desintegrará al hacer impacto contra las jaulas

de éste, que giran en sentido opuesto. La alimentación de la mezcla al molino de jaula debe ser moderada para lograr una molienda eficiente. Es frecuente, cuando se trabaja con productos húmedos, que la entrada al molino se bloquee, y dé lugar a una obstrucción del elevador de cubetas encargado de alimentar al molino. Las jaulas del molino tienden a incrustarse de material fertilizante, lo que hace que la máquina trabaje forzada. Estos problemas se minimizan por medio de una limpieza periódica de ductos y máquina en si.

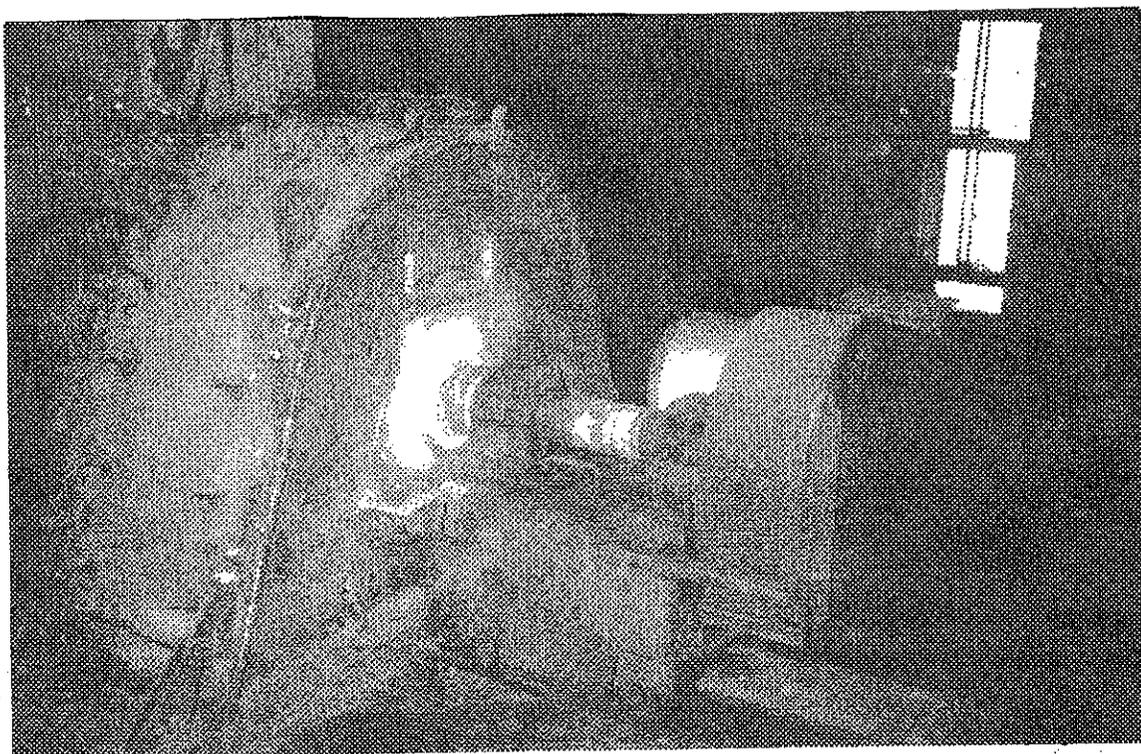


Figura 3. Un molino tipo jaula.

La mezcla, después de ser triturada, cae directamente a un silo que se le denomina: material primario. Cuando la producción se inicia, sólo se acumula un poco de producto en este silo y luego se inicia su consumo en el proceso, ya que si se acumula mucho producto, éste se compacta y cuesta lograr su fluidez.

## 2.6 MATERIAL DE RECICLO.

Un transportador de paletas gigantesco transporta todos los finos que se generan en el proceso a un silo denominado: material de recicló. Se localiza cerca del silo de material primario. El material de recicló constituye todos los finos que no clasificaron en la medida del producto terminado en el área de zarandas, así como todos los polvos recuperados en el área de ciclones. Una revisión constante, tanto en el Silo de material primario como en el de recicló, es la cantidad de producto en los silos. De preferencia, el silo de recicló debe estar vacío, es decir, que se este consumiendo continuamente todo el material de recicló que llega al mismo. Tanto en el silo de material primario como en el de material de recicló, el material es evacuado por un transportador de tornillo.

## 2.7 MEZCLADO CONTINUO

El mezclador continuo es una máquina que consiste en dos ejes colocados en una carcasa, con aspas situadas en posiciones específicas, de tal manera que al girar los ejes, propician la mezcla y un desplazamiento del producto a una próxima etapa del proceso.

El mezclado continuo tiene como objetivo principal mezclar el material primario con el material de recicló, tanto el material primario, como el recicló son alimentados al mezclador continuo, a través de transportadores de tornillo. En esta etapa del proceso, se adiciona agua cuando se compactan productos muy secos. El agua funciona como un aglutinante al

compactar esta clase de productos y mejora la resistencia de los compactos<sup>4</sup>.

Otra ventaja que se logra al adicionar agua en productos secos es una reducción del polvo en el ambiente de la planta.

El mezclador continuo requiere de una limpieza periódica, debido a que sus ejes y aspas se incrustan de producto, y provocan un trabajo forzado de la máquina.

El mezclador descarga el producto a un transportador de paletas que lo transportará hasta el compactador.

## 2.8 COMPACTACION

La mezcla de finos es introducida al compactador, a través de la acción de tornillos alimentadores. Las máquinas de compactación entre rodillos consisten esencialmente de un juego de dos rodillos accionados, de forma que giren hacia el interior de la máquina. Uno de los rodillos es fijo, mientras que el otro flota en un árbol desplazable dispuesto, de forma tal, que se le pueda aproximar al rodillo fijo mediante pistones hidráulicos.

El fertilizante que se va a compactar se alimenta continuamente, desde arriba, al punto de convergencia de los rodillos. Debido a la enorme presión que puede ejercerse sobre la mezcla de finos cuando pasa entre los rodillos, las partículas se funden en una lámina o tableta de producto que sale por debajo de los rodillos.

---

<sup>4</sup>PERRY, Robert H. y Chiltón, Cecil H. Manual del Ingeniero Químico. 2a. edición en español. México: Edit. McGraw Hill, 1982. pp 8-68.

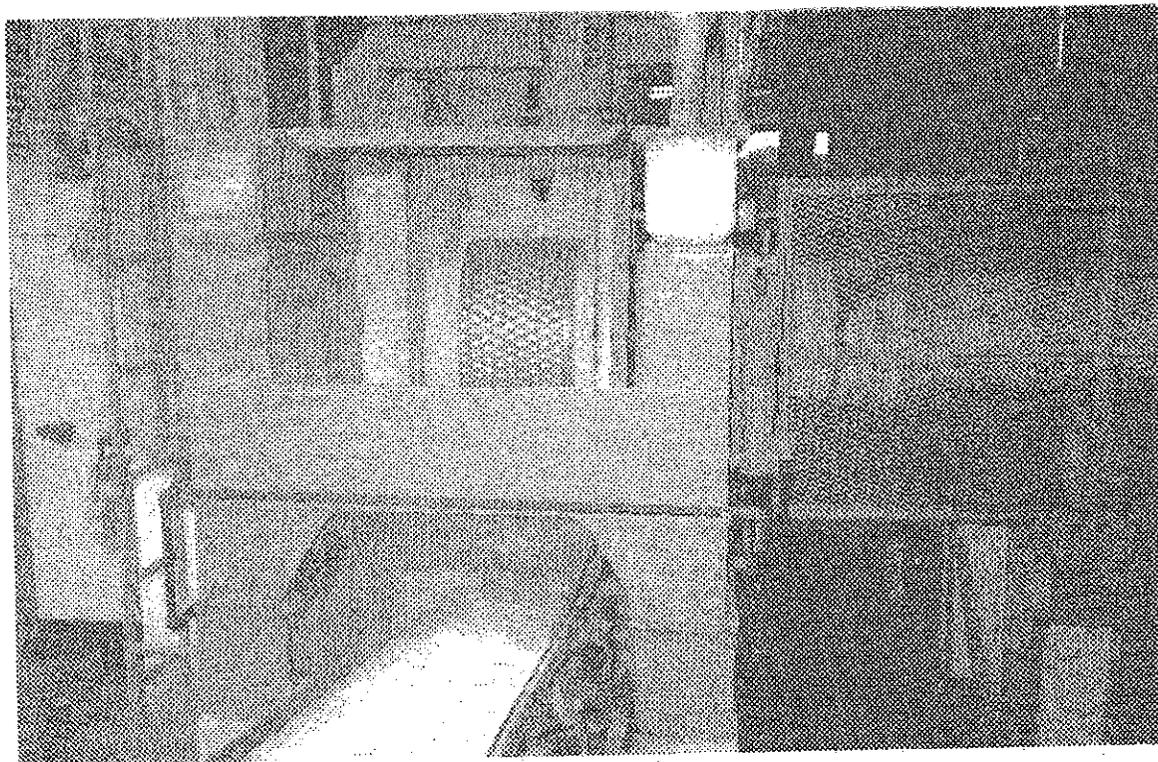


Figura 4. Compactador de fertilizantes.

