



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

Análisis de Heterogeneidad Tecnológica en
la Industria de Fertilizantes.

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a n

ARTURO MIRANDA GOMEZ

MARIO NACIF VAZQUEZ

ENRIQUE SOBERANIS GOMEZ

México, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Ut. ~~287~~ 287



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

Presidente: I.Q. JOSE LUIS PADILLA DE ALBA.
Vocal: DR. FRANCISCO BARNES DE CASTRO.
Secretario: DR. ENRIQUE LEFF ZIMMERMAN.
1er. Suplente: I.Q. JORGE MARTINEZ MONTES.
2o. Suplente: I.Q. ENRIQUE BRAVO MEDINA.

Sitio donde se desarrolló el tema: "Seminario sobre la problemática de aplicación de la ciencia y la tecnología al proceso de desarrollo del país". Facultad de Química. UNAM.

Sustentantes:

ARTURO MIRANDA GOMEZ

MARIO NACIF VAZQUEZ

ENRIQUE SOBERANIS GOMEZ

Asesor del Tema:

DR. ENRIQUE LEFF ZIMMERMAN

Supervisor técnico:

DR. FRANCISCO BARNES DE CASTRO

PROLOGO.

Actualmente México afronta problemas inherentes a su condición de país en vías de desarrollo, uno de los principales es el de la dependencia tecnológica y económica con respecto a los países industrializados.

Esta situación se manifiesta en forma clara en el sector industrial -- del país, ya que la falta de investigación científica y tecnológica ha frenado la producción de bienes de capital, lo cual origina que nuestro proceso de desarrollo sea lento y que nuestros recursos no sean íntegramente --- aprovechados.

Dicha situación nos llevó a realizar una investigación en la cual se - abordaran estos problemas; nos motivó el deseo de contribuir aunque sea en una forma limitada a esclarecer uno de los impedimentos para la producción de bienes de capital en el país y aminorar de esta manera uno de los problemas que involucra el desarrollo económico.

Queremos patentizar nuestro profundo agradecimiento al Dr. Enrique --- Leff Zimmerman, por el interés y tiempo puesto a nuestra disposición en la dirección de este trabajo.

También nuestro completo reconocimiento al Dr. Francisco Barnes de Castro, por la asesoría prestada y sin la cual no hubiera sido posible la realización de este estudio.

Así mismo agradecemos a todo el personal técnico y administrativo de - Guanos y Fertilizantes de México S.A. por la valiosa cooperación prestada.

También agradecemos a todos los maestros, compañeros y personas que directa e indirectamente nos proporcionaron su ayuda para elaborar esta te--- sis.

INDICE.

INTRODUCCION	1
CAPITULO I HETEROGENEIDAD TECNOLÓGICA DE LOS BIENES DE CAPITAL Y LA - NECESIDAD DE NORMALIZACION DE LOS MISMOS.	
1.1 Situación económica de México.....	5
1.2 Consecuencias del fomento a la industrialización.....	11
1.3 Consecuencias de la diversificación de la demanda.....	17
1.4 Dependencia tecnológica.....	19
1.5 La producción de bienes de capital y la heterogeneidad tecnológica	25
CAPITULO II SISTEMA NACIONAL DE PRODUCCION.	
2.1 Importancia de la industria de fertilizantes en la economía mexicana na.....	33
2.2 Estructuración de la industria de fertilizantes.....	36
2.3 Producción nacional de fertilizantes.....	45
CAPITULO III DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DEL ESTUDIO.....	63
CAPITULO IV DESCRIPCION Y ANALISIS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS QUE - UTILIZA LA INDUSTRIA DE FERTILIZANTES EN MEXICO.	
4.1 Aglomeración.....	69
4.2 Cristalización.....	90
4.3 Desintegración mecánica de sólidos.....	97
4.4 Secado.....	116
4.5 Separación sólido-líquido.....	128
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
APENDICE I DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION INSTALADOS.	
I.1 Productos intermedios.....	156
I.2 Productos finales.....	190

APENDICE II TEORIA Y FUNDAMENTOS DE LAS OPERACIONES UNITARIAS INVOLUCRADAS EN LOS EQUIPOS ANALIZADOS.

II.A Aglomeración.....	224
II.B Cristalización.....	234
II.C Desintegración mecánica de sólidos.....	253
II.D Secado.....	262
II.E Separación sólido-líquido.....	288
BIBLIOGRAFIA.....	303

INTRODUCCION.

Este trabajo tiene el propósito de analizar así sea a grandes rasgos, la heterogeneidad tecnológica como uno de los factores principales que contribuyen a mantener una situación de atraso y de dependencia tecnológica en nuestro país. El trabajo de investigación fue dirigido y desarrollado dentro del Seminario sobre la problemática de aplicación de la ciencia y la tecnología al proceso de desarrollo del país, impartido en la Facultad de Química por el Dr. Enrique Leff Zimmerman, y tuvo como antecedente la tesis "Análisis de la heterogeneidad tecnológica en la industria química para determinar las posibilidades de normalización para la fabricación nacional de equipos", desarrollada dentro del mismo seminario; muchos de los aspectos y técnicas de investigación utilizados en ella fueron aprovechados en el presente estudio.

Entre los problemas a que se enfrenta un país subdesarrollado para instalar un sector productor de bienes de capital se encuentra primordialmente el de la dependencia tecnológica, la que está subordinada al abastecimiento de tecnología y bienes de capital provenientes de los países altamente industrializados; esto implica un alto derrame de capital que afecta la formación de un excedente económico, que podría ser canalizado hacia la instalación de un sector productor de bienes de capital. De igual manera, que ha quedado sin atención la investigación tecnológica para la producción interna de dichos bienes de capital.

La finalidad principal de este estudio consiste en poner en relieve la importancia que juega la heterogeneidad tecnológica de los equipos instalados en el sistema productivo de una rama industrial en el país -industria de fertilizantes- así como, vislumbrar la posibilidad técnica de su normalización de manera que ésta repercuta en la instalación de un sector produc-

tor de bienes de capital.

" La heterogeneidad tecnológica generada en el desarrollo capitalista de los países altamente industrializados se ha convertido en un factor limi tante del proceso de substitución de importaciones, que aún no ha recibido la atención que merece dentro de sus proyectos y programas de producción de bienes de capital ". (1).

La instalación de plantas por el sistema de substitución de importaciones ha favorecido la estructura heterogénea, la que se caracteriza por la - heterogeneidad de equipos instalados en unidades productivas, en las que -- procesos similares se llevan a cabo utilizando equipos diferentes, lo cual repercute en mayores costos por reposición de los equipos y provoca que el sistema productivo siga funcionando por el abastecimiento de bienes de capital provenientes del extranjero.

Por otra parte la heterogeneidad tecnológica de los equipos instalados conducirá a una producción de bienes de capital por igual heterogéneos y li mitaría la producción de bienes de capital normalizados -rediseñados-. " En algunos países, tal diversificación de la producción sería absolutamente i- rrealizable a causa de dificultades de orden técnico; en otros, los costos que eso implicaría serían tan elevados que reducirían considerablemente la productividad y el valor de la producción global. Aunque tal reducción no deprimiera necesariamente los niveles de vida de las poblaciones de los países subdesarrollados.... reduciría considerablemente.... el excedente e- conómico potencial que pudiera ser utilizado para los objetivos del desarrollo económico.... Nadie a mi conocimiento ha tratado de evaluar la economía que sería realizada por la "normalización" de artículos que llevan actual-- mente -de manera puramente formal- nombres diferentes, y por una concentra- ción de la producción en las unidades, técnicamente más aptas para asegurar

la ". (2).

La solución del problema que se presenta dependerá del grado de integración que pueda alcanzar el sector productor de bienes de capital, para lo cual debe tomarse en cuenta la flexibilidad para producir equipos en serie o por especificación para la industria; además, se debe contar con un sector de ingeniería pesada que redundará en una mayor libertad para normalizar los equipos de las ramas consumidoras existentes, evaluando debidamente la posible disminución de la eficiencia de los procesos productivos individuales debido a la inserción de equipos normalizados.

Para establecer lo anterior se siguió la metodología expuesta a continuación:

1. Se describen brevemente las fases de desarrollo seguidas por nuestro país, particularmente en los últimos 30 años, así como la forma en que dicho desarrollo ha conformado una situación de dependencia tecnológica; además, se establece como se manifiesta la heterogeneidad tecnológica y el freno que la misma significa para un desarrollo integrado de las diferentes ramas industriales.

2. Para demostrar objetivamente la presencia de la heterogeneidad tecnológica en los procesos productivos de nuestro país, se seleccionó una industria que por su tamaño e importancia fuera económicamente representativa.

3. En la empresa elegida, se recabó la información empírica (diagramas de proceso e información bibliográfica de los mismos), con la cual se elaboró una matriz en la cual se agrupan los diferentes productos que se fabrican, las unidades que los producen y las tecnologías empleadas, con el fin de determinar hasta que punto existe la heterogeneidad tecnológica en dicha industria. En una segunda matriz, se analiza la relación entre los diferen-

Capítulo I HETEROGENEIDAD TECNOLÓGICA DE LOS BIENES DE CAPITAL Y LA
NECESIDAD DE NORMALIZACIÓN DE LOS MISMOS.

- 1.1 Situación económica de México.
- 1.2 Consecuencias del fomento a la industrialización.
 - 1.2.1 política financiera.
 - 1.2.2 política impositiva.
 - 1.2.3 regulación de importaciones.
 - 1.2.4 resultado de la política de fomento a la industria.
- 1.3 Consecuencias de la diversificación de la demanda.
- 1.4 Dependencia tecnológica.
- 1.5 La producción de bienes de capital y la heterogeneidad tecnológica.
 - 1.5.1 características de la producción nacional de bienes de capital.
 - 1.5.2 heterogeneidad tecnológica.

1 HETEROGENEIDAD TECNOLÓGICA DE LOS BIENES DE CAPITAL Y LA NECESIDAD DE NORMALIZACIÓN DE LOS MISMOS.

1.1 SITUACIÓN ECONÓMICA DE MÉXICO.

México, como la mayoría de los países latinoamericanos en vías de desarrollo, tiene preocupaciones justificadas acerca de sus perspectivas para la continuación de su crecimiento económico. En realidad, algunos de los problemas que afronta son graves y además característicos de una economía subdesarrollada. Los países que ahora llamamos subdesarrollados llegaron a la independencia política sólo para heredar una estructura económica desarrollada como consecuencia de las economías metropolitanas de Europa y de Estados Unidos. Habían sido moldeados como una fuente de abastecimientos de materias primas baratas para los países industrializados, y cuando por fin obtuvieron su independencia política, resultó que por sí mismos tenían una organización económica con muy poca dinámica propia, por lo que siguieron sujetos a nuevas relaciones de dependencia económica con los países industrializados. Una de estas relaciones ha sido impuesta por el comercio, ya que los países industrializados controlan los mercados mundiales; la otra ha sido la introducción de modelos de producción altamente industrializados a los países subdesarrollados. Esto ha repercutido en un intercambio desigual de mercancías, en el que los países subdesarrollados adquieren tecnologías a costos elevados a cambio de sus materias primas baratas. De ahí han surgido nuevas formas de subordinación de los países pobres a los ricos, como producto de una dependencia tecnológica y económica.

Para disminuir esta situación de dependencia económica, los países subdesarrollados dentro de los cuales se podría incluir a México, han seguido una serie de modelos de crecimiento económico que difieren tanto en la metodología para lograrlo, como en lo que se considera que es su objetivo final.

Para analizar la estrategia seguida por México en las últimas tres décadas, es necesario describir brevemente las distintas fases históricas de incorporación al sistema mundial capitalista, que lo han llevado a una situación de dependencia tecnológica y económica.

En su primera fase, durante todo el régimen colonial, la Nueva España vivió tres siglos bajo toda clase de limitaciones destinadas a impedir un desarrollo económico independiente. Había restricciones y aún prohibiciones absolutas para llevar a cabo ciertos cultivos e industrias, a fin de salvaguardar los intereses de los comerciantes españoles establecidos tanto en la península como en nuestro país; así mismo, el comercio exterior de las actividades más productivas, como la minería y la agricultura, estaban orientadas en forma exclusiva hacia la metrópoli. Al lograrse la independencia, dos factores frenaron el desarrollo económico independiente, uno la propia dependencia económica y cultural heredada, y el otro las ambiciones de expansión comercial de los países europeos y en menor escala la de los Estados Unidos. Esta expansión fué favorecida por las constantes luchas, las barreras internas al comercio y sobre todo por la ausencia de un gobierno central firme, que pudiese orientar y propiciar el desarrollo económico independiente, México era *"en términos económicos, una sociedad en la que el individuo, no el Estado, era el instrumento del crecimiento económico"* (1).