La compactación de un fertilizante compuesto es afectada por los siguientes factores:

a) **Humedad de la mezcla:** la mayor parte de fertilizantes compuestos poseen una humedad que proviene de las propiedades higroscópicas de sus materias primas al reaccionar a la humedad relativa ambiental.

Entre las materias primas, hay unas más higroscópicas que otras, por ejemplo: la urea es más higroscópica que el sulfato de amonio; de esta manera, dependiendo de los porcentajes de cada materia prima en la mezcla, se tendrá una mezcla más o menos sensible a la humedad relativa. Lo deseable en una planta de

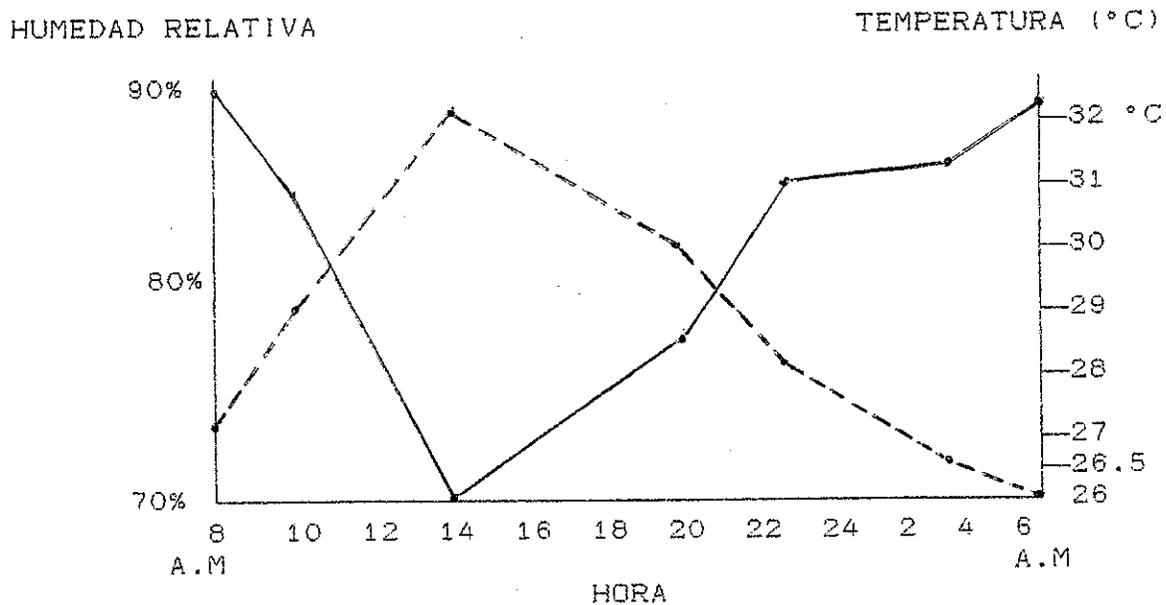
compactación de fertilizantes compuestos son humedades relativas abajo de 60%, ya que los compactos tendrán una mayor dureza, debido a que esas humedades están debajo de las humedades críticas de las mezclas de materias primas utilizadas. Sin embargo, controlar el ambiente de la planta es algo económicamente no factible, por lo tanto, lo más que se puede hacer, es tratar de minimizar los efectos de la humedad relativa, y establecer una programación de producción acorde a la humedad relativa ambiental, es decir, que al compactar mezclas muy higroscópicas, hay que tratar de producirlas en las horas del día que presenten las humedades relativas más bajas; en un día normal, esto sería aproximadamente de 10 AM a 17 PM.

## CUADRO No. 2

COMPACTADORAS DE RODILLOS QUE SE UTILIZAN  
EN LA ACTUALIDAD

	Allis-Chalmers	Komarek-Greaves	Humboldt	Vulcan-Koppers
Diámetro de los rodillos, cm	61	71	91	102
Anchura de los rodillos, cm.	61	69	119	127
Revoluciones por minuto	24	42	25	14
Velocidad Periférica, m/min.	46	94	72	47
Construcción de los rodillos	Camisa de fundición. Eje macizo de acero.	Rodillo de fundición. Camisa de aleación de 2 pulgadas. Eje hueco.	Acero fundido. Enfriamiento interno por agua.	Cuerpo y eje monobloque. Superficie inferior del rodillo enfriado por agua.
Cojinetes	Manguito o rodillo	Rodillo	Rodillo	Rodillo
Capacidad del motor (KW)	149-224	373	2 x 186	448
Presión aplicada, kg/cm	3575	3932	4182	5362
Método de alimentación	Por gravedad o alimentación forzada con tornillos gemelos verticales.	Alimentación forzada, con tornillos gemelos cuneiformes (relación 4:1)	Alimentación forzada por sistema hidráulico gemelo de velocidad variable.	Cinco alimentadores a presión hidráulicos, de 22 k W, accionados a motor.
Capacidad, tph	27	45	77	91
Cadencia de producción aproximada (material de malla 6 x 14), tph.	11	20	26	27

Figura No. 5  
Variación de la humedad relativa  
ambiental en la planta: FERQUIGUA  
Fecha: 8-10-93



- Comportamiento de humedad relativa respecto al tiempo (hora).
- Comportamiento de temperatura ambiental respecto al tiempo (hora).

## CUADRO NUMERO 3

Valores de humedad crítica de sales puras y de mezclas a 30°C, expresados como porcentajes de humedad relativa.

46.7 NITRATO CALCICO											
23.5	59.4 NITRATO AMONICO										
37.7	46.3	72.4 NITRATO SODICO									
-	18.1	45.6	72.5 UREA								
-	51.4	51.9**	57.9	77.2 CLORURO AMONICO							
-	62.3	-**	56.4	71.3	79.2 SULFATO AMONICO						
-	59*	-	62*	-	72*	82.5 FOSFATO DIAMONICO					
22.0	67.9 **	66.9*	60.3	73.5	71.3**	70*	84.0 CLORURO POTASICO				
31.4	59.9	64.5	65.2	67.9	69.3	-	78.6	90.5 NITRATO POTASICO			
52.8**	58.0	63.8	65.2	-	75.8	78*	72.8**	59.8	91.6 FOSFATO MONOAMONICO		
46.2	52.8	68.1	65.1	73.9	87.7	78*	-**	87.8	88.8	93.6 FOSFATO MONOCALCICO	
76.1**	69.2**	73.3**	71.5	71.5	81.4	77*	81	87.8	79.0	-**	96.3 SULFATO POTASICO

\* VALORES APROXIMADOS OBTENIDOS POR LA TVA.

OTROS DATOS SE HAN TOMADO DE LA LITERATURA

\*\* PAR DE SALES INESTABLE; EL VALOR DADO ES PARA EL PAR ESTABLE

b) **Presión:** Las presiones a que se sujetan los rodillos del compactador varían de acuerdo con las propiedades de la mezcla del fertilizante compuesto. Por ejemplo, si se va a producir una fórmula de poca dureza como el 18-6-12, la presión del sistema estará más o menos en 75 BAR (764,625 kg/mt<sup>2</sup>); por el contrario, con una fórmula como el 16-20-0 que es de regular dureza, la presión estará alrededor de los 150 BAR. La presión para cada fórmula dependerá de las propiedades de sus materias primas en lo que se refiere a compactibilidad.

c) **Compactibilidad de materias primas:** es la dureza que presentan los compactos de cada materia prima. Para establecer esto, es necesario compactar cada una de las materias primas. La experiencia arroja los siguientes resultados:

CUADRO NUMERO 4

DUREZA DE COMPACTOS			
MATERIA PRIMA	BAJA	BUENA	EXCELENTE
UREA	X		
CLORURO DE POTASIO			X
SULFATO DE AMONIO		X	
FOSFATO MONOAMONICO			X
BORO			X
KMAG	X		

NOTA: el cloruro de potasio se granula a escala comercial por compactación, y su dureza es excelente, pero su producción está sujeta al agregado de aditivos, rodillos especiales y granulometría

de finos controlada. Cuando se le compacta fuera de estas especificaciones, su dureza baja considerablemente.

La descripción cualitativa de la dureza de compactos se define así:

BAJA = Desmorona fácil al presionar con los dedos.

BUENA = Desmorona con mucha dificultad al presionar con los dedos.

EXCELENTE= No desmorona al presionar con los dedos.

Como puede verse, al conocer los porcentajes de cada materia prima en la receta de la fórmula que se va a compactar, se puede predecir más o menos de acuerdo con el cuadro No. 5 la dureza del producto terminado; sin embargo, no hay que pasar por alto las variables de presión y humedad.

d) **Granulometría:** Toda la mezcla que se va a compactar debe presentarse como polvo, de ahí la importancia del triturado de la mezcla. La presencia de partículas sin triturar puede debilitar el compacto y hacerlo frágil. Sin embargo, la experiencia indica que hay resistencia para compactar las mezclas que presentan una proporción muy elevada de finos provenientes del área de ciclones, cuyo tamaño de partícula es entre 5 y 200 micras aproximadamente<sup>5</sup>.

El producto que los alimentadores de tornillo del compactador no logran introducir entre los rodillos, forman incrustaciones en el tornillo y áreas aledañas, algunas de ellas muy fuertes y capaces de gastar el metal del tornillo mismo con el tiempo de trabajo en estas condiciones. Todas estas incrustaciones restan la

---

<sup>5</sup>Ibid., pp 20-92

eficiencia de trabajo del compactador, por lo que cada cierto tiempo, es necesario una limpieza en el área de los tornillos alimentadores. En un turno de 12 horas, se debería hacer esta limpieza por lo menos una vez.

## 2.9 TRITURACION DE COMPACTOS

Las tabletas que salen del compactador son llevadas por una faja transportadora a un elevador de cubetas, el cual descarga el producto en el área de zarandas para una primera clasificación de tamaños, ya que los compactos de fertilizantes compuestos no tienen mucha dureza, y en el trayecto del compactador a las zarandas, ya se han fragmentado un poco por los diferentes impactos sufridos en el trayecto. La trituración de compactos se efectúa con molinos de cadena. Como su nombre lo indica, son cadenas sujetas a un rotor, las cuales hacen impacto sobre los compactos y los fragmentan. La operación de triturado se da con todos los fragmentos de tableta que no clasificaron en zaranda para producto terminado; este triturado es sometido a otra clasificación en zaranda y el ciclo se repite. La velocidad de rotación del molino de cadenas no debe ser muy alta para una gran mayoría de fertilizantes compuestos (como se mencionó anteriormente sus compactos son suaves); con esto, se tendrá una mayor cantidad de producto clasificado. Lo recomendable para estos molinos es que posean motores con velocidad de rotación ajustable. La acción de las cadenas contra el producto forma verdaderos bloques de incrustación en la carcasa del molino, por lo que la limpieza es importante en esta zona, cada cierto tiempo.

## 2.10 CLASIFICACION DE PRODUCTO TERMINADO

Esta operación se da en el área de zarandas. Cada zaranda cuenta, en este caso, con dos tipos de tamices:

a) Tamices superiores: su función es clasificar todo el producto que no califica como producto terminado por su medida muy grande. Partiendo de estos tamices, los compactos semitriturados llegan a los molinos de cadena, a través de ductos por acción de la gravedad. La medida de malla es 4.

b) Tamices inferiores: su función es clasificar el producto terminado, separándolo de los finos y gránulos que no califican en la medida mínima permitida. La medida de malla es 8. Después del recorrido en el proceso de clasificación en zaranda, el producto terminado, a través de ductos y por acción de gravedad, es depositado en una faja transportadora que lo llevará a la etapa de recubrimiento.

Esta es una de las áreas de la planta, donde se genera más polvo y material de recicló que está constituido por los finos que no clasifican como producto terminado. La limpieza de los tamices, principalmente los inferiores, es necesaria, ya que las aberturas del tamiz se bloquean permitiendo el paso de gránulos muy finos al producto terminado y, en caso extremo, polvo. Para evitar estos problemas, los tamices se deben limpiar durante el proceso con cepillos de cerda metálica.

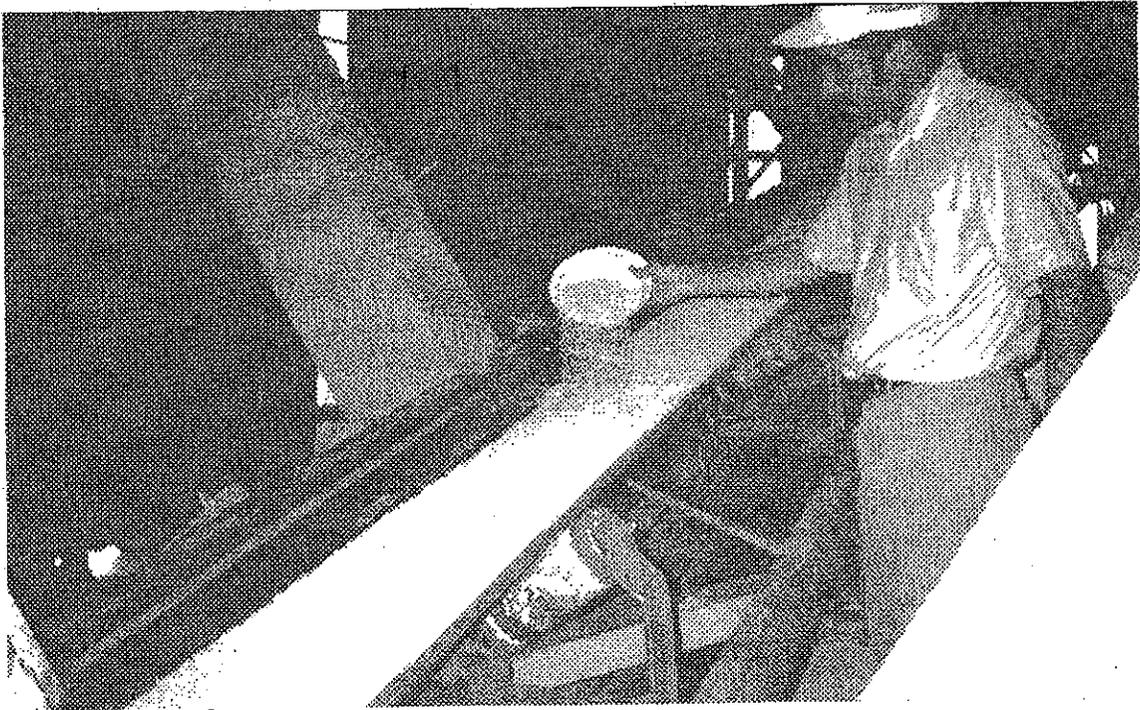


Figura 6: producto terminado de un fertilizante compuesto compactado.

El producto terminado de fórmulas con dureza regular presenta en porcentaje acumulado, un 96% aproximado de producto retenido hasta el tamiz 10. Este porcentaje es menor en productos suaves.