Durante todo el régimen de Juárez, se pusieron en vigor una serie de medidas para dinamizar la agricultura mediante el debilitamiento del sistema comunal de tierras y la aparición de grandes propiedades bajo el control de propietarios legos; estos cambios fueron de gran importancia para el desarrollo posterior de México. La constitución de 1857, establecía no sólo la libertad para el comercio interno, sino también para el comercio exte---

rior; se consideraba que un alto nivel de comercio internacional sería un aliciate para el crecimiento industrial, pero también esta doctrina estaba -- destinada a fracasar debido al reducido número de industrias y medios de -- transportes adecuados.

La segunda fase de crecimiento económico comprende el gobierno de Porfirio Díaz, en el cual se produjo la primera estrategia dirigida a lograr el desarrollo de México. La esencia de la estrategia consistió en tomar --- cualquier medida que fuera necesaria para alentar la inversión de grandes - cantidades de capital extranjero en México; ésta estuvo orientada a la construcción de la red ferroviaria, la producción y exportación de minerales, y en pequeña proporción al desarrollo de industrias para servir a los merca-- dos internos, tales como: industrias del papel, textiles, cemento y acero. La era porfiririana que terminó con la revolución, dejó como herencia, una red de ferrocarriles, un pequeño grupo de empresarios semimexicanizados, - una estructura económica y social basada en la explotación de las mayorías, y finalmente, *"un país enajenado, con la riqueza (incluyendo la tierra) --- fuertemente concentrada en pequeños grupos poderosos, sobre todo extranje-- ros, y con una burguesía y gobierno subordinados a los intereses extranje--- ros"* (2).

En la tercera fase, comprendida entre los años de 1920 y 1940, el país se caracterizó por presentar un tipo de desarrollo hacia afuera; es decir, un desarrollo basado en la exportación de productos primarios y en la impor-- tación de productos manufacturados, originando una situación de retraso in-- dustrial, tecnológico y social, al mismo tiempo a que se sometía a la econo-- mía a la dependencia del comercio exterior.

El modelo de desarrollo seguido por México en las tres últimas décadas surgió como consecuencia de que el precio de los productos primarios ten--

día a bajar, mientras que el costo de los productos manufacturados aumentaba, generando términos de intercambio cada vez más desfavorables.

La solución adoptada fué el promover un desarrollo hacia afuera por medio de la substitución de importaciones, misma que resultó favorecida por la dificultad para adquirir productos en el exterior durante la segunda guerra mundial. Con el objeto de satisfacer la demanda existente para esos productos, se fomentó el desarrollo de industrias nacionales; se tomó como artículo de fé, que tan pronto como la demanda de un producto era tan considerable como para ofrecer posibilidad de producción nacional, debería hacerse todo esfuerzo para estimular la inversión nacional e inclusive la extranjera, a fin de eliminar la importación. La acción gubernamental en esta fase fué de protección a la industria interna, crédito y fomento a la integración vertical de las industrias (inclusión de las diferentes fases productivas del proceso dentro del mismo territorio), haciéndolas evolucionar desde las industrias livianas hasta las industrias básicas. Las acciones anteriores provocaron en realidad un resultado más complejo del esperado:

a) Por lo que se refiere al comercio exterior, se esperaba que la substitución de importaciones generase una situación tal, que al no depender esencialmente de la importación de productos manufacturados, el país alcanzaría un alto grado de independencia con respecto al comercio exterior. Sin embargo, la combinación de la substitución de importaciones que requería de la importación de bienes de capital y el deterioro en el precio de las materias primas exportadas, provocó el resultado inverso, o sea, se generó una mayor dependencia hacia el comercio exterior,

b) en ésta forma de industrialización "el subdesarrollo, se manifiesta en la conformación de economías duales en las que coexisten núcleos de organización y funcionamiento muy diferentes. No es una etapa necesaria del

proceso de constitución de las economías capitalistas, sino una situación particular que aparece debido a la presencia de modos de producción capitalistas modernos en economías atrasadas, que se muestra en variadas formas y estadios diferentes" (3).

c) Los productos importados de la fase preindustrial, eran en general productos de lujo para el consumo de las clases con altos recursos económicos, y sus efectos sobre la economía eran por tanto secundarios. En la etapa de sustitución de importaciones, los recursos disponibles se utilizaron en la compra de insumos requeridos por la industria nacional (bienes de capital y materias primas semielaboradas); además, debido a la baja tasa de ahorros (característica de los países subdesarrollados) las divisas eran escasas, y se creó una situación de subordinación a aquellos países que controlan los créditos, el mercado, las técnicas y los medios de producción -- más elevados, de esta manera se cae a una situación de dependencia tecnológica.

d) otra característica importante es que las dos terceras partes de las importaciones consisten en productos terminados, mientras que este mismo renglón para las exportaciones sólo contribuye con la tercera parte (4). Las consecuencias de ésta tendencia son graves, ya que se podría estar repitiendo un proceso de especialización en la periferia, cuyos resultados serían similares a los derivados de la tradicional especialización de productos primarios: baja tasa de crecimiento de las exportaciones, escaso desarrollo industrial y limitaciones a la absorción del progreso tecnológico; - el problema radica en la predominante producción de productos primarios o eventualmente en bienes industriales sencillos y no en la exportación de éste tipo de bienes, cuya expansión dentro de una estructura de producción y comercio diversificado es altamente conveniente según las experiencias de -

los países industrializados.

e) Una serie de trabajos recientes (5), muestra que la industrialización en los últimos años se caracterizó por el creciente control extranjero sobre la gran industria. Tradicionalmente se ha atribuído a la inversión extranjera, la función de diseminar capital mediante la exportación de fondos que realizan los países desarrollados hacia los menos subdesarrollados; pero después de cierto tiempo, los flujos de capital retornan multiplicados a el país que los proporcionó. Esto hace suponer que en realidad es el país - subdesarrollado el que está financiando con sus escasos recursos, el desarrollo y las operaciones de las grandes empresas extranjeras. Por esta razón, el desarrollo económico de los países dependientes es muy difícil, particularmente el de tipo industrial, debido a que se obstaculiza la capitalización interna por dos factores: uno, el intercambio desigual que reporta - reducidos ingresos de divisas, que en una parte importante salen al exterior en forma de dividendos a las empresas extranjeras; y el otro, el centro de decisión económica queda en poder de las naciones industrializadas. Esta última situación destruye las posibilidades de un desarrollo independiente.

Aunque la estrategia de desarrollo seguida por México en las últimas - tres décadas, considera como un factor determinante en el proceso de desarrollo, el crecimiento industrial basado en la substitución de importaciones, no podemos creer que ésta sea una forma eficaz para lograrlo, ya que - después de una etapa inicial en la que el sector industrial crece rápidamente, se llega a una situación de estancamiento debido al progresivo agotamiento en las posibilidades de substituir importaciones. Entre las causas - que han propiciado esto se encuentra por una parte, la disminución de oportunidades de inversión fácil en manufacturas de substitución de importacio-

nes, y por consiguiente, la substitución debe desplazarse a los productos intermedios, tal substitución involucra una mayor demanda de capital y de tecnología, que incrementa la dependencia tecnológica; y por otra parte, la limitación de los mercados nacionales en cuanto a tamaño y la falta de una tecnología propia, que dificulta substituir importaciones cuando sus procesos de elaboración requieren de una alta demanda de bienes de capital.

Hemos visto que el problema histórico de México ha sido su dependencia respecto a los países capitalistas, que ha determinado el grado de desarrollo alcanzado y las modalidades de dicho desarrollo. A lo largo del período analizado, las políticas de fomento a la industria han tenido un papel importante en el proceso de crecimiento, pero en general, han sido incapaces de contrarrestar la influencia externa combinada de la dependencia tecnológica por una parte, y por otra, la subordinación financiera a que nos tienen sujetos los países capitalistas.

1.2 CONSECUENCIAS DEL FOMENTO A LA INDUSTRIALIZACION.

El crecimiento industrial es un factor de gran importancia para el desarrollo económico de la totalidad de los países. El enfoque dado a esta industrialización depende de la política seguida por cada país, pero en cualquier caso se requiere fomentar la industria de bienes de capital, y la industria pesada y básica en el conjunto de la producción industrial.

La industrialización, además del aumento y crecimiento de las empresas, consiste en el aumento del valor agregado de los productos primarios mediante procesos que implican mayores necesidades de capital y de contenido tecnológico.

La política económica con la que el gobierno ha fomentado la industrialización en México, se puede dividir en tres grupos principales: política -

financiera, impositiva y regulación de las importaciones.

1.2.1 Política financiera.

Dentro de este grupo se encuentra la asignación de créditos a las industrias, tratando de canalizarlos hacia actividades industriales consideradas como productivas. El interés del gobierno se origina en el deseo de reservar parte del crédito total disponible para dirigirlo a la creación de una infraestructura de apoyo al crecimiento industrial. Una modalidad de esta fórmula ha sido la de proporcionar el terreno gratuito para la instalación de la planta, energía y medios de transportes; pero, este método de establecer industrias que inicien polos de desarrollo, no es siempre el método más adecuado a menos que existan condiciones favorables para el desarrollo de esa industria, es decir, que si dichas industrias no pueden integrarse en forma vertical a las ya existentes en el país, a la larga empobrecerán más al país en lugar de aliviarlo, al no ser muy significativo su impacto local.

1.2.2 Política impositiva.

Una de las primeras disposiciones de este tipo fue el decreto de 1926, que concedía reducciones de impuestos por tres años a las nuevas empresas que se instalaran. En 1939, se revisó esta ley y el plazo fue ampliado a cinco años. Posteriormente se fueron elaborando leyes más precisas, con periodos de protección mayores, llegando a ser posible, en algunos casos, obtener beneficios hasta por 15 años.

En la ley de industrias de la transformación, su capítulo II se refería a las industrias nuevas y necesarias, tratándose en otros capítulos temas diversos como el registro industrial y las normas de calidad. Dicho ca-

pítulo fue derogado cuando se publicó la ley de fomento de industrias de transformación en 1946, que se adicionó con los conceptos de industrias básicas o fundamentales a las que se concedían plazos de siete años en las franquicias fiscales, así como industrias de importancia económica, que podían obtener siete años en las exenciones de impuestos que se les fijaran; además se reglamentaba la exportación de materias primas de origen nacional, aplicando medidas restrictivas en los casos en que dichas materias primas fueran necesarias para la industria nacional.

Con la adopción de la ley de fomento de industrias nuevas y necesarias en 1954, se observó el primer intento del Estado para intervenir en las cuestiones tecnológicas al rechazar aquellas solicitudes en cuya información de apoyo se manifestaban pagos de patentes y de servicios técnicos superiores al 3% de las ventas netas de la empresa; se introducía un mayor número de criterios cualitativos para la determinación de las industrias y empresas elegibles para incentivos fiscales; se agregaron los conceptos de industrias básicas, semibásicas y secundarias que podían obtener diez, siete y cinco años de franquicias respectivamente. En el reglamento de esta ley que fué publicado un año después se precisaron ciertos procedimientos administrativos, como el funcionamiento de una comisión intersecretarial asesora, y se señaló el costo directo de producción y lo que debía entenderse -- por grado de elaboración, que no podía ser menor del 10%.

De acuerdo con esta ley y con la regla # 14, la maquinaria para el establecimiento o la expansión de una planta se puede importar a muy bajas tasas arancelarias, con el objeto de estimular la inversión, y funciona cam--biando los precios relativos a favor de los bienes de capital importados. No obstante, la regla # 14, no hace distinción en cuanto al contenido tecnológico de los bienes de capital, puen no elimina el peligro de las importa-

ciones de equipo obsoleto, ni obliga a que la fijación de los precios del e quipo importado se haga conforme a los precios vigentes en el mercado inter nacional.

Posteriormente se promulgó la ley para promover la inversión mexicana y regular la inversión extranjera en México, la cual establecía los lími--tes y requisitos para la inversión extranjera en México con objeto de evi--tar la excesiva carga por regalías, pagos por asistencia técnica y remisio--nes de utilidades al exterior.

Por último, en 1972, se promulgó la ley sobre el registro de la trans--ferencia de tecnología, y el uso y la explotación de patentes y marcas, que tiene como objeto fundamental definir y desarrollar una política indepen---diente en este campo en forma tal, que a largo plazo se reduzca nuestra de--pendencia con el exterior.

Lamentablemente el carácter proteccionista de las medidas anteriores,- si bien es cierto que fomentan la industrialización, también hace que se for men industrias débiles que requieren que esta protección continúe indefini--damente, que no sean competitivas en el exterior, y que por lo tanto no ayu dan a nivelar la balanza de pagos. Otro aspecto es la proliferación de em--presas que por las facilidades mencionadas y por disponer de un mercado cau tivo, adquieren un carácter monopolístico y oligopolístico, que tienden a vender a precios altos en relación con las importaciones, de tal modo que la protec--ción induce a un aumento de precios y distorsiona la distribución del ingre so.

1.2.3 Regulación de importaciones.

El gobierno regula las importaciones mediante el cierre de la frontera a cualquier producto, cuando considera que esta acción propiciará la produc

ción nacional del mismo; eleva o baja las tarifas de importaciones; en la práctica hasta puede exceptuar el pago a algunos tipos de industrias.