### 2.11 RECUPERACION DE POLVOS

Esta etapa es muy importante, tanto por la recuperación de producto como por la salud de los trabajadores de planta. Los principales lugares donde se genera polvo durante el proceso son: zonas de trituración, zonas de zarandas, área de compactación y caídas de producto terminado. En cada una de estas zonas, se colocan ductos de succión, conectados a un ventilador. Antes de que el polvo llegue al ventilador por el efecto de succión, se hace

pasar por el área de ciclones, bajos los cuales se encuentra ubicada una pequeña tolva donde caerá el polvo recuperado. Esta tolva está provista de vibración y un rotor de aspas que evacuará constantemente el polvo recolectado, y lo deposita, a través de un ducto al transportador de recicló.

El polvo que no es recuperado por la acción de los ciclones llega hasta el ventilador, donde es descargado a una zona de aspersores de agua, lo que constituye el lavador de polvos de la planta; al final el aire sale libre de polvo al ambiente.

La tubería de succión tiende a obstruirse, ya que debido a la humedad relativa del ambiente el polvo se adhiere a la tubería, dando los peores efectos en las zonas donde el aire de succión presenta cambios bruscos en su dirección, principalmente en codos. La tubería debe estar provista de compuertas de registro en los lugares críticos. Se debe programar limpieza en la tubería de succión y ciclones, cada cierto tiempo, lo cual depende de la gravedad de obstrucción e incrustación. El colocar una cadena que penda de la parte superior de cada ciclón ayudará a prolongar por más tiempo la limpieza de éstos.

## 2.12 RECUBRIMIENTO DEL PRODUCTO TERMINADO Y ENVASADO

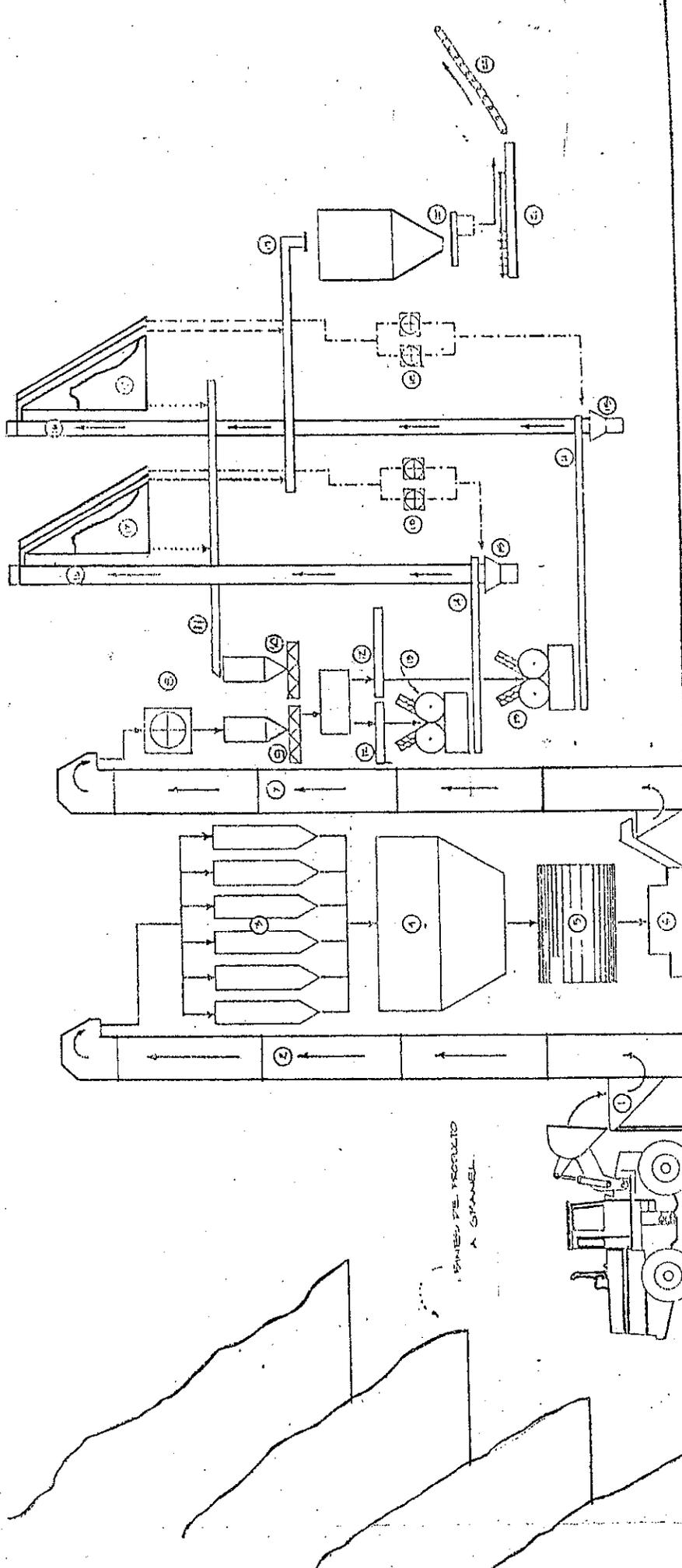
Entre el momento en que se fabrican y su aplicación final en el suelo, los fertilizantes han de almacenarse, a granel o en sacos. El período de almacenamiento varía considerablemente y puede ser de menos un mes o más de un año. Es esencial que durante este período de almacenamiento, el "apelmazamiento" debe ser mínimo. Para prolongar estas condiciones, el producto terminado se

somete a un recubrimiento con agentes que se adhieren a la superficie de los gránulos. La mayor parte de los acondicionadores que se utilizan ahora en los fertilizantes granulares son o polvos muy finos que se adhieren a la superficie de los gránulos o líquidos que se aplican a sus superficies con aparatos de aspersion. La función de los acondicionadores es impedir o debilitar los puentes o enlaces entre gránulos, con el resultado de que el apelmazamiento es menor.

En los fertilizantes compuestos compactados, el recubrimiento aplicado es líquido, ya que es un tipo de fertilizante muy propenso a generar polvo por desintegración de gránulos, por lo que una aplicación de un acondicionador en polvo agravaría el aspecto del producto.

Un ejemplo de recubridor o acondicionador líquido es una solución formada por: lignosulfonato, urea, melaza y agua. La solución presenta una densidad de más o menos 1.28 gr/cc, y la forma como se impregna el producto es la siguiente:

La faja de producto terminado descarga en un mezclador en forma de tornillo, de manera que al mismo tiempo que lleva a cabo un mezclado se realiza el traslado del producto al silo o tolva de ensacado. Durante el trayecto a lo largo del tornillo, el producto es impregnado por una aspersion de la solución mencionada anteriormente. Con fórmulas cuyo producto es suave, este método de recubrimiento no puede aplicarse, ya que la acción del tornillo desintegra los gránulos del producto y se genera polvo.



**PROCESO DE COMPACTACION Y ENSACADO**

No.	DESCRIPCION
12	Transportador de Paletas
13	Compactadores
14	Bandas Inclínadas
15	Molino
16	Elevadores No. 3 y No. 4
17	Zarandas
18	Molinos de Cadena
19	Banda de Producto Terminado
20	Ensayadora
21	Banda Horizontal
22	Banda Inclínada

No.	DESCRIPCION
1	Demenzador Rotatorio
2	Elevador No. 1
3	Pines de Carga
4	Bascula
5	Mezclador
6	Transportador de Paletas
7	Elevador No. 2
8	Molino Tipo Jaula
9	Tornillo Primario
10	Tornillo de Reciclo
11	Transportador de Reciclo