Para la exportación de productos manufacturados se ha venido concediendo desde 1958, un subsidio o exención que consiste hasta un 100% del impuesto sobre ingresos mercantiles, y desde 1961, una reducción de los impuestos de materias primas requeridas para la elaboración de artículos destinados a la exportación, siempre y cuando no constituyan más del 20% del costo directo de fabricación.

Otros medios son los permisos previos o licencias de importación, así muchos productos, aparte de las fracciones arancelarias correspondientes, requieren el pago de derechos aduanales y de otorgamiento de un permiso por parte de las autoridades correspondientes. A este sistema de control han estado sujetas no sólo las empresas particulares, sino también las del sector público, éstas últimas por medio de las aprobaciones que dicta el Comité de importaciones del sector público, siempre y cuando el artículo no se fabrique en México o no tenga la calidad requerida, es importante señalar que -- por lo general estas compras no pagan impuestos arancelarios.

Con respecto a la protección arancelaria que ha sido el mecanismo mundial para promover la industrialización, se nota que la maquinaria y los equipos básicos presentan niveles de protección reducidos; en cambio, los -- productos de consumo final presentan niveles de protección muy altos. En la tabla # 1, se comparan los niveles arancelarios para productos industriales de tres países latinoamericanos, donde México presenta el nivel más bajo para la importación de bienes de capital; la tabla # 2, muestra la compara---ción para las importaciones de todo tipo de bienes, correspondiéndoles a -- los bienes de capital un 40% (en promedio para el período de 1970-1975) del total.

TABLA 1

	Argentina	Mexico	Brasil
1.- Bienes de consumo no duradero	178	113	272
2.- Bienes de consumo duradero	266	147	328
3.- Materias primas industriales	55	38	106
4.- Productos semielaborados	95	28	80
5.- Bienes de capital	98	21	68

Protección arancelaria de productos industriales.

(Porcentajes en 1960)

Fuente: "Proteccionismos e industrialización en América Latina". Estudio de Cepal/Nafinsa.

TABLA II

	1971		1972		1973		1974		1975	
	Valor	%								
TOTAL*	2 254	100.0	2 719	100.0	3 813	100.0	6 056	100.0	6 850	100.0
(A)	442	19.6	608	22.4	851	22.3	676	11.2	599	9.1
(B)	796	35.3	918	33.8	918	37.1	3 006	49.6	2 903	44.1
(C)	1 015	45.1	1 191	43.8	1 191	40.6	1 726	28.6	2 390	36.4
(D)	--	--	--	--	--	--	647	10.9	686	10.4

* Valor en millones de dolares.

IMPORTACION POR GRUPOS ECONOMICOS.

- (A) Bienes de consumo.
- (B) Materias primas y auxiliares para la industria.
- (C) Bienes de inversión.
- (D) Productos no clasificados.

Fuente: Banco Nacional de Comercio Exterior

"México 1976" pag. 228

Podemos determinar entonces que la política comercial mexicana ha estado promoviendo la substitución de importaciones de bienes de consumo final.

1.2.4 Resultado de la política de fomento a la industria.

La política de fomento a la industria se ha dirigido exclusivamente a la obtención de resultados meramente cuantitativos, tales como el incremento del número de plantas industriales dedicadas a la substitución de productos de consumo final. Así mismo, las medidas arancelarias han obstaculizado la producción nacional de bienes de capital debido a los bajos niveles de protección arancelaria existentes para esta línea de productos.

Consecuencia de los puntos anteriores es el crecimiento inarmónico de las diferentes ramas industriales, puesto que en su establecimiento o expansión no se han considerado las relaciones de interdependencia entre las ramas industriales. De este modo han surgido gran número de empresas que desarrollan sólo fases aisladas del proceso (finales e intermedias) descuidando la producción de bienes de capital. Los efectos de la desintegración industrial se manifiestan en el hecho de que el valor agregado a las materias primas dentro del país, representa una pequeña parte del valor -- que tiene que pagar el consumidor, mientras que la mayor proporción queda -- en los países de origen de los productos semielaborados o de los bienes de capital que se importan. Por ello, la exportación de productos manufacturados se enfrenta a serios problemas, como son: costos más altos, medios de transporte adecuado, falta de financiamiento y baja calidad, por lo cual la disminución en su precio no ayuda a la entrada de divisas.

La política de fomento industrial, basada en la substitución de importaciones de bienes de consumo final, debe ser modificada a fin de que contemple la posibilidad de producción de bienes de capital, favoreciendo de --

esta manera el desarrollo integral de la industria.

1.3 CONSECUENCIAS DE LA DIVERSIFICACION DE LA DEMANDA.

Se mencionó que uno de los aspectos negativos de la política de fomento es la proliferación de empresas, que por disponer de un mercado cautivo adquieren un carácter monopolístico y oligopólico. Dichos conglomerados de empresas presentan dos rasgos fundamentales:

- a) ejercen un control substancial sobre la oferta y la demanda mediante el control de los procesos de fabricación, de las patentes y poniendo obstáculos a la libre entrada de competidores, y
- b) corresponden en su mayor parte a empresas multinacionales con filiales en muchas naciones, gobernadas por el país en que se encuentra la matriz inversionista, y asociadas con oligarquías locales.

La subordinación al exterior, por lo tanto, es una de las características más acusadas de estos conglomerados. La matriz conserva el poder de decisión, en que líneas va a operar; si se trata de una empresa industrial, determina la importación de crecientes cantidades de equipo y maquinaria -- procedente del país de origen del capital, particularmente de los Estados Unidos. Como en la maquinaria viene incorporada la tecnología, y como la decisión sobre el tipo de maquinaria a utilizar corresponde al conglomerado, el resultado ha sido que hemos importado tecnología que corresponde a las condiciones de Estados Unidos, que es típicamente una tecnología que utiliza poca mano de obra y mucho capital, por lo que se ha producido un trasplante de tecnología que con frecuencia no es la más apropiada para nuestro país.

Los conglomerados o monopolios al establecer las condiciones de la oferta y la demanda, pueden fijar la estructura de la demanda interna, el ti

po y el tamaño de la industria que puede establecerse, facilitándose en esta forma su constante crecimiento, ya que en una economía de tipo capitalista, las multinacionales sólo pueden existir en constante expansión debido a que sus componente fundamentales sólo operan en función de la acumulación de capital. Esta expansión se logra mediante algunos expedientes; uno de ellos es la integración vertical, es decir, asimilan negociaciones relacionadas con el aprovechamiento posterior de sus recursos. La otra es adquirir intereses y controlar actividades totalmente ajenas a su línea principal de negocios con miras a diversificarse y tener mayor flexibilidad económica.

De manera similar, en México se va operando también la asociación de las finanzas con la gran industria; las empresas no unidas a un grupo suelen ser controladas vía el apoyo crediticio o financiero. Como el acceso al mercado de capital es más fácil para las empresas de mayor tamaño y eficiencia productiva, pueden por tanto aumentar su producción o diversificarse mediante la importación de equipo y tecnología, por lo que se produce la paulatina eliminación de la pequeña industria y la formación de monopolios. Pero conforme se agotan los campos de inversión, o lo que es igual, la sustitución de importaciones, la tasa de ganancias tiende a bajar. *"La clase empresarial no se da cuenta de que la expansión decreciente del ingreso se debe a la alta dependencia de sus inversiones en materia de importaciones, y que la falta de canales de inversiones es el resultado de la estructura monopolística y de la fragmentación del mercado que provoca"*. (7).

En esta etapa de estancamiento el *"Estado mexicano es el instrumento del proceso enajenador que da lugar a la formación de monopolios extranjeros y nacionales"* (8); para evitar la fuga de capitales que provocaría la baja de las ganancias, orienta el gasto público hacia proyectos que eleven dicha tasa. La canalización del gasto público puede realizarse mediante --

obras de infraestructura y compras de bienes en apoyo del sector privado, o por medio de la inversión directa en los procesos productivos por parte del gobierno.

La inversión directa dentro del sector de producción puede asumir dos formas: la primera por medio de empresas que pueden estar o no, asociadas con el sector privado, pero que son semejantes en lo que se refiere a la búsqueda de ganancias. Estas empresas serán aceptadas siempre y cuando no invadan los campos que el sector privado considera tradicionalmente como propios. En el segundo caso, el Estado invertirá en áreas que por sus riesgos no resultan atractivas para el sector privado. De esta forma si se superan los riesgos iniciales, se abren nuevos campos para la inversión privada y así el Estado asume la tarea de complementar la inversión privada, sin participar en los beneficios obtenidos y quedando subordinado a ella.

Aunque la diversificación parece promover el desarrollo, crear fuentes de trabajos y nivelar la balanza de pagos, su efecto neto es otro. Por una parte el Estado no puede impedir la proliferación de estructuras ineficientes, fruto de la irracionalidad existente entre el aparato productivo, y el medio social y cultural en que se desenvuelve; ni puede impedir que las nuevas obras de infraestructura (o sea, la transferencia de recursos de las clases marginadas hacia los grupos capitalistas) agraven el desequilibrio existente entre ellos. Por otra parte, la dependencia tecnológica continúa por el aumento de las importaciones de bienes intermedios y de capital que requieren los nuevos procesos.

1.4 DEPENDENCIA TECNOLÓGICA.

La tecnología, definida como el conocimiento organizado para fines de producción, ha desempeñado un importante papel dentro de las actividades --

económicas, ya que la innovación tecnológica incorporada en técnicas de producción modernas u nuevos productos, es el principal campo de inversión de que disponen las empresas capitalistas.

Así pues, en los países capitalistas y países subdesarrollados, el acceso a las nuevas tecnologías es un requisito indispensable para su industrialización y posterior desarrollo. Pero por su mismo subdesarrollo, una considerable proporción de esos conocimientos y experiencias tiene que ser adquirido en el exterior. Las formas adoptadas para esta transferencia de tecnología y "Know-how" son diversas, pero en general se pueden dividir en cinco categorías (9).

1. Servicios técnicos (información, personal, etc.) a empresas afiliadas o independientes.
2. Contratos de administración, generalmente celebrados entre empresas afiliadas o independientes.
3. Acuerdos sobre el diseño o construcción de plantas industriales -- completas, secciones de ellas o plantas auxiliares.
4. Concesión de licencias para uso de patentes.
5. Tecnología incorporada en bienes de capital.

En el caso de México, se considera que las tres últimas constituyen -- las formas más importantes de transferencia de tecnología. En general cualquier forma de importación de tecnología propiciará una serie de efectos negativos para el país; entre los más graves figuran los siguientes:

1) El origen de la importación.- Las estrechas relaciones existentes entre los empresarios mexicanos y los exportadores norteamericanos de tecnología y el "efecto demostración" de la alta tecnología estadounidense, originan que la mayor parte de las importaciones provengan de un solo país --- (aproximadamente el 80% de las compras de tecnología involucra a empresas -

norteamericanas). Además se propicia el control extranjero en las industrias con mayores requerimientos de tecnología, y por lo tanto de las más dinámicas.

II) La importación de tecnologías reduce incentivos para el desarrollo científico y tecnológico nacional, al hacer responsable de este desarrollo a un factor externo. La facilidad para obtener tecnologías en el exterior reduce la presión sobre el gobierno para el fomento de la investigación nacional, la cual por carecer del estímulo indispensable, limita a un mínimo la investigación aplicada para fines industriales.

III) Otro factor que debemos considerar es el efecto desfavorable que para nuestra balanza de pagos representa esta compra de tecnología, y la creciente erogación que representan los pagos de regalías y asistencia técnica, sin que esto se vea compensado en los ingresos de nuevo capital o con un incremento de la capacidad exportadora de la industria nacional; así mismo, el precio pagado por la tecnología es en la mayoría de los casos excesivo y existen además formas ocultas de pagos como son:

- a) costos indirectos de la tecnología incorporados en bienes de capital y equipos,
- b) pagos de tecnología con acciones de la empresa,
- c) acuerdos de comercialización, mediante los cuales la empresa que recibe la tecnología conviene en la cesión del control de ventas en favor de la licenciadora, y
- d) la concesión de funciones administrativas y técnicas a los dueños de la tecnología.

IV) Los costos marginales de la tecnología que incluyen una serie de cláusulas restrictivas sobre el uso de la tecnología que se transfiere, y que limitan severamente la maximización de ganancia del comprador. Las cláusulas

Las restrictivas pueden tomar entre otras la forma de: obligación de la fuente receptora de adquirir de una fuente determinada los bienes de capital, productos intermedios y materias primas; prohibición del uso de tecnologías alternativas; restricciones referentes al volumen y destino de la producción; obligación de transmitir al proveedor todas las mejoras introducidas; créditos atados, mediante los cuales se obliga al receptor a comprar determinados bienes en el país de origen del préstamo; pago de asistencia técnica, etc.