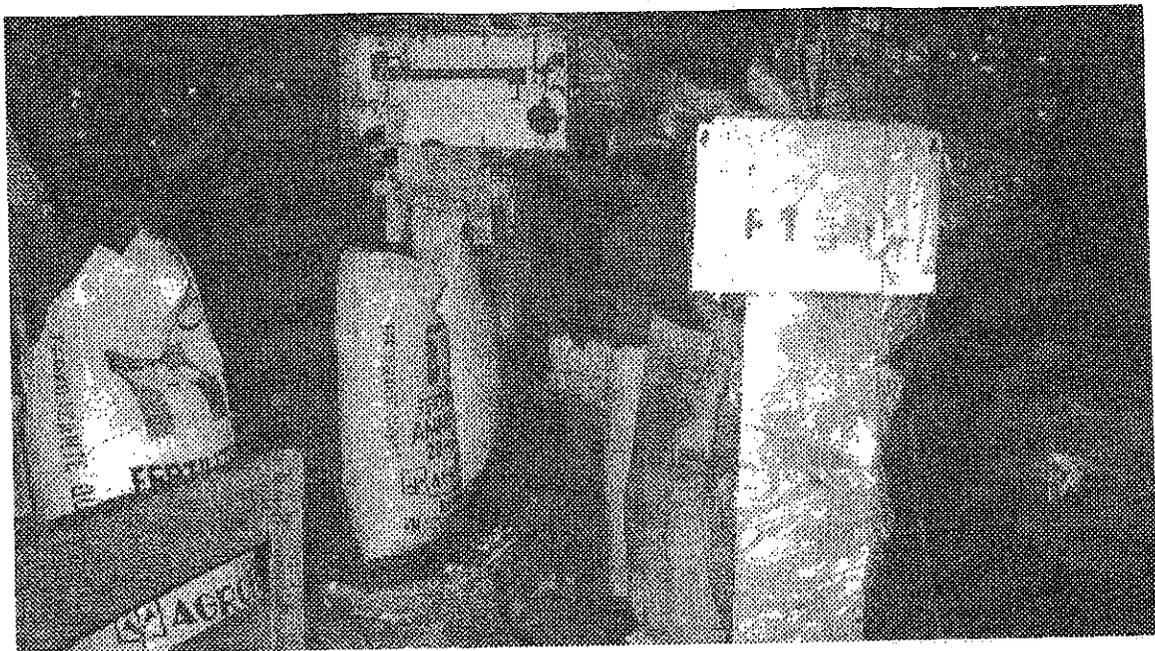


Figura 7. Envasado del Fertilizante compactado.

Ya recubierto el producto, pasa a la tolva de ensacado donde normalmente se envasa en sacos de 46kg. aunque eventualmente se envasa también en sacos de 100kg. Ya ensacado, el producto es transportado por fajas, para ser depositado por los cargadores, ya sea a un camión o a la bodega de planta.

### 2.13 CONSIDERACIONES GENERALES

Debido a lo higroscópico de las materias primas que se van a utilizar en el proceso de compactación de fertilizantes compuestos, en el inicio de la producción, es necesario que el sistema esté seco. Generalmente esto no se logra en su totalidad, ya que los residuos de fertilizantes de producciones anteriores, afectados por la humedad ambiental, han humedecido el sistema; sin embargo, es posible minimizar estos efectos produciendo, al empezar, un poco de alguna fórmula carente de urea, que es la materia prima más sensible a la humedad entre las usuales comúnmente en proceso.

Producir un poco de MAP compactado al principio, es también funcional.

Siempre que haya cambio de fórmula o fin de producción, es necesario verificar que los silos del material primario y material de recicló queden vacíos. Generalmente, al terminar la producción de cualquier fórmula, quedará un poco de material de recicló que se evacuará del sistema, para evitar contaminar la próxima fórmula que se va a producir.

Aunque la humedad del sistema se minimice, generalmente lo primero del fertilizante compuesto producido presenta poca dureza y mucha humedad, por lo que es necesario separarlo y dosificarlo posteriormente al sistema durante la producción de la misma fórmula.

CAPITULO III  
CONTROL DE LA CALIDAD DEL FERTILIZANTE  
COMPUESTO COMPACTADO

Las pruebas a que es sometido el producto terminado son de dos tipos: pruebas físicas y pruebas químicas.

### 3.1 PRUEBAS FISICAS

Determinan las propiedades físicas del fertilizante compactado. Las más importantes son:

a) Determinación de Granulometría: la prueba se refiere básicamente a la determinación de la medida de los gránulos del fertilizante. Para la ejecución de esta prueba, es necesario el siguiente equipo:

- Un agitador de tamices.
- Un juego de tamices (por lo menos del 4 al 48)
- Una balanza capaz de determinar gramos.

La prueba se puede resumir así:

- a.1) Tomar muestra representativa del producto terminado.
  - a.2) De la muestra anterior, se pesan 200 gramos.
  - a.3) Los doscientos gramos de producto se colocan en el juego de tamices convenientemente ordenados del mayor al menor.
  - a.4) Colocar el juego de tamices con producto en el vibrador por un tiempo de 5 minutos.
  - a.5) Pesar el producto retenido por cada tamiz.
  - a.6) Determinar el porcentaje retenido en cada tamiz con base en el peso total de producto.
- b) Determinación de dureza del producto: esta prueba al final

queda determinada por un porcentaje de abrasión. Si este porcentaje es alto, significará que el producto es muy suave.

Equipo necesario:

- Agitador de tamices.
- Un cronómetro.
- Tamices No. 8 y 16.
- Una balanza capaz de determinar gramos.

El método que se va a utilizar es el siguiente:

- b.1) Tamizar el producto de muestra en tamiz No. 8, hasta completar 200 gramos (producto retenido por tamiz).
- b.2) Colocar esta cantidad de muestra en tamiz No. 16, juntamente con 36 balines (5/8" de diámetro) y plato de fondo del juego de tamices.
- b.3) Someter la muestra a vibración-agitación por espacio de 10 minutos.
- b.4) Recolectar el producto del plato de fondo y pesar.
- b.5) Calcular el porcentaje.

c) **Contenido de humedad:** por su simplicidad, es recomendable utilizar el método por secado en horno al vacío con un agente desecante. Este método es aplicable a muestras de fertilizantes que no den lugar a otras sustancias volátiles además del agua, por ejemplo, químicos que liberan amoníaco, como es el caso de algunas aminas inorgánicas. Los reactivos y equipo que se van a utilizar son los siguientes:

- Desecador que contenga perclorato de magnesio anhidro, Mg (ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, para desecar el aire que va a introducir al horno.

- Horno de vacío con capacidad para permitir la entrada de aire deseado.
- Recipiente de pesado con cobertura.

El método se puede resumir de la manera siguiente:

Se determina la pérdida de peso de una masa conocida del fertilizante, luego de hornearlo a 50°C con un flujo de aire desecado, manteniendo un vacío de 19 a 21" de Hg, por 2 hrs.

### 3.2 PRUEBAS QUIMICAS

- a) Determinación del contenido de nitrógeno en sus diferentes formas.

Para determinar las tres formas de nitrógeno, es decir nítrico, amoniacal y total, se emplea el método de Kjeldahl.

Los métodos que se describen a continuación, para nitrógeno total y nítrico, son aplicables para todo tipo de fertilizantes. Sin embargo, el método descrito para nitrógeno amoniacal no es aplicable para fertilizantes que contienen fosfatos amoniacales metálicos o bien Urea o derivados de ésta.

#### a.1) Reactivos y equipo

Los reactivos que se utilizan indistintamente para cuantificar nitrógeno total, amoniacal y nítrico son los siguientes:

- Agua desionizada para la preparación de todas las soluciones y extractos.
- Acido sulfúrico 0.5 N
- hidróxido de sodio 0.25N
- Solución indicadora de rojo de metilo (1gr/200ml de alcohol etílico).

- Perlas de ebullición.

Además de las anteriores, para nitrógeno amoniacal también se utiliza:

- Oxido de magnesio libre de carbonatos.

En el caso de nitrógeno total y nítrico, adicionalmente a los primeros cuatro reactivos, también se utilizan los siguientes:

- Acido sulfúrico concentrado libre de nitrógeno
- Solución de hidróxido de sodio al 50%
- Sulfato de cobre libre de nitrógeno
- Sulfato de potasio libre de nitrógeno
- Perlas de ebullición

Exclusivamente para nitrógeno total:

- Metal cromo, 100 mesh, libre de nitrógeno
- Acido clorhídrico concentrado.

Exclusivos para nitrógeno nítrico

- Metanol
- Sulfato ferroso

El equipo utilizado para las tres formas de nitrógeno es el de digestión y destilación Kjeldahl con matraces de 800 ml.

#### a.2) Método

En el caso del nitrógeno total, se coloca un peso conocido de la muestra en un matraz Kjeldahl, luego se hacen dos digestiones, la primera combinando polvo de Cr, y ácido clorhídrico, HCl, y la segunda combinando  $H_2SO_4$  (1 + 1),  $CuSO_4$  Y  $K_2SO_4$ . A continuación, se induce la formación de amoníaco mediante la adición de un exceso de NaOH al 50% al matraz Kjeldahl que contiene la muestra digerida y se lleva a cabo la destilación.