V) La compra de tecnología obsoleta que afecta gravemente la eficiencia de producción. Esta práctica de comprar maquinaria usada, que en el país de origen se podría considerar de desecho, se emplea con la falsa idea de economizar con su menor costo, porque su escala de producción se aproxima a la del tamaño del mercado nacional sin necesidad de adaptación, pero se hace imposible al mismo tiempo competir en cualquier mercado internacional, por tener costos más altos y una calidad inferior. Aún en el caso de la compra de tecnología moderna, no se realiza ningún esfuerzo de adaptación al tamaño de mercado, por lo que sólo se trabaja a una parte de la capacidad instalada (entre el 60% y el 70%), con un aumento de los costos.

Estos aspectos negativos de la importación de tecnología, que son inevitables en una etapa inicial de crecimiento industrial, tienden a multiplicarse a medida que el sector industrial se expande y se diversifica.

Sin embargo, el problema principal no radica en el hecho de importar una tecnología dada, sino en la falta de una tecnología propia y en la incapacidad crónica del sistema para asimilar, reproducir y adaptar la tecnología importada, ya que no existe un proceso acumulativo del saber. Para cada importación de técnicas de producción se parte de cero, se busca la última novedad tecnológica y no se logra transmitir el conocimiento acumulado. Es-

to trae como consecuencia que en las técnicas adquiridas se incorporen bienes de capital que no pueden ser producidos localmente. Se pasa en esta forma, de una simple situación de importar tecnologías a un proceso de dependencia tecnológica, y cuando hablamos de dependencia tecnológica, nos referimos a la falta de acumulación de conocimientos y a la incapacidad de producir bienes de capital. *"El subdesarrollo no es una transformación endógena de una economía preindustrial, sino la implantación de un acelerado proceso de crecimiento a través de la adopción de técnicas extranjeras. El subdesarrollo se caracteriza por una incapacidad estructural de producir los bienes de capital necesarios para el crecimiento"* (10).

La dependencia tecnológica tiene graves consecuencias. La falta de capacidad para diseñar y fabricar equipos se traduce en el desaprovechamiento de las materias primas nacionales para las que no existe equipo adecuado; además, es una determinante de la estructura competitiva, porque consiste en la implantación de técnicas de producción con tamaños y características diferentes, y genera una filtración constante del ahorro interno por el pago de regalías y la importación de dichos bienes.

Vale la pena hacer hincapié en este último punto. La mayoría de las doctrinas económicas mencionan que la formación del capital asume una importancia crucial en el proceso de desarrollo; pero *"desde el punto de vista de la dependencia tecnológica vemos que no es la ausencia de un excedente económico como tal el que impide el crecimiento, sino la incapacidad estructural de convertir los ahorros disponibles en inversiones productivas, y es la dependencia tecnológica la que configura esta incapacidad estructural"* (11).

Debemos tener presente que el proceso tecnológico no sólo está ligado al conocimiento científico en el sentido abstracto; como proceso económico,

el progreso tecnológico está integrado a bienes tangibles de producción y al ajuste de los mismos, de acuerdo con las interrelaciones existentes entre tamaño de mercado, escalas de producción, grados de especialización e innovaciones tecnológicas, lo que supone un serio problema para el proceso de crecimiento de un país.

De esta manera la estructura del sector industrial la configuran la influencia de dos factores; el comportamiento de la demanda que ocasiona una diversificación y producción desintegrada; y la falta de un desarrollo tecnológico adecuado, que determina que el tamaño mínimo de los equipos y procesos sea excesivo para el tamaño del mercado, provocando una sobreproducción y alto costo de venta. Diversos aspectos, tales como las grandes diferencias en el precio de los factores, la edad de la industria, la capacidad organizativa y técnica de los empresarios; producirán un efecto en la escala, pero como la difusión de las tecnologías ha hecho que las escalas de producción sean universales, una industria que se caracteriza por una gran escala en un país, también será de gran escala en otro. De esta forma, los países con mercados más pequeños tendrán menos plantas pero con un grado de concentración mayor.

Sin embargo, debemos distinguir si la tendencia a la implantación de técnicas de gran escala obedece al tamaño del mercado, a los recursos financieros disponibles o si simplemente obedece a la forma inadecuada en que se selecciona la tecnología.

En el primer caso, en el tamaño de mercado se observa la presencia de diseconomías de escala que se traducen en el incremento de los costos de producción de casi todas las ramas manufactureras de México (12). Se explica frecuentemente por el reducido tamaño del mercado nacional, la saturación de ciertas industrias y lo desequilibrado del ingreso nacional. No obs

tante, estos factores difícilmente alcanzarían a explicar ese exceso de capacidad ociosa. Esta situación es más bien el resultado de las políticas de protección indiscriminada por un lado, y la baja atención que los compradores nacionales y los vendedores de tecnologías de los países industrializados conceden al escalamiento y adecuación de factores de las plantas industriales.

En la persecución de la ganancia y para poder seguir siendo competitivo, el capitalista individual busca la técnica más productiva y la más eficiente. Las limitaciones financieras pueden impedirle la selección de la técnica más adecuada y productiva, pero a pesar de esto el empresario del país subdesarrollado contará con una gran variedad de técnicas mucho más productivas, ensayadas y probadas prácticamente en algún lugar, que aquellas que podrían haberse generado en forma endógena; por estas razones la selección de técnicas por el lado de la oferta es ilimitada, y el hecho de que los empresarios y empresas paraestatales de nuestro país dispongan de un casi irrestrictivo acceso a la tecnología implica la presencia de una heterogeneidad de procesos y equipos para la producción de un mismo artículo.

Por lo cual, es la ausencia de una capacidad tecnológica propia y la selección irrestrictiva de las tecnologías, la que produce la necesidad de importar bienes de capital heterogéneos.

1.5 LA PRODUCCION DE BIENES DE CAPITAL Y LA HETEROGENEIDAD TECNOLOGICA.

De los temas tratados anteriormente se puede concluir que en el fomento a la substitución de importaciones se dió preferencia a los bienes de consumo final; que el sector industrial de acuerdo a su condición capitalis

ta está en continua expansión y diversificación, que incluye ya los bienes suntuarios; que la situación de dependencia se agrava conforme se realizan las nuevas inversiones, y que, "no hemos logrado un desarrollo tecnológico suficiente, ni la fabricación con técnicas propias de los instrumentos de producción que nos eximan de la importación de los equipos que el desarrollo de las fuerzas productivas del país necesita, liberandonos así del exterior en un aspecto fundamental e indispensable para el desarrollo económico: la autonomía tecnológica respecto a los medios de producción" (13).

Las consecuencias de estos problemas dentro del proceso de desarrollo nacional, es la necesidad inmediata de producir en el país los bienes de capital que requiere el sector industrial, donde, de acuerdo a la opinión más generalizada (14) comprenden la fabricación de equipos para la producción, que incluye secciones de la industria metalúrgica, mecánica, eléctrica y -- equipo de transportes; se excluyen los automoviles de pasajeros y los bienes de consumo duradero.

Al mismo tiempo, esta producción repercutiría favorablemente sobre el resto de la economía. Por una parte, en nuestro país la falta de un sector productor de bienes de capital ha propiciado un desequilibrio en la estructura industrial, ya que al aumento de las necesidades de equipo se le ha hecho frente con crecientes volúmenes de importaciones; así, la producción nacional de bienes de capital propiciaría un ahorro de divisas por lo que se refiere a la balanza de pagos. Por otra parte el crecimiento de este sector es un elemento esencial para el desarrollo tecnológico, que va desde la simple fabricación de repuestos para maquinaria hasta el desarrollo de innovaciones y nuevas técnicas de producción. Al mismo tiempo se fomenta el crecimiento del sector siderúrgico, el cual cuenta con un potencial de empleo -- muy significativo, tanto directo como indirecto por su efecto multiplicador

en las industrias auxiliares del mismo.

1.5.1 Características de la producción nacional de bienes de capital.

No obstante la necesidad nacional que existe para la implantación de un sector nacional de bienes de capital, se nota la falta de interés de los empresarios hacia este tipo de proyectos, ya que a su realización se enfrentan una serie de obstáculos, más o menos importantes que es necesario analizar, como son, el tipo de tecnología, el monto de la inversión requerida, la renuencia de los compradores a usar maquinaria nacional y el carácter de la demanda de los bienes de capital.

a) El tipo de tecnología y la actitud de los oferentes.- El sector productor de bienes de capital requiere para su implantación de una mezcla de tecnología avanzada con un alto contenido de ingeniería de diseño, mano de obra especializada y capital; para dar en una adecuada combinación una alta eficiencia de producción.

La tecnología requerida no se encuentra en libros, ni consiste en conocimientos fácilmente transmitibles; además en este tipo de industrias cuenta mucho la experiencia del personal, ya que cualquier tipo de fallas se traduce en costos elevados. De estas características se puede determinar:

i) la tecnología no es fácilmente asimilable, ya que no sólo se transfiere pagándola, sino mediante un proceso a veces muy lento de difusión de experiencias; y que además requiere del insumo (no siempre disponible) de mano de obra altamente calificada.

ii) la presencia de curvas de aprendizaje muy extendidas con respecto al tiempo provoca que estos proyectos sean de muy lenta maduración y por lo tanto de baja rentabilidad inicial.

Para la producción de bienes de capital será necesario tomar en cuenta

el paquete de tecnología y la inversión disponible, pero a las empresas oferentes con frecuencia no les interesa vender tecnología dentro de un mercado que ellas consideran de exportación (el departamento de comercio de los Estados Unidos afirma que a pesar de lo atractivo del mercado mexicano, éste no es un buen mercado de exportación para todo tipo de bienes El -- mercado mexicano es primordialmente un mercado de equipo para la produc--- ción), o bien aprovechan su poder oligopólico para hacer costosa su partici-- pación, cobrando altas regalías, vendiendo equipo caro o innecesario, mante-- niendo el control de la distribución de la producción, o basadas en su me-- jor conocimiento del proceso productivo, intentando retener en su planta ma-- triz la producción de algunas partes y componentes de los equipos.

Estas formas de comportamiento de las empresas oferentes de tecnología indican que el mercado de tecnología se encuentra fuertemente oligopoliza-- do, por que la tecnología será costosa dada la gran diferencia entre el pre-- cio real y el que la empresa oferente estaría dispuesta a aceptar a cambio de su participación en el proyecto.

b) El monto de la inversión.- En México, es tradicional la escacéz de capital de riesgo para iniciar o emprender nuevas empresas. Esta dificultad se agudiza en el caso de los bienes de capital, porque como consecuencia de las anteriores políticas de sustitución de importaciones de productos de - consumo final, su producción es un campo desconocido para la mayoría de las grandes empresas nacionales, y las que tienen experiencia al respecto no -- cuentan con capital suficiente.

La industria de bienes de capital se caracteriza por iniciar su produc-- ción en forma gradual; no es sino al cabo de cuatro o cinco años cuando las plantas alcanzan niveles de producción planeados desde el principio, lo que alarga el período de recuperación de la inversión.

Los créditos que ofrece el sistema financiero nacional no sólo son más costosos que los obtenidos por los competidores extranjeros, sino que también exigen requisitos de garantías más elevados. En tales condiciones muchos proyectos de este sector pierden su atractivo para el inversionista potencial, quien requiere más apoyo crediticio -para hacer la inversión rentable- que el productor extranjero.

De aquí que la instalación de plantas y talleres de tamaño suficiente para producir con eficiencia y calidad la maquinaria y equipo que necesitamos, en muchos casos sólo será posible de realizarse bajo control gubernamental, con la participación del sector público como oferente de capital.

c) La renuencia al uso de maquinaria nacional.- Los consumidores nacionales presentan por lo general resistencia a la instrumentación de políticas substitutivas de importaciones de bienes de capital. Las razones parecen ser obvias, como la inversión de estos bienes representa una inversión considerable, el comprador suele evaluar cuidadosamente las ofertas de los productores y comparar los modelos de equipo en uso para adquirir el más eficiente o el más moderno; así, al iniciar la producción nacional de bienes de capital, los compradores tendrían que pagar un precio más alto, por un equipo que tal vez tenga una calidad inferior, y desde luego perdería parcialmente su libertad de elección en cuanto al tipo de maquinaria, modelos, proveedores, fecha de entregas, etc. Los problemas se agravan cuando el comprador es una empresa del sector público, que tiene que realizar sus inversiones en un período de tiempo determinado y con un presupuesto fijo.

d) Demanda.- La demanda de equipo está directamente relacionada con la expansión y reposición de la planta industrial del país, pero presenta para un equipo en particular fuertes fluctuaciones, que están asociadas al carácter cíclico del proceso de inversión y con las indivisibilidades típicas

cas del uso del capital. Estas características de la demanda, común en casi todas las economías, hace que las empresas productoras corran fuertes riesgos cuando surten a un solo mercado o elaboran un solo producto.

En los países industrializados la característica mencionada y la situación oligopólica que priva en sus mercados explicaría porqué las empresas -- productoras de bienes de capital diversifican su producción y asumen una política tan agresiva en sus mercados de exportación, políticas que consiste en la ventas de equipos a un precio menor que su costo de producción, aunque -- después de efectuada la venta, los costos de servicios y refacciones se aumentan considerablemente.

1.5.2 Heterogeneidad tecnológica.

Es indudable que las acciones destinadas a promover la producción de -- bienes de capital deben incluir medidas arancelarias, subsidios fiscales y - otro tipo de estímulos financieros por parte del Estado; sin embargo, la diversificación de la demanda, que parece ser un obstáculo, subsiste.

Una de las razones principales que impiden la concentración de la de-- manda es la heterogeneidad tecnológica presente tanto en equipos como en pro-- cesos. Esta heterogeneidad está favorecida por la forma irracional en que se adquiere la tecnología; irracional porque no se ha realizado dentro de un -- marco global de desarrollo sino en función de la mayor acumulación de capi-- tal por parte del empresario privado, así al intentar la producción de bie-- nes de capital encontramos el problema de la gran variedad de equipos que de-- bemos fabricar, muchas veces estos equipos son diferentes sólo en el nombre, porque no hay realmente una diferencia marcada entre los procesos empleados para producir un producto, sino en la patente o en la empresa que vende el -- proceso.

La diversificación de equipos significa mayores costos de mantenimiento debido a la amplia gama de refacciones necesarias, implica además un desperdicio del personal dedicado a estas tareas por el grado de especialización que requiere cada uno de estos equipos. Por otra parte la compra de un determinado equipo a diferentes proveedores nos lleva a incurrir en mayores gastos; sería más económico para el país comprar un determinado equipo a un solo proveedor o producir un diseño homogéneo y utilizar una sola tecnología. Por lo tanto, el principal obstáculo para la implantación de un sector nacional productor de bienes de capital es la situación de heterogeneidad tecnológica que existe en la industria nacional, por ello se requiere realizar la homogeneización técnica de los procesos y equipos a partir de sus operaciones fundamentales en aquellas áreas de la producción que se presten a ello.

Es evidente que cierto tipo de equipos por su especificidad para un proceso dado o por el tipo de tecnología que se requiere -como el caso de los reactores-, no son susceptibles de normalizar; pero hay muchos otros para los cuales ya existen las bases requeridas para su fabricación y/o el conocimiento técnico suficiente para seleccionarlos y adaptarlos adecuadamente. Esta normalización presentaría además las siguientes ventajas:

a) Dado que la heterogeneidad de los equipos significa con mucha frecuencia heterogeneidad en las materias primas requeridas por cada uno de ellos y en muchos casos, dichos equipos no son adecuados para la utilización de las materias primas disponibles en el país, el rediseño y selección del equipo iría orientado al uso adecuado de esas materias primas.

b) Se facilitaría la implantación de una tecnología propia y así, al no depender de las alternativas que presenta la tecnología extranjera se rompería el círculo vicioso que representa la dependencia tecnológica.

c) La normalización de equipos facilitaría la aplicación del estímulo menos costoso en recursos reales para la fabricación de bienes de capital, - es decir, la orientación de la demanda interna -en particular la que surge - del sector público- en beneficio de las empresas que se instales en el país dando de este modo estabilidad y seguridad a la demanda; al mismo tiempo, se restringiría la libertad de comprar al mejor postor, que es una de las causas de la dependencia tecnológica; se permitiría aprovechar las economías -- de escala y obtener un producto a bajo costo, creando por una parte posibilidades de exportación y por otra un mayor efecto multiplicador de inversiones. Por otra parte esta medida tiene dos inconvenientes; crear un monopolio con toda su ineficiencia potencial, y presentar dificultades de instrumentación en la medida de que se requiere de un arduo trabajo de coordinación entre el sector público y privado.

d) Es probable que la introducción de equipo normalizado en un proceso ocasione una baja en la eficiencia de algunos procesos, no obstante este sería un paso necesario y su efecto se aminoraría por la facilidad y menor - costo en los servicios y refacciones y por la vitalidad que imprimiría a toda la economía en general.

Capítulo II SISTEMA NACIONAL DE PRODUCCION.

- 2.1 Importancia de la industria de fertilizantes en la economía Mexicana.
- 2.2 Estructuración de la industria de fertilizantes.
 - 2.2.1 primera etapa: a partir de 1946 y hasta 1958.
 - 2.2.2 segunda etapa: de 1958 a 1965.
 - 2.2.3 tercera etapa: a partir de 1966.
- 2.3 Producción nacional de fertilizantes.
 - 2.3.1 características de los fertilizantes.
 - 2.3.2 fertilizantes nitrogenados.
 - 2.3.2.1 sulfato de amoníó.
 - 2.3.2.2 nitrato de calcio.
 - 2.3.2.3 nitrato de amoníó.
 - 2.3.2.4 urea.
 - 2.3.2.5 tendencia de los fertilizantes nitrogenados.
 - 2.3.3 fertilizantes fosfatados.
 - 2.3.3.1 superfosfato simple.
 - 2.3.3.2 superfosfato triple.
 - 2.3.3.3 fosfatos de amoníó.
 - 2.3.4 fertilizantes potásicos.
 - 2.3.5 fertilizantes complejos y mezclas fertilizantes.
 - 2.3.6 sistema comercial de formulación.
 - 2.3.7 fertilizantes que se fabrican en México.

La industria de fertilizantes es una actividad altamente dinámica, la cual a la vez que coopera a la industrialización del país, ayuda con su producción a incrementar el rendimiento del sector menos dinámico que es la agricultura.

En México la agricultura muestra dos sectores claramente demarcados:

1. El subsector moderno, comercial y tecnificado que se caracteriza - por ubicarse en las mejores tierras de humedad y de riego, que asimilan fácilmente el fertilizante, por estar bien comunicadas y por tener sistemas de producción basados en la aplicación de mano de obra intensiva y de capital. Además las cosechas producidas por este sector tienen gran aceptación en el mercado interno y en el de exportación.
2. El subsector tradicional de subsistencia, se encuentra en las peores tierras que están sujetas a innumerables riesgos y sus productos - están destinados a la subsistencia. Estos riesgos hacen que el sector privado rehuya la inversión, dejando al sector estatal que invierta en forma insuficiente. Se caracteriza, además, por el estado prácticamente estacionario de las técnicas que utiliza, y una gran parte de la -- producción es para autoconsumo, por lo que las condiciones de vida de quienes forman parte de este sector son lamentables.

Empero, la clave de la pobreza o prosperidad del sector agrícola, especialmente el del subsector tradicional, así como, el de la economía en general, se encuentra en las estructuras sociales de producción, que a su vez - son resultantes de las relaciones de producción y de la forma de tenencia de dichos medios.

La realidad nos señala que en nuestro país el proceso de industrialización se ha apoyado en la desvalorización de los productos agrícolas, con la consiguiente marginación de dicho sector. Bajo esta secuela el estado, por

medio de la empresa que lleva el nombre de Guanos y Fertilizantes de México S.A., ha tratado de hacer reversible este proceso, transfiriendo parte del " excedente de la sociedad " al campo, constituyendose en esta forma en un servicio industrial, comercial y social agropecuario, organizado para satisfacer tres necesidades estrechamente ligadas al desarrollo económico nacional, como son:

- a) más alimentos y de mejor calidad para el pueblo,
- b) más materias primas para la industria, y
- c) mejores recursos para los productores rurales.

Bajo estas condiciones los montos de inversión de las plantas han sido cuantiosos y la absorción de mano de obra minima; pero se compensa por las regiones agrícolas que se han incorporado a la agricultura comercial mediante el uso de fertilizantes, o que han visto incrementar sus cosechas con el uso de fertilizantes formulados de acuerdo a la cantidad de nutrientes que requiere el suelo, por ello es lógico enunciar que la tendencia será la del establecimiento de plantas en zonas que hasta hoy en día se han visto relegadas de los beneficios de la agroindustria.

Obviamente que una estrategia como la anterior implica una serie de -- premisas y recomendaciones:

1. Que zonas agrícolas de las que actualmente están consideradas dentro del subsector tradicional de subsistencia, sean zonas propicias para la construcción de plantas de fertilizantes.
2. Contar, después de los estudios técnico-económicos con la anuencia de los campesinos para cambiar las siembras tradicionales y antieconómicas en algunos casos, por las que rindan mayor productividad, entendiéndose este término como el empleo eficiente de todos y cada uno de los elementos productivos.

3. Apoyando lo anterior, sería más conveniente una política de crédito oportuna y suficiente para que los elementos necesarios para la producción agrícola sean suficientes y el precio estable. Es necesario, - además, que se de la asistencia técnica por parte de los sectores gubernamentales para la utilización óptima de todos los elementos necesarios para la producción agrícola.

4. Que la empresa fertilizadora opere a niveles cercanos al punto de equilibrio para vender en forma accesible su producción.

Es necesario que a los agricultores, principalmente a los del sector tradicional, se les proporcione la educación necesaria para hacerlos capaces de adaptarse a las situaciones que la agricultura moderna requiere.

2.2 ESTRUCTURACION DE LA INDUSTRIA DE FERTILIZANTES.

La producción de fertilizantes químicos en nuestro país se inicia en el período de los años 30, fabricandose fertilizantes nitrogenados a partir de la recuperación del subproducto proveniente de los hornos de coquización de la compañía carbonífera de Sabinas, establecida en Nueva Rosita, Coahuila. Los fertilizantes fosfatados fueron producidos en un principio por dos firmas: la Bick Felix y Co., establecida en México, D.F., y Fertilizantes de México S.A, establecida en Vergel, Durango. La producción se reducía a superfosfato, empleando para su elaboración materia prima local, huesos y fosforitas; la producción en conjunto fue de aproximadamente 3 000 toneladas al año.

La necesidad inaplazable de aumentar la productividad de las áreas disponibles mediante la tecnificación de la agricultura, hicieron que evolucionara y se desarrollara la industria de los fertilizantes en México a partir de los años 40, creandose Guanos y Fertilizantes de México S.A. el 17 de Ju

lio de 1943 como una empresa de participación estatal, encargada de maquillar fertilizantes orgánicos, distribuirlos y venderlos, difundiendo al mismo tiempo las indicaciones para su correcta aplicación.

En 1948, se decretó que la empresa debía ampliar su capacidad económica y sus fines: seguiría maquilando abonos orgánicos pero además fabricaría, compraría y vendería fertilizantes químicos sintéticos, propugnando su empleo intensivo en la agricultura.

Para comprender mejor la evolución, integración y estructuración de esta industria, se hace una división en etapas y un esquema anual que permite observar en forma cronológica la importancia creciente de esta industria:

2.2.1 Primera etapa: a partir de 1946 y hasta 1958.

En el año de 1946 es construída una planta para producir harina de hueso, estando establecida en México, D.F., y llamada unidad México.

En el año de 1947 se establece la planta productora de superfosfato en San Luis Potosí, en esta misma unidad se efectuaron las instalaciones necesarias para la producción de mezclas fertilizantes en 1950.

En el año de 1950 se inician las construcciones de otra unidad en Cuautitlan, Edo. de México, destinada a producir 60 000 toneladas de sulfato de amonio por año; esta unidad entró en operación en el año de 1951. En el año de 1953 se hicieron ampliaciones a esta unidad para hacer posible la producción de 60 000 toneladas de superfosfato simple por año.

Relación de las instalaciones efectuadas en esta etapa:

Unidad de San Luis Potosí:

1947 --- Planta de superfosfato simple.

1950 --- Planta de mezclas fertilizantes.

Unidad Cuautitlán:

1951 --- Planta de ácido sulfúrico.

- 1951 --- Planta de amoníaco anhidro.
- 1951 --- Planta de sulfato de amoníaco.
- 1953 --- Planta de superfosfato simple.

2.2.2 Segunda etapa: de 1958 a 1965.

Se inicia esta etapa a partir de 1958 y comprende hasta el año de 1965; es una etapa en la cual se permite la creación de varias empresas con capital privado, haciendo caso a la política de substitución de importaciones y con la creencia de dar origen a una mayor competitividad en los mercados.

A partir de esta política surgieron empresas privadas dedicadas a la fabricación de fertilizantes como:

- a) Fertilizantes de Monclova S.A., en Monclova, Coahuila, que inició operaciones en el año de 1959.
- b) Fertilizantes del Bajío S.A., en Salamanca, Guanajuato, que inició operaciones en el año de 1963.
- c) Fertilizantes del Istmo S.A., en Minatitlan, Veracruz, la cual inició operaciones en el año de 1962.
- d) Fertilizantes Delta S.A., en Cortazar, Guanajuato.

Si bien estas empresas contribuyeron al desarrollo industrial de México, su establecimiento y ubicación no obedeció a ningún plan elaborado a -- "nivel nacional". A estas empresas se les dejó la responsabilidad de proporcionar la asistencia técnica necesaria para la aplicación de fertilizantes. El resultado fué, el desarrollo de prácticas comerciales desleales para el agricultor, al que se le imponía el consumo de productos poco adecuados para sus necesidades y a un alto costo.