Para determinar el nitrógeno amoniacal, se procede directamente a destilar sin una digestión previa. La formación de amoníaco es inducida por la adición de óxido de magnesio, MGO, a un peso conocido de la muestra previamente colocada en un medio acuoso.

Para determinar nitrógeno nítrico, primero se lava y filtra con porciones de metanol y agua un peso conocido de la muestra. Luego, en un matraz Kjeldahl, se hacen dos digestiones de una porción del filtrado, la primera con  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, y la segunda con  $\text{CuSO}_4$ . Luego, y en forma similar al nitrógeno total, se induce la formación del amoníaco mediante la adición de NaOH al 50% y se destila.

En cualquiera de los tres casos descritos anteriormente, al momento de iniciar la formación de amoníaco, inmediatamente se conecta el matraz al sistema de destilación, y se recibe el amoníaco en un erlenmeyer con un volumen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 N suficiente para neutralizar todo el destilado y quedar un exceso.

Por último, se titula el exceso de ácido con NaOH 0.25 N al punto final del rojo de metilo.

b) Determinación del contenido de fósforo en sus diferentes formas.

El método espectrofotométrico es el más rápido, preciso y exacto. Es aplicable para muestras cuyos extractos son incoloros y está el fósforo presente en ellos como ortofosfato.

Los reactivos para la preparación de las muestras para fósforo total son los siguientes:

- Agua desionizada para todas las soluciones y extractos.

- Acido nítrico concentrado.
- Acido perclórico concentrado.
- Solución 4N de ácido perclórico.
- Solución de nitrato de magnesio, 0.95 gr/ml.

Para la preparación de muestras para fósforo disponible:

- Solución neutra de citrato de amonio, pH = 7 y gravedad específica 1.09.
- Solución de ácido nítrico 1 : 1.

Reactivos para la cuantificación de ortofosfatos:

- Reactivos de molivdovanadato con 20 gr/L de molibdato de amonio tetrahidratado y 1 gr/L de metavanadato de amonio mezclados con un medio acuoso, con aproximadamente 22% (v/v) de ácidos perclórico.

#### Equipo:

- Baño de agua con temperatura constante.
- Embudo de filtración con un vástago de salida de por lo menos 10 cm.
- Espectrofotómetro para el rango visible con celdas de 1 cms de ancho.

#### Método

Para extraer fósforo total, se digiere un peso conocido de la muestra, primero con ácido nítrico, luego con ácido perclórico, ambos concentrados. En esta etapa, se debe tener acceso a una campana de extracción especial y al equipo adecuado para tomar todas las precauciones necesarias. Para finalizar la etapa de extracción, la solución digerida se filtra.

Para extraer fósforo disponible, se coloca un peso conocido de la muestra en un papel filtro posicionado en un embudo. Luego se hacen entre 15 y 18 lavados continuos con agua, recolectando el filtrado en un balón volumétrico de 500 ml. A continuación, el papel filtro y el residuo se trasladan a un envase que contiene la solución de citrato de amonio. Se cierra el envase y se traslada a un baño de temperatura controlada para digerir por 1 hora a 65°C. El digerido se traslada al envase que contiene el extracto acuoso y se afora. Luego se filtra y se digiere una alícuota con ácido perclórico 4N.

Para cuantificar los ortofosfatos en el extracto de la muestra, primero se preparan soluciones patrón de fosfato monobásico de potasio con 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 mg de  $P_2 O_5$  en 100 ml. De la misma manera, se diluye una alícuota del extracto de la muestra de tal manera que de una solución que contenga de 2.0 a 5.0 mg de  $P_2 O_5$  en 100 ml.

A cada alícuota, se le desarrolla color mediante la adición de 20 ml del reactivo de molibdovanadato y finalmente se aforan. A continuación, se llena la celda de referencia y la de muestra con la solución de 2mg  $P_2 O_5$  (100ml y, empleando una longitud de onda de 400nm, se ajusta el cero en el espectrofotómetro. A continuación, se hacen lecturas de absorbancia del resto de los patrones y de la muestra. Por último, se hace una gráfica de absorbancia en función de concentración con los datos de las soluciones patrón y la concentración de la muestra se lee de la gráfica.

c) Determinación del contenido de potasio total.

Por la exactitud y comodidad de trabajo, es recomendable

utilizar el método espectrofotométrico. El método es aplicable para todo fertilizante, cuyos aniones interferentes puedan ser eliminados mediante el uso de una columna de intercambio iónico.

Los reactivos que se van a utilizar son los siguientes:

- Agua desionizada para preparar todas las soluciones y extractos.
- Oxalato de amonio 4%
- Solución indicadora de rojo de metilo, (0.2gr/100ml. etanol)
- Acido nítrico (1 + 10)
- Resina de intercambio aniónico: se tienen las siguientes opciones: Rexyn 203 (OH), Duolite A-7, Duolite A-41, De-Acidite, Permutit S. Se debe regenerar cada 10 intercambios mediante lavados continuos con NaOH 5% y luego con HNO<sub>3</sub> 5%.
- Hidróxido de sodio 5%
- Acido nítrico 5%
- KNO<sub>3</sub> o KCL grano analítico.

### Equipo

- Espectrofotómetro de emisión atómica en llama.
- Columna de intercambio aniónico de vidrio de 12" de longitud y 2.5cm de diámetro externo.
- Agitador eléctrico.

### Método

Un peso conocido de la muestra se digiere a ebullición con una solución acuosa de oxalato de amonio; se toma una alícuota del extracto previamente filtrado y se neutraliza con ácido nítrico

utilizando rojo de metilo como indicador. Luego, cuantitativamente se pasa la alícuota por la resina y se hacen varios lavados con agua. Todo se recolecta en un balón volumétrico y se afora. A continuación, se hacen lecturas de emisión a 766.5nm. El contenido de potasio se lee de una curva de emisión en función de concentración, obtenida al hacer lecturas de emisión de soluciones patrón de  $\text{KNO}_3$  o  $\text{KCL}$  con 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 microg k/ml.

Cuando se están analizando muestras, cuyas fuentes de potasio son cloruro de potasio y sulfato de potasio no es necesaria la digestión con oxalato de amonio. Las muestras se disuelven en agua y luego de filtradas, si la fuente es sulfato de potasio, se pasan por la columna de intercambio. En cambio, si la fuente de potasio es cloruro de potasio, se procede directamente a hacer las lecturas de emisión.

## CUADRO No. 5

**Especificaciones Empresariales  
para el producto terminado**

Aplicabilidad		Características objetiva de calidad	Especificación	Fuente de norma
14	Mezcla física a granel y compactadas	Contenido de nitrógeno total como N: 0 - 10 % (p/p) 10 - 15 % (p/p) 15 - 20 % (p/p) 20 % (p/p) o más	Variación tolerada (+ -) 0.6 % (p/p) 0.7 % (p/p) 0.8 % (p/p) 1.0 % (p/p)	ICAITI 44-009
		Contenido de fósforo disponible como P205: 0 - 5 % (p/p) 5 - 10 % (p/p) 10 % (p/p) o más	Variación tolerada (+ -) 0.3 % (p/p) 0.4 % (p/p) 0.5 % (p/p)	ICAITI 44-009
		Contenido de potasio como K20: 0 - 10 % (p/p) 10 - 20 % (p/p) 20 % (p/p) o más	Variación tolerada (+ -) 0.5 % (p/p) 0.7 % (p/p) 0.9 % (p/p)	ICAITI 44-009
		Contenido de magnesio como MgO: 0 - 4 % (p/p) 4 - 8 % (p/p) 8 % (p/p) o más	Variación tolerada (+ -) 0.2 % (p/p) 0.3 % (p/p) 0.4 % (p/p)	ICAITI 44-009
		Contenido de boro como B203: 0 - 1 % (p/p) 1 - 2 % (p/p) 2 o más (p/p)	Variación tolerada (+ -) 0.2 % (p/p) 0.3 % (p/p) 1.1 % (p/p)	ICAITI 44-009

Continuación  
Cuadro No. 5  
Especificaciones empresariales  
para el producto terminado

Producto terminado	Característica objetiva de calidad	Especificación	Fuente de norma
(Continuación) Mezclas físicas a granel y compactadas	Contenido de micronutrientes	Variación tolerada (+ -) 40 % (p/p) del contenido garantizado	ICAITI 44-009
	Contenido de humedad libre - mezclas que contiene triple super fosfato  - mezcla sin triple super fosfato.	máximo 5% (p/p)   máximo 1% (p/p)	I.S: 7863   C.O.G.U.A.N.O.R 44-049

NOMENCLATURA: COGUANOR: Comisión Guatemalteca de Normas  
I.C.A.I.T.I: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología ind "Indian Standar",  
Patrones hindus.