Las características de la demanda imposibilitaron la formación de un mercado competitivo que impulsara a las empresas a mejorar su productividad

y a reducir sus costos. A lo anterior se adicionan cuatro factores que imposibilitaron un eficiente abastecimiento para los agricultores:

- a) Costos y precios elevados,
- b) elevados fletes,
- c) suministros ineficientes, y
- e) falta de asesoría técnica.

Se puede resumir a este período como una etapa de ineficiencia en la - proyección de la demanda de fertilizantes, así como de la industria misma, - debido probablemente a que se atendió a las señales de la balanza de pagos y no a las necesidades reales del mercado.

Durante esta etapa la empresa Guanos y Fertilizantes de México S.A., - puso en operación la unidad de Coatzacoalcos, en el estado de Veracruz, destinado a la producción de:

- a) Acido sulfúrico, y
- b) ácido fosfórico.

como productos intermedios en la fabricación de fertilizantes, y de:

- c) Superfosfato triple.

como producto final. La elaboración de este fertilizante se suspendió en el año de 1970.

También se realizó una ampliación en la unidad Cuautitlán en la cuál - se instaló una planta para la fabricación de mezclas fertilizantes.

Relación de las instalaciones industriales en esta etapa:

Fertilizantes de Monclova S.A.

- 1959 --- Planta de ácido nítrico.
- 1959 --- Planta de nitrato de amoníó.
- 1963 --- Planta de fertilizantes complejos.
- 1965 --- Planta de ácido fosfórico.

En 1961 se tenían instalaciones para elaborar solución de nitrato de amonío; la elaboración de esta solución se suspendió en el año de 1970.

Fertilizantes del Bajío S.A.

1963 --- Planta de urea.

Fertilizantes del Istmo S.A.

1962 --- Planta de ácido sulfúrico.

1962 --- Planta de ácido fosfórico.

1962 --- Planta de ácido nítrico.

1962 --- Planta de urea.

1962 --- Planta de fertilizantes complejos.

1962 --- Planta de nitrato de amonío.

Unidad Coatzacoalcos.

1962 --- Planta de ácido sulfúrico.

1962 --- Planta de ácido fosfórico.

1962 --- Planta de superfosfato simple.

Unidad Cuautitlán.

1961 --- Planta de mezclas fertilizantes.

2.2.3 Tercera etapa: a partir de 1966.

La tercera etapa en la evolución de esta industria, se puede decir que comprende del año de 1966 en adelante, y se distingue por un cambio en la política de esta industria, la cual se dirigió a nacionalizar la producción y mejorar la distribución de la misma.

Tomando como objetivo la integración de la industria agroquímica nacional, el estado a través de Guanos y Fertilizantes de México S.A., inicia un período de absorción de empresas privadas dedicadas a la elaboración de fertilizantes e insecticidas, insumos necesarios para la agricultura. Absorbe

empresas como son: Montrose Mexicana y Lerma Industrial, ubicadas en Salamanca, Guanajuato; productoras de insecticidas como el DDT, toxafeno, BCH, etc. En el año de 1972 se puso en operación una planta de parationes junto a las dos anteriores.

En la rama de fertilizantes, como hecho inicial de esta nueva política, se procedió a la fusión de las empresas privadas productoras de fertilizantes mencionadas en la segunda etapa con la empresa estatal representada por Guanos y Fertilizantes de México S.A.. Este proceso de fusión de las empresas privadas comprende de 1966 a 1967, y tuvo como objetivo abatir los costos de administración y lograr una mejor distribución de la producción; de esta manera, en el año de 1966, Fertilizantes de Monclova S.A. y Fertilizantes del Bajío S.A., fueron fusionados a Guanos y Fertilizantes de México -- S.A., bajo un plan preconcebido a "nivel nacional".

Además, Guanos y Fertilizantes de México S.A. en el año de 1966 puso en operación sus plantas con capacidad de 200 toneladas diarias de sulfato de amoníaco en las unidades de Coatzacoalcos, Ver; y Torreón, Coahuila. En el año de 1968 la empresa estatal adquiere las instalaciones de Fertilizantes del Istmo S.A. quedando en esta forma integrada la industria de fertilizantes.

A partir de 1966 se inicia la construcción de una serie de proyectos, que hoy en día se encuentran en operación, los cuales son:

Unidad Torreón.

- 1966 --- Planta de sulfato de amoníaco.
- 1968 --- Planta de mezclas fertilizantes.

Unidad Coatzacoalcos.

- 1966 --- Planta de sulfato de amoníaco
- 1970 --- Planta de fosfato di-amónico.

Unidad Camargo.

1968 --- Planta de urea.

Unidad Guadalajara.

1968 --- Planta de ácido sulfúrico.

1968 --- Planta de sulfato de amonio.

1968 --- Planta de superfosfato simple.

1968 --- Planta de mezclas fertilizantes.

Unidad Bajío.

1969 --- Planta de sulfato de amonio.

Unidad Minatitlán.

1971 --- Segunda planta de urea.

1976 --- Planta de ácido sulfúrico.

1976 --- Modificaciones a la planta de ácido sulfúrico.

Unidad San Juan del Río.

1976 --- Planta de ácido sulfúrico.

1976 --- Planta de sulfato de amonio.

1976 --- Planta de superfosfato simple.

En Octubre de 1976, se anunció en forma oficial la integración a Guanos y Fertilizantes de México S.A., de Fertilizantes Fosfatados de México S.A., empresa creada exprofeso para la exportación de fertilizantes fosfatados y ácido fosfórico. La inversión mixta de esta empresa fue hecha por:

- 1) Banco Nacional de México.
- 2) Pan American Sulphur Co. de Houston, Texas.

Durante el mismo mes de Octubre también se hizo oficial la adquisición de industria Petroquímica Nacional.

Hoy en día la industria de fertilizantes esta integrada por 13 unidades:

	Capacidad instalada ton/año	Producción 1975-1976 ton/año
1) Unidad San Luis Potosí.		
Superfosfato simple.	55 000	58 652
Mezclas fertilizantes.	5 000	----
2) Unidad Cuautitlán.		
Acido sulfúrico.	330 000	231 591
Amoniaco anhidro.	22 000	22 550
Sulfato de amonio.	225 000	243 560
Superfosfato simple.	120 000	135 000
Mezclas fertilizantes.	60 000	44 404
3) Unidad Monclova.		
Acido fosfórico.	18 000	14 667
Acido nítrico.	55 000	58 266
Nitrato de amonio.	68 000	73 750
Fertilizantes complejos.	50 000	69 750
4) Unidad Coatzacoalcos.		
Acido sulfúrico.	60 000	60 454
Acido fosfórico.	17 000	15 702
Sulfato de amonio.	100 000	80 309
Fosfato di-amónico.	80 000	89 712
5) Unidad Minatitlán.		
Acido sulfúrico.	110 000*	91 291
Acido fosfórico.	41 000	16 400
Acido nítrico.	109 000	103 641
Urea	305 000	233 092
Nitrato de amonio.	110 000	81 363
Fertilizantes complejos.	140 000	151 415

	Capacidad instalada ton/año	Producción 1975-1976 ton/año
6) Unidad Bajío.		
Urea.	56 000	48 860
Sulfato de amonio.	60 000	58 849
7) Unidad Torreón.		
Sulfato de amonio.	100 000	105 000
Mezclas fertilizantes.	5 000	---
8) Unidad Camargo.		
Urea.	85 000	79 533
9) Unidad Guagalajara.		
Acido sulfúrico.	150 000	138 000
Sulfato de amonio.	120 000	116 823
Superfosfato simple.	120 000	93 281
Mezclas fertilizantes.	6 600	---
10) Unidad Pajaritos (F.F.de M.)		
Acido sulfúrico (al 100%).	990 000	800 000
Acido fosfórico(al 100% de P_2O_5).	284 000	276 000
Superfosfato triple.	270 000	216 000
11) Unidad de San Juan del Río.		
Acido sulfúrico.	200 000	---
Sulfato de amonio.	200 000	---
Superfosfato simple.	300 000	

* Esta capacidad no incluye la nueva planta de ácido sulfúrico de 330 000 - ton/año que fué inaugurada a fines de 1976 y que hoy día no está funcionando.

Las 11 unidades enunciadas anteriormente son todas productoras de fertilizantes, pero además Guanos y Fertilizantes de México S.A. cuenta con --

dos unidades productoras de insecticidas, que son las unidades:

12) Unidad Ecatepec.

13) Unidad Salamanca.

En 1977, Guanos y Fertilizantes de México S.A tiene en estudio la instalación de los siguientes proyectos:

1) Bajío.

Planta de urea 330 000 ton/año.

2) Pajaritos.

Planta de urea. 495 000 ton/año.

3) Querataro.

Planta de ácido sulfúrico. 300 000 ton/año.

Planta de superfosfato simple. 200 000 ton/año.

4) Las Truchas.

Planta de ácido sulfúrico. 594 000 ton/año.

Planta de ácido fosfórico. 198 000 ton/año.

Planta de ácido nítrico. 200 000 ton/año.

Planta de nitrato de amonio. 206 000 ton/año.

Planta de fosfato di-amónico. 275 000 ton/año.

Planta de fertilizantes complejos. 250 000 ton/año.

2.3 PRODUCCION NACIONAL DE FERTILIZANTES.

2.3.1 Características de los fertilizantes.

Los fertilizantes son materiales naturales o sintéticos que contienen los nutrientes de las plantas en forma aprovechable. Como mínimo 16 elementos son esenciales para la vida de las plantas:

1. Carbono, oxígeno, nitrógeno, fosforo y potasio son necesarios en grandes cantidades.

2. Calcio, magnesio y azufre son requeridos en cantidades un poco menores, y
3. de los restantes, como son hierro, manganeso, silicio, cobalto y molibdeno sólo se encuentran trazas,

Carbono, oxígeno e hidrógeno son obtenidos del aire y del agua, en tanto que algunas plantas como las legumbres pueden usar bacterias en sus raíces para fijar el nitrógeno atmosférico. La mayoría de los otros elementos son asimilados por medio de complejos mecanismos fisicoquímicos en las raíces de las plantas.

Para asegurar la repetición de buenas cosechas los agricultores deben mantener niveles adecuados de nutrientes en el suelo por medio de la apropiada adición de fertilizantes. Los materiales tradicionales con bajos contenidos de nutrientes, tales como el estiércol y otros desechos animales y vegetales, son usualmente suministrados en forma limitada en los modernos métodos de cultivo, y han de ser suplementados o reemplazados por fertilizantes químicos con un alto contenido de nutrientes, los cuales son formulados para las necesidades específicas del suelo y de la cosecha.

2.3.2 Fertilizantes Nitrogenados.

Estudios hechos por científicos en el siglo XIX, establecieron que el nitrógeno es uno de los nutrientes primarios de las plantas, y uno de los elementos básicos de los fertilizantes orgánicos. Los primeros fertilizantes nitrogenados fueron:

- a) El nitro de Chile (Na NO_3), el cual se usa hoy en día, en forma limitada, como abono superficial en los cultivos de tabaco.
- b) El sulfato de amonio, fabricado como un subproducto del gas de hulla, que aún es aplicado en grandes cantidades.

Intentos a principios del siglo XX para fijar el nitrógeno por medio de un arco eléctrico llevaron a la producción de la cianamida de calcio --- (CaCN_2) en Estados Unidos, y al nitrato de calcio por medio del ácido nítrico en Noruega. La última planta de cianamida de calcio se cerró en Estados Unidos desde 1971, pero grandes tonelajes de nitrato de calcio aún son producidos en Europa.

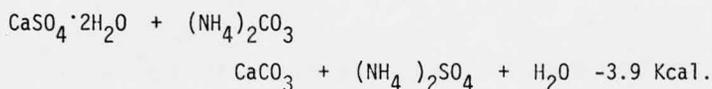
Hoy en día virtualmente todos los fertilizantes nitrogenados están basados en el amoníaco sintetizado a partir del nitrógeno atmosférico e hidrógeno obtenido bien sea del gas natural, del petróleo, del carbón, o de la electrólisis del agua (en orden decreciente).

2.3.2.1 Sulfato de Amonio.

El sulfato de amonio (NH_4)₂SO₄, contiene aproximadamente 21% de nitrógeno. Inicialmente fué producido por depuramiento del gas de hulla con ácido sulfúrico, seguido de una evaporación, cristalización, separación y secado; este método es todavía usado en forma limitada. Otro método comúnmente usado en la actualidad es la reacción entre el ácido sulfúrico y el amoníaco anhidro.

Una mayor fuente actual es la fabricación de la caprolactama, la cual dá varias toneladas de sulfato de amonio como subproducto de tonelada producida de caprolactama.

Otros productores usan la reacción de Merseburg, mediante la cual el yeso natural o el de subproducto se hace reaccionar con carbonato de amonio para producir sulfato de amonio:



cuando es preparado en forma adecuada, el producto resultante se encuentra

en forma de cristales que fluyen libremente.

En México se desarrolló el proceso Marino para la fabricación de sulfato de amonio y hoy día también se emplea como una técnica de desulfurización. En este proceso, el gas proveniente de una refinería o termoeléctrica, o gases provenientes de la oxidación directa de azufre elemental, son mezclados con amoníaco antes de entrar a un lavador de gases húmedos, donde la mezcla (SO_2 y NH_3) entra en contacto con una solución de sulfito de amonio. El gas limpio sale al final de la unidad, la cual opera a presión atmosférica y a una temperatura de 176°F ; mientras que la solución de sulfito de amonio con una concentración del 35% se colecta en la parte inferior. La solución es concentrada al pasarla a través de un cambiador de calor y por una evaporación flash en el cristalizador subsecuente, el cuál opera al vacío y a una temperatura de 180°F , es aquí donde se forman los cristales de sulfito de amonio; los cuales son separados por centrifugación y a continuación son oxidados en un secador rotatorio para obtener sulfato de amonio como producto final.

Las condiciones de operación deben ser tales que el sulfato emerga bien granulado y térmicamente estable, la temperatura dentro de la unidad de oxidación no debe ser muy elevada a fin de evitar que el SO_2 escape y constituya un riesgo adicional de contaminación; en este proceso se reporta un alto grado de conversión de los cristales de sulfito (98%), un corto tiempo de retención en la unidad de oxidación, y la formación de un producto bien granulado y que no muestra tendencia a la formación de tortas.

2.3.2.2 Nitrato de calcio.

El nitrato de calcio, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, contiene aproximadamente 15% de nitrógeno. Este compuesto fué hecho inicialmente por medio de la reacción de la

piedra caliza con ácido nítrico, un método todavía con un uso limitado. Actualmente es producido en grandes cantidades como un subproducto de la fabricación de los nitrofosfatos (ver nitrofosfatos).

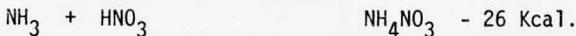
Hay varios procesos comerciales:

- a) Granulación por aire.
- b) Granulación en un lubricante.
- c) Productos cristalinos.

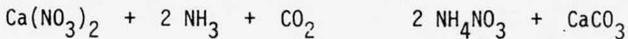
Los tipos de granulación son empleando el metodo prilling. El nitrato de calcio es muy higroscópico, haciendo imprescindible tomar las precauciones necesarias durante el almacenamiento y el embarque.

2.3.2.3 Nitrato de amonio.

El nitrato de amonio, NH_4NO_3 , contiene aproximadamente un 35% de nitrógeno. El nitrato de amonio es producido por la reacción directa entre el amoníaco y el ácido nítrico. Hay varios procesos que operan bajo vacío, a presión atmosférica, o por encima de ésta; son aprovechables:



El nitrato de amonio, también es fabricado por la reacción del nitrato de calcio (subproducto de las plantas de nitrofosfatos), con amoníaco y CO_2

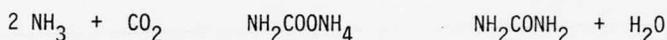


Usualmente es producido como por perdigones, gránulos, o en solución. La solución se puede emplear sola o en unión de otros líquidos conteniendo nitrógeno (urea, o amoníaco en solución).

2.3.2.4 Urea.

La urea, $(\text{NH}_2\text{CONH}_2)$ se produce comercialmente en forma sintética mediante la reacción del amoníaco con el dióxido de carbono, a través de la -

formación de un compuesto intermedio que es el carbamato de amonio ($\text{NH}_2\text{CO}-\text{ONH}_4$):



La reacción posterior del carbamato de amonio para la formación de urea se produce solamente en las fases líquida o sólida, aunque el equilibrio de conversión se reduce por la presencia de agua.

Antiguamente las materias primas para la fabricación de la urea, eran coque, aire y agua; en la actualidad el gas natural ha reemplazado al primero como fuente de dióxido de carbono.

Los diversos procedimientos para la obtención de urea tienen mucho en común; pero lo que distingue a unos de otros son las modificaciones que afectan a la reacción básica antes descrita. Como la reacción es reversible, la formación de urea se vé favorecida por cuidadosos ajustes de temperatura, presión y concentraciones. Las temperaturas altas aumentan la transformación de las sustancias reaccionantes en urea; pero, a su vez, requieren de altas presiones para evitar que pasen al estado gaseoso con la consiguiente descomposición del carbamato de amonio y disminución del rendimiento.

En casi todos los procesos se mantiene en el reactor un gran exceso de amoniaco para aumentar la formación de carbamato de amonio, la reacción es fuertemente exotérmica y se debe gobernar cuidadosamente; la corrosión es extremadamente fuerte en el reactor debido a las condiciones de proceso en que opera éste.

La urea puede producirse con buenos resultados económicos mediante la síntesis de un solo paso, si el amoniaco que no reaccionó en la operación puede ser utilizado en otra parte; sin embargo, en la mayoría de los procesos los gases sin reaccionar se recirculan, y el problema principal de la recirculación es el posible depósito del carbamato de amonio sólido en el

sistema al comprimir el gas de recirculación. La forma como se resuelve este problema es la que realmente establece la diferencia entre los diferentes procesos.

La urea se obtiene industrialmente en dos formas: granulada y cristalina; la forma granulada difiere de la cristalina sólo en el tamaño de la partícula y en el agente con que se recubre para evitar la tendencia a la formación de tortas durante el almacenamiento. La urea que se destina a fines agrícolas es en forma de perdigones o gránulos lo cual ofrece grandes ventajas por lo que respecta a su manejo y almacenamiento en comparación con la urea cristalina.

La urea es un fertilizante cuyo uso está muy extendido por numerosas razones, entre las que se incluyen:

- a) Un contenido alto de nitrógeno (46%),
- b) un valor agrícola superior,
- c) ausencia de corrosividad,
- d) condición física buena para su manejo, y
- e) costo competitivo por unidad de nitrógeno.

2.3.2.5 Tendencia de los fertilizantes nitrogenados.

En los Estados Unidos están siendo usadas grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados, tales como amoníaco anhidro, amoníaco en solución acuosa, sales amoniacales y muchas otras combinaciones, incluyendo algunas - conteniendo sales fosfatadas.

Puesto que todos estos materiales son altamente solubles en agua, se ha puesto en relieve la posibilidad de trastornos ecológicos causados por el nitrógeno de desecho; afortunadamente muchos suelos fijan rápidamente -- los iones amonio, de tal modo que contrarrestan los posibles desechos y evi

tan los efectos de la contaminación.

La liberación controlada del nitrógeno puede ser obtenida por la reacción de urea y formaldehído para producir fertilizantes "ureaform", por recubrimiento de la urea con azufre, o por el uso de compuestos de solubilidad lenta conteniendo nitrógeno, tales como el isobutiliden-diurea. Estos materiales son relativamente costosos y son vendidos a mercados no agrícolas.

Los recientes intentos para controlar la liberación del nitrógeno empleando fertilizantes nitrogenados en combinación con fósforo, son bastante prometedores.

2.3.3 Fertilizantes fosfatados.

A mediados del siglo XIX, Liebig y otros mostraron que las conocidas propiedades fertilizantes de los huesos eran debidas a un alto contenido de fosfatos, y que tratados con ácido sulfúrico se incrementaba bastante su efectividad.

La rápida expansión en las necesidades de fertilizantes crea una gran demanda para tales abonos químicos y condujo a una aguda escasez de huesos. Esto fué superado por el oportuno descubrimiento de minerales fosfatados en Florida y en otros lugares, y de los depositos de guano de Perú.

Hoy en día, los huesos y el guano están en su mayor parte limitados a usos especiales no agrícolas, y han sido virtualmente reemplazados por los fertilizantes preparados a partir de roca fosfórica extraída en muchos países.

Una importante propiedad de los fertilizantes fosfatados es su aprovechamiento por las plantas, lo cual es en gran manera una función de la solubilidad del fosfato en un suelo específico. Muchas rocas fosfóricas consis-

ten de una ganga de arena arcillosa conteniendo un mineral de apatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{R}$, donde R es usualmente fluor, pero puede ser OH, CO_3 o Cl. Un lavado, seguido de un tamizado y una beneficiación producen concentrados de guijarros y arenas, que frecuentemente tienen la composición general de $3 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ (cerca de un 30% a un 40% de P_2O_5).

En el agua y en suelos neutros y alcalinos, las apatitas y el fosfato tricálcico son altamente insolubles, pero son moderadamente solubles en suelos ácidos. El fosfato dicálcico es fácilmente soluble en suelos ácidos, y moderadamente soluble en agua y en suelos alcalinos y neutros, mientras que el monocálcico es soluble en agua y en todos los suelos húmedos.

La eficiencia de los fertilizantes fosfatados también es afectada por la presencia de fosfatos de hierro y aluminio, los cuales son insolubles en agua, pero solubles en ácidos débiles.

En algunos países la solubilidad total en agua es demandada o muy solicitada, por lo cual el fosfato monocálcico y el fosfato de amonio deben ser usados. En otros, una ligera solubilidad en agua o apreciable solubilidad en ácidos débiles, tales como el cítrico es adecuada, permitiendo a los fertilizantes incluir grandes cantidades de fosfato dicálcico, así como también fosfatos de hierro y aluminio.

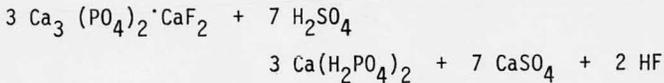
Bastantes fertilizantes nitrofosfatados y escorias de aceros están en esta categoría. Algunos suelos y humus (parte orgánica de la composición del suelo), son capaces de asimilar polvos de roca fosfórica sin tratamiento químico.

2.3.3.1 Superfosfato simple.

El superfosfato simple contiene aproximadamente 20% de P_2O_5 . Este es el más viejo de los fertilizantes fosfatados solubles en agua y aún es pro-

ducido en grandes cantidades. Este producto es preparado por la reacción directa entre el polvo de roca fosfórica y el ácido sulfúrico al 70% de concentración, siendo ambos alimentados a un recipiente por cargas o por una cinta continua, formandose una masa sólida de fosfato monocálcico y yeso, la cual es curada por almacenamiento antes de embarcarla. Durante la reacción se desprenden compuestos gaseosos de fluor y silicio, los que son removidos por absorción en agua.

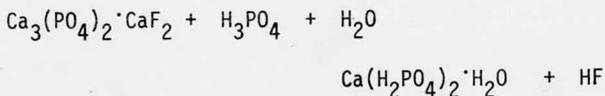
La reacción empírica es:



2.3.3.2 Superfosfato triple.

El superfosfato triple contiene aproximadamente de 46 a 48% de P_2O_5 . Acidulando la roca fosfórica con ácido fosfórico se produce el superfosfato concentrado o triple, este es esencialmente fosfato monocálcico conteniendo muy poco yeso.

La reacción que se lleva a cabo es:



Los procesos continuos son aprovechables para la preparación de productos en polvos o granulados. El superfosfato triple es usado en su mayoría para proporcionar P_2O_5 en mezclas fertilizantes. Es un fertilizante con un alto contenido de nutriente y comparado con el superfosfato simple ofrece economía en el almacenamiento y embarque.

2.3.3.3 Fosfatos de amonio.

Varios fosfatos de amonio pueden ser preparados, pero unicamente el monocálcico y el dicálcico son fabricados para ser usados como fertilizantes,

solos o combinados con otras sales.

Numerosos procesos comerciales están disponibles, los cuales aprovechan la reacción directa del amoníaco anhidro con el ácido fosfórico; la pasta resultante es convertida a una forma sólida y secada posteriormente.

Diversas relaciones de amoníaco y ácido fosfórico entre 1 y 2 pueden ser seleccionadas para producir varios grados de fertilizantes en el producto.

Por ejemplo, para el fosfato di-amónico:



El ácido fosfórico del proceso húmedo es comúnmente usado, pero en menores cantidades se está empleando el ácido preparado por el proceso del horno eléctrico. Sin embargo, las impurezas del ácido húmedo dificultan la cristalización, y el producto correspondiente es granulado. Los fosfatos como el monoamónico y el di-amónico producidos con el ácido del proceso de horno pueden ser fácilmente cristalizados.

Acido usado	Fosfato monoamónico		Fosfato di-amónico	
	N%	P ₂ O ₅ %	N%	P ₂ O ₅ %
Proceso húmedo	11	48	18	46
Horno eléctrico	12	61	21	53

El fosfato di-amónico granulado preparado con ácido de proceso húmedo es producido en grandes cantidades en comparación con el fosfato monoamónico, y se ha convertido en el más popular de todos los fertilizantes fosforados debido a su alto contenido de nutrientes, a su estabilidad, y a una economía considerable. En los procesos convencionales, la neutralización tiene lugar a presión atmosférica.

Recientemente se han desarrollado bastantes procesos de fosfato monoamónico en los cuales el amoníaco y el ácido reaccionan bajo presión, siendo

la pasta enviada rápidamente a una torre y convertida a polvo por el calor de reacción. El producto es utilizado como un intermediario para la preparación de mezclas fertilizantes.