## CAPITULO IV

**EFFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN EL PROCESO DE  
COMPACTACION DE FERTILIZANTES  
COMPUESTOS  
(PARTE EXPERIMENTAL)**

Este experimento se realizó en la única planta de compactación de fertilizantes existentes en Guatemala (FERQUIGUA). Se tomaron como base 3 fórmulas de fertilizantes compuesto de uso tradicional, es decir: 16-20-0, 20-20-0 y 15-15-15. Para cada una de las fórmulas, se empleo el siguiente mecanismo de experimentación:

1. Observar condiciones estables de compactación.
2. Toma de datos:

Presión, humedad relativa, temperatura del producto terminado y muestra del producto terminado para determinar el porcentaje de abrasión.

3. Prueba de abrasión de la muestra del producto terminado, a través de la que se determinará el grado de dureza del producto a las condiciones anteriores.
4. Cuando el control de humedad relativa marque por lo menos un 10% de descenso, se repiten los pasos del 1 al 3.
5. Fin del experimento.

**1. RESULTADOS Y DISCUSION**

Para 16-20-0 tenemos:

Cuadro 4.1

No. Prueba	%Humedad relativa	Temperatura Prod. Term.	Presión	%Abrasión
1	85	44°C	150BAR	7.5
2	75	50°C	150BAR	4.75

Receta utilizada para el 16-20-0

Sulfato de amonio 59%

Fosfato monoamónico (MAP) 41%

Para 20-20-0:

Cuadro 4.2

No. Prueba	%Humedad relativa	Temperatura Prod. Tern.	Presión	%Abrasión
1	85	45°C	105BAR	12
2	75	48°C	105BAR	8.25

Receta utilizada para el 20-20-0:

Urea 14.6%

Sulfato de amonio 45%

Fosfato monoamónico (MAP) 40.4%

Para la fórmula 15-15-15:

Cuadro 4.3

Prueba No.	%Humedad relativa	Temperatura Prod. Term.	Presión	%Abrasión
1	87	44°C	100BAR	15.35
2	75	50°C	100BAR	10.55

Receta utilizada para el 15-15-15:

Urea 11.15%

Fosfato monoamónico (MAP) 30.3%

Muriato de potasio (MOP) 25.25%

Sulfato de amonio 33.3%

Nótese que al descender la humedad relativa, en las tres

fórmulas tenemos una disminución del %Abrasión, lo que representa un aumento de la dureza del producto.

Se observa también que el aumento de dureza es proporcional al aumento de la temperatura del producto terminado. De acuerdo con los resultados, el producto más duro es el 16-20-0 (comparar los valores del cuadro 4.1 con las otras fórmulas). Nótese que la receta correspondiente a esta fórmula no presenta urea, que como ya se ha mencionado es la materia prima más higroscópica entre las comúnmente utilizadas en el proceso de compactación de fertilizantes; partiendo de esto, es fácil entender la razón de la dureza de esta fórmula.

La presión se mantuvo constante en las pruebas para cada fórmula.

Como se sabe, los residuos de fertilizantes en la maquinaria, así como las materias primas expuestas a humedades relativas arriba de las críticas, tienden a humedecerse debido a lo higroscópico que son. Este efecto se hace manifiesto en los inicios de producción.

Debido a las altas presiones a que es sometido el producto entre los rodillos del compactador, se genera calor, y se eleva la temperatura del producto. Mucho de este producto regresa al sistema como material de reciclaje, lo que favorece aún más la transferencia de calor, al entrar en contacto con el material primario.

La humedad relativa, a causa del descenso en la temperatura ambiental en la noche, tiende a subir. Durante el día, sucede lo

contrario: conforme sube la temperatura ambiental, la humedad relativa desciende.

La experiencia indica que a bajos niveles de humedad en la mezcla de materias primas (0.5% al 1.5%) se llevará a cabo una compactación mejor<sup>6</sup>.

Con la disminución de la humedad relativa ambiental y el aumento de la temperatura del producto, se logra un secado de la mezcla de finos, lo que favorece una mejor compactación, y se aumenta la dureza del producto.

---

<sup>6</sup>Manual de Fertilizantes. Serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología". Número 13. Nueva York, 1985. Página 352.

## 2. CONCLUSIONES

- a) Debido a lo higroscópico de las materias primas de los fertilizantes compuestos, cuando la humedad relativa rebasa el valor crítico (56% aproximadamente), afecta el proceso de compactación y disminuye la dureza del producto terminado.
- b) El aumento de temperatura en la mezcla de finos, como consecuencia del proceso de compactación, aumenta la dureza del producto terminado. Esta temperatura llega a un máximo de 50°C aproximadamente.
- c) Las fórmulas de fertilizantes compuestos compactados, cuya fuente de nitrógeno está constituida únicamente por sulfato de amonio, presenta una dureza superior al producto terminado, de las fórmulas preparadas con urea.

## REFERENCIAS

1. Estadística de la empresa de fertilizantes compactados FERQUIGUA.
2. MENDEZ, Carlos. Control de Calidad de Materia Prima y producto Terminado en una planta formuladora de Fertilizantes. (Tesis: Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle) Guatemala, 1993. Páginas 20 a 33, M-61, M-65 a M-67, M-71 a M-73, M-76 a M-77.
3. Manual de Fertilizantes. Nueva York, 1985. Serie "Desarrollo y Transferencia de Tecnología". Num. 13 Naciones Unidas. Página 336-338, 413-415, 422-427.
4. BUEN FRUTO. Suplemento No. 1, marzo 1989. Comunicador de la empresa de fertilizantes DISAGRO.
5. Normas para Fertilizantes. Instituto Centroamericano de investigación y Tecnología Industrial, ciudad de Guatemala. I.C.A.I.T.I.
6. PERRY, Roberto H. y CHILTON, Cecil H. Manual del Ingeniero Químico. 2a. edición en español. México: Edit. McGraw-Hill. 1982. Página 8-68 a 8-69 y 20-92.

## BIBLIOGRAFIA

1. COOKE, G.W. Fertilizantes y sus Usos. Alonso Blackaller Valdes. Decimosegunda impresión. México: Editorial Continental. 1987. Página 46
2. KIRK, Raymond E. y Othmer, Donald F. Enciclopedia de Tecnología Química. México: Editorial UTEHA. 1962. Página 937. Vol. 7
3. Manual de Fertilizantes. México: Editorial Limusa. 1988. National Plant Food Institute.
4. McCABE, W. y Smith J. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Trad. Dr. Fidel Mato Vásquez et.al. España: Editorial Reverté. 1980. Página 706.
5. SAUCHELLI, V. Química y Tecnología de los Fertilizantes. Trad. Dr. José Lanuza Escobar. México: Editorial Continental. 1966. Páginas 511-512, 549, 570-571.

**ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Especificaciones empresariales para la materia prima**

Materia Prima	Características objetiva de calidad	Especificación	Fuente de Norma
1. Borato de sodio con 15% de boro	Contenido total de boro	14 - 16 (p/p)	AAPFCO
2. Coctel de elementos menores con:  18% de Zn 4% de Fe 3% de Mn 4% de Cu 5% de B	Contenido total de Zn, Fe, Kn, Cu y B.  Cinc total Hierro total Manganeso total cobre total Boro total	  17-19 (p/p) 3-5 (p/p) 7-9 (p/p) 3-5 (p/p) 5-7 (p/p)	AAPFCO
3. Fosfato de amonio doble (DAP) con 18% de N y 46% P2O5	Contenido de nitrógeno total como N  Contenido de fósforo total como P2O5	17.30 - 18.70 (p/p)  45.45 - 46.55 (p/p)	AAPFCO
4. Fosfato de amonio Simple (MAP)	Contenido de nitrógeno total como N  Contenido de fósforo total como P2O5	9.42 - 10.58 (p/p)  49.45 - 50.55 (p/p)	AAPFCO
5. Nitrato de potasa (KCI) 60% de K2O	Contenido de potasio total como K2O	58.55 - 61.44 (p/p)	AAPFCO
6. Nitrato de amonio calcáreo con 27% de N.	Contenido de nitrógeno total como N	26.19 - 27.81 (p/p)	AAPFCO
7. Nitrato de potasio con 13% de N y 44% K2O	Contenido de nitrógeno total como N  Contenido de potasio total como K2O	12.38 - 13.62 (p/p)  42.56 - 45.44 (p/p)	AAPFCO
8. Roca Fosfórica con 30% de P2O5	Contenido de fósforo total como P2O5	29.46 - 30-45 (p/p)	AAPFCO
9. Ox sulfato de cobre con 20% de Cu	Contenido total de cobre como Cu	19 - 21 (p/p)	AAPFCO
10. Ox sulfato de hierro con 40% de Fe	Contenido total de hierro como Fe	39 - 41 (p/p)	AAPFCO

Continuación  
ANEXO 1  
Especificaciones empresariales  
para la materia prima

Materia Prima		Característica objetiva de calidad	Especificación	Fuente de Norma
11.	Oxisulfato de manganeso con 28% de Zn.	Contenido total de manganeso como Mn	27 - 19 (p/p)	AAPFCO
12.	Oxisulfato de Zinc con 36% de Zn	Contenido total de Zinc con Zn	27 - 35 (p/p)	AAPFCO
13.	Sulfato de amonio con 21% de N.	Contenido total de nitrógeno como N	20.26-21.74 (p/p)	AAPFCO
14.	Sulfato de potasio con 50% de K <sub>2</sub> O	Contenido total de potasio como K <sub>2</sub> O	48.56-51.44 (p/p)	AAPFCO
15.	Triple superfosfato con 46% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Contenido total de fósforo como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	45.45-46.55 (p/p)	AAPFCO
16.	Urea con 46% de N	Contenido total de nitrógeno como N	45.12-46.83 (p/p)	AAPFCO
17.	Materia prima para mezclas físicas a granel	SGN (Número de guía de tamaño)	193.5-236.5	AAPFCO
		UI (Índice de uniformidad)	36.9-45.1 (p/p)	

## NOMENCLATURA:

AAPFCO: Association of American plant food control officials investigation allowances

**ANEXO 2**  
**Especificaciones comerciales**  
**para el producto terminado**

Producto terminado		Característica objetiva de calidad	Especificación	Punto de Norma
1.	Cal dolomítica	<p>Contenido de carbono de calcio y magnesio totales</p> <p>Contenido de carbonato de magnesio total.</p> <p>Humedad</p> <p>Granulometría con % en peso acumulado</p>	<p>Mínimo 65% (p/p)</p> <p>Mínimo 15% (p/p)</p> <p>Máximo 2% (p/p)</p> <p>- El 100% debe pasar el tamiz de 341 micrometros.  - Como mínimo el 50% debe pasar por el tamiz de 149 micrometros.</p>	INCOTEC 103
2.	Fosfato de amonio doble (DAP)	<p>Contenido de nitrógeno amoniacal como N</p> <p>Contenido de fósforo disponible como P2O5</p> <p>Granulometría con % en peso acumulado</p> <p>Humedad</p>	<p>mínimo 10% (p/p)</p> <p>mínimo 45% (p/p)</p> <p>Por convenio</p> <p>máximo 1.5% (p/p)</p>	ICAITI 44-015
3.	Fosfato de amonio Simple (MAP)	<p>Contenido de nitrógeno amoniacal como N</p> <p>Contenido de fósforo disponible como P2O5</p> <p>Granulometría con % en peso acumulado</p> <p>Humedad</p>	<p>11-21 (p/p)</p> <p>46-53 (p/p)</p> <p>por convenio</p> <p>máximo 1.5% (p/p)</p>	INCONTEC 201

Continuación  
ANEXO 2  
Especificaciones empresariales  
para el producto terminado

Producto terminado		Característica objetiva de calidad	Especificación	Fuente de Norma
4.	Muriato de potasio (Cloruro de potasio/MOP)	Contenido de potasio soluble como K20  Humedad  Granulometría con % en peso acumulado	mínimo 48% (p/p)  máximo 2% (p/p)  por convenio	ICAITI 44-020
5.	Nitrato de amonio	Contenido de nitrógeno total como N  Granulometría con % en peso acumulado  Humedad	mínimo 33.0% (p/p)  por convenio  máximo 1% (p/p)	ICAITI 44-012
6.	Nitrato de potasio	Contenido de nitrógeno total como N  Contenido de potasio soluble como K20  Granulometría con % en peso acumulado	mínimo 13% (p/p)  mínimo 36.4% (p/p)  Por convenio	INCOTEC 165
7.	Roca fosfórica	Contenido de fósforo total como P2O5  Humedad  Granulometría con % en peso acumulado  Contenido de azufre como S	mínimo 20% (p/p)  máximo 5% (p/p)  - 100% debe pasar el tamiz para 841 micrómetros  - como mínimo, el 49% (p/p) debe pasar el tamiz de 149 micrómetros.	INCONTEC 1361

Continuación  
ANEXO 2  
Especificaciones empresariales  
para el producto terminado

Producto terminado		Característica objetiva de calidad	Especificación	Fuente de Norma
8.	Sulfato de amonio	<p>Contenido de nitrógeno amoniacal como N</p> <p>Contenido de azufre como S</p> <p>Humedad</p> <p>Granulometría con % en peso acumulado</p>	<p>máximo 20.5% (p/p)</p> <p>máximo 70.3 (p/p)</p> <p>máximo 1% (p/p)</p> <p>por convenio</p>	ICAITI 44-013
9.	Sulfato de potasio	<p>Contenido de potasio soluble como K<sub>2</sub>O</p> <p>Contenido de azufre como S<sub>04</sub></p> <p>Contenido de calcio como Ca</p> <p>Contenido de magnesio como Mg</p> <p>Humedad</p> <p>Granulometría con % en peso acumulado</p>	<p>mínimo 33.0% (p/p)</p> <p>por convenio</p> <p>máximo 1% (p/p)</p>	ICAITI 44-012
10.	Triple superfosfato	<p>Contenido de fósforo disponible como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></p> <p>Contenido de fósforo soluble como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></p> <p>Humedad</p>	<p>mínimo 40% (p/p)</p> <p>mínimo 33% (p/p)</p> <p>máximo 7% (p/p)</p>	<p>ICAITI 44-018</p> <p>ICAITI 44-018</p> <p>ICAITI 44-018</p>

Continuación  
ANEXO 2  
Especificaciones empresariales  
para el producto terminado

Producto terminado		Característica objetiva de calidad	Especificación	Fuente de Norma
11.	Triple superfosfato	Contenido de fósforo disponible como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mínimo 40% (p/p)	ICAITI 44-018
			mínimo 38% (p/p)	ICAITI 44-018
		Contenido de fósforo soluble como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	máximo 7% (p/p)	ICAITI 44-018
		Humedad		
12.	Urea	Contenido de nitrógeno como N	mínimo 45% (p/p)	ICAITI 44-011
		Humedad	máximo 0.5% (p/p)	
		Granulometría con % en peso acumulado	por convenio	
13.	Mezclas físicas a granel y compactadas producidas con urea y fosfatos de amonio. No importa la fuente de K.	Granulometría con % en peso acumulado	- 90% (p/p) entre 1 mm y 4 mm.	C.G.U.A.N.O.R. 44-049
			- max 5% (p/p) debe pasar el tamiz de 1 mm	

NOMENCLATURA:

COGUANOR: Comisión Guatemalteca de Normas

I.C.A.I.T.I: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial

I.N.C.O.N.T.E.C. Instituto Colombiano de Normas Técnicas

POR CONVENIO: significa que la especificación es fijada por mutuo acuerdo.