2.3.4 Fertilizantes potásicos.

Se encontró a principios del siglo XIX que el potasio, así como el fósforo, eran dos de los mayores nutrientes esenciales para las plantas. Grandes yacimientos de minerales de KCl (silvita) y mineral de $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ - (carnalita) fueron descubiertos en Stassfurt, Alemania; billones de toneladas de estos minerales han sido encontradas en muchos países, especialmente en Canadá, el cual suministra todas las necesidades de Norteamérica. La extracción se realiza usualmente por métodos bajo tierra, entre 300 y 500 metros, aunque una solución de extracción se emplea en algunas minas de Canadá.

En la superficie el mineral es triturado, beneficiado, cristalizado y secado para producir el muriato comercial (KCl) en varios grados y tamaños de partícula, conteniendo de un 60 a un 62% de KCl. El muriato es recobrado de salmueras (Mar Muerto), y otros lugares.

Cantidades relativamente pequeñas de otras sales potásicas son usadas como fertilizantes, generalmente para propósitos especiales. El tabaco y otros vegetales son afectados adversamente por altas concentraciones de cloruro, siendo preferidos el sulfato de potasio, K_2SO_4 , nitrato de potasio, y KNO_3 .

Algo de nitrato de potasio es fabricado en Chile en base a los depósitos de nitrato de sodio; y en Estados Unidos en base a sales potásicas y ácido nítrico, mediante técnicas apropiadas.

El sulfato de potasio se prepara en Europa en cantidades substanciales

por el proceso de Mannheim, en base a potasio y ácido sulfúrico; y en Estados Unidos y otros países por medio de varias reacciones de intercambio entre sales de potasio, sodio y magnesio.

El potasio generalmente es aplicado al suelo solo o con sales conteniendo nitrógeno y/o P_2O_5 , y granulando la mezcla por los métodos convencionales, o mezclando los materiales secos, como urea, fosfato de amonio y muriato, (mezclas fertilizantes). La reciente producción del cloruro de potasio granulado, en tamaños compatibles con otras sales fertilizantes, ha hecho posible estas mezclas, por la minimización de la segregación en el transporte.

La solubilidad total del cloruro de potasio en agua resulta inicialmente en un 100% de K_2O , aprovechable para la mayor parte de los suelos. Sin embargo, en arcillas, o cuando la precipitación pluvial es restringida, el exceso de cloruro puede formar capas que pueden ser dañinas. En algunas áreas pueden ser necesarias técnicas de liberación controlada o el uso de otras sales potásicas.

2.3.5 Fertilizantes complejos y mezclas fertilizantes.

Los fertilizantes complejos y las mezclas fertilizantes pueden ser agrupados bajo una sola denominación que es la de fertilizantes formulados. Son compuestos que generalmente contienen los elementos nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) y en algunos casos especiales los elementos nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre).

En la formulación de los fertilizantes se debe de tomar en cuenta las consideraciones agronómicas en relación al suelo y tipo de cultivo, porque el establecer una fórmula fertilizante no consiste solamente en un cálculo aritmético, sino que además implica conocer y considerar debidamente las --

propiedades químicas y físicas de los diferentes elementos fertilizantes, - su costo y disponibilidad, su estado físico en relación a los problemas de manejo, así como su compatibilidad con otros materiales.

En el cálculo de una fórmula los primeros elementos que se determinan son el nitrógeno y el potasio; en la actualidad la amplia gama de soluciones de nitrógeno permite al fabricante seleccionar y ajustar la fórmula tan tanto como sea posible; y de esta manera reducir notablemente el costo de las mezclas de alto contenido de nitrógeno, además la selección de los compuestos que contienen potasio es de suma importancia, ya que los iones residuales de éstos pueden afectar los cultivos. Posteriormente se determinan los nutrientes secundarios que se vayan a emplear y finalmente se hace un ajuste de las cantidades de superfosfatos o de carga para satisfacer el volumen remanente de una tonelada corta que es la base de cálculo de la fórmula.

El adecuado control de calidad en la elaboración de los fertilizantes formulados es de gran importancia, ya que sirve para evitar una mezcla errónea de los diversos compuestos fertilizantes, así como para cumplir los requisitos que marcan las normas establecidas por el gobierno para la fabricación de fertilizantes.

En México, el fertilizante complejo es granulado y homogéneo; en tanto que las mezclas fertilizantes son simplemente una mezcla física de los diversos compuestos fertilizantes, y en ambos casos se pueden obtener formulaciones idénticas pero de muy distintas propiedades físicas.

En la actualidad estos productos se venden a los agricultores en sacos o en granel.

2.3.6 Sistema comercial de formulación.

La producción de fertilizantes que se expenden en el comercio se clasi

fican según su contenido de nutrientes asimilables (nitrógeno, fósforo y potasio), expresado por los correspondientes porcentos de peso total en el orden indicado.

Desde hace tiempo, se acostumbra expresar el resultado de los análisis de compuestos de fósforo y potasio en equivalentes de los óxidos. Así pues, el contenido de fósforo se expresa en P_2O_5 , y el contenido de potasio en K_2O . En el caso del nitrógeno lo que se indica es la cantidad de este elemento.

El sistema antes mencionado es muy antiguo en la industria de fertilizantes, y aunque sería conveniente por razones científicas expresar el contenido de nutrientes, no en equivalentes de óxidos, sino en relación a las iones elementales; la realidad es, que esa forma de expresar el contenido de nutrientes no está regida a usos científicos.

En la práctica, un fertilizante de composición (10-15-12), es el que contiene en forma asimilable un 10% de nitrógeno, un 15% de fósforo expresado en forma de P_2O_5 y un 12% de potasio expresado en forma de K_2O . Estos porcentajes indican mínimos garantizados y no el contenido efectivo de los nutrientes, que es por lo general algo mayor. Cuando un fertilizante contiene sólo dos elementos nutrientes primarios, el elemento que falta se representa por ceros en el lugar que corresponda.

2.3.7 Fertilizantes que se fabrican en México.

En nuestro país la utilización de fertilizantes se hace cada día más extensiva, lo que ha provocado que la producción de ellos aumente significativamente para responder a la creciente demanda interna, reduciéndose la importación de algunos productos finales, intermedios, y materias primas que se utilizan en el agro mexicano.

El grueso de la producción nacional de fertilizantes pertenece a los - clasificados como primarios; éstos serán analizados para cada uno de los -- tres siguientes grupos:

- 1) Fertilizantes nitrógenados,
- 2) fertilizantes fosfatados, y
- 3) fertilizantes potásicos, (son de importación).

En México los fertilizantes nitrogenados están compuestos por el si--- guiente grupo de productos finales:

- a) Sulfato de amonio,
- b) nitrato de amonio,
- c) amoniaco anhidro,
- d) urea.

El análisis o composición de cada uno de los fertilizantes nitroge-- dos refleja lo siguiente:

1. Sulfato de amonio.- Este producto contiene 20.5% de nitrógeno.
2. Nitrato de amonio.- Este producto contiene 35.5 de nitrógeno.
3. Amoniaco anhidro.- Este producto contiene 85% de nitrógeno, y es u no de los elementos nitrogenados más importantes, ya que se le pue de emplear como producto final o como materia prima.
4. Urea.- Este producto contiene 46.5% de nitrógeno.

Cabe aclarar que el total de la producción nacional de fertilizantes - nitrogenados incluye los cuatro productos enunciados antes y la producción por concepto de mezclas y complejos.

Para la elaboración de fertilizantes fosfatados se requiere de dos ma-- terias básicas: roca fosfórica y ácido sulfúrico. En México las plantas ela-- boradoras de fertilizantes fosfatados importan la roca fosfórica; aunque -- han empezado a explotarse los depósitos de roca fosfórica de Zacatecas y --

Coahuila, y se piensa desarrollar en un futuro próximo los yacimientos de - Baja California. Por otra parte, nuestro país cuenta con depósitos de azu-- fre, materia prima para la obtención de ácido sulfúrico.

Los fertilizantes fosfatados están compuestos por el siguiente grupo - de productos finales:

- a) superfosfato simple,
- b) superfosfato triple,
- c) fosfato diamónico.

El análisis o composición de cada uno de los fertilizantes fosfatados refleja lo siguiente:

1. Superfosfato simple.- Este producto contiene 20% de pentóxido de - fósforo (P_2O_5).
2. Superfosfato triple.- Este producto contiene 46% de pentóxido de - fósforo (P_2O_5).
3. Fosfato di-amónico.- Este producto contiene 46% de pentóxido de -- fósforo (P_2O_5) y 18% de nitrógeno.

Para la elaboración de los fertilizantes potásicos se utilizan diferen- tes sales potásicas, las que en su totalidad se importan, pues a pesar de - que existen yacimientos en nuestros país, estos no son de la calidad que re quiere el proceso, por lo que a la fecha resulta incosteable su explota---- ción.

Es conveniente señalar que este tipo de productos , en nuestros suelos dedicados a la agricultura es el que se utiliza en la menor proporción, por lo cual podemos suponer que los suelos dedicados a esta actividad cuentan - con éstas sales en las cantidades requeridas por los cultivos.

En nuestro país las substancias potásicas se utilizan como materias -- primas para la elaboración de fertilizantes conocidos bajo el nombre de mez

clas fertilizantes y fertilizantes complejos.

Dentro de este tipo de fertilizantes potásicos tenemos los siguientes:

- a) sulfato de potasio, 49 a 50% de K_2O .
- b) cloruro de potasio, con 60% de K_2O .

Capítulo III DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DEL ESTUDIO.

3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA DEL ESTUDIO.

En los primeros capítulos se ha analizado someramente los modelos de desarrollo económico de los países subdesarrollados y específicamente el caso de México. Se hace así mismo mención de los problemas que trae consigo para un país en vías de desarrollo el hecho de depender tecnológicamente de los países altamente industrializados; uno de los problemas más importantes que ocasiona es el de la heterogeneidad tecnológica, que trae como consecuencia la heterogeneidad de equipos. Este fenómeno se puede explicar por la situación en la cual se adquieren diferentes tecnologías para la fabricación de un mismo producto, aunque también hay heterogeneidad tecnológica cuando existe una sola tecnología para un mismo producto pero gran variedad de tecnologías para productos diferentes, ocasionando que se tenga una gama de equipos que realizan la misma operación básica. Esto afecta de una manera bastante directa la economía del país, puesto que implica demasiados gastos en la compra y mantenimiento de diversos equipos de importación, los cuales se podrían reducir considerablemente si se realizaran pertinentes estudios técnico-económicos y se llegara al caso de utilizar una línea determinada de ellos -de los equipos en funcionamiento u otros equipos que cumplieran todos los requisitos que realizan esos equipos-. El proceso de desarrollo del país se vería fuertemente impulsado si se pudieran evitar estos gastos, y la manera en que esto se podría hacer, sería la fabricación de estos equipos en el país, impulsando una parte dinámica de la economía que es la industria de la fabricación de bienes de capital.

" El análisis de la demanda potencial de bienes de producción debe partir del estudio de las operaciones fundamentales que se presentan en la red de procesos que conforman el sistema productivo global y de su expansión futura, haciendo una evaluación tecnológica de las posibilidades de rediseñar

equipos de manera que la normalización de su producción haga socialmente rentable su producción interna, en base a una demanda ampliada". (1).

El objeto principal de este estudio de la heterogeneidad tecnológica, es el análisis de la diversificación de equipos de proceso para una misma operación y la diversidad de marcas empleadas, para apreciar hasta que punto es posible la homogeneización de un equipo, considerando la flexibilidad del proceso, así como la posible normalización de estos equipos para su fabricación en serie.

Se eligió la industria de fertilizantes por ser una industria de importancia vital para la producción de insumos agrícolas que son una de las bases de la economía del país, así como también por los requisitos siguientes:

- i) por la posibilidad de que existiera un cierto grado de heterogeneidad tecnológica, debido a la fusión e integración de las empresas privadas a la industria estatal -representada por Guanos y Fertilizantes de México S.A.-,
- ii) por la posible facilidad de acceso a la información requerida para el estudio, y
- iii) por que esta industria fue creada para substituir la importación de fertilizantes, conformada en situación de total dependencia tecnológica, ya que el fenómeno de heterogeneidad tecnológica, tema central de este estudio, es consecuencia de la política de substitución de importaciones.

Para el desarrollo de este estudio se procedió primeramente a solicitar a la gerencia de Guanos y Fertilizantes de México, los diagramas de proceso de las plantas de la empresa, tanto de productos finales como de intermedios. Con la información recopilada -diagramas de proceso e información -

bibliográfica de los mismos-, se elaboró una matriz en la cual se agrupan - los diferentes productos que se fabrican, las unidades que los producen y - las tecnologías empleadas.

De esta matriz se aprecia una heterogeneidad tecnológica de procesos - para la fabricación de un mismo fertilizante. Posteriormente se analizaron dichas tecnologías estableciéndose las diferencias que existen desde el pun to de vista del proceso, equipos diferentes y comunes que utilizan.

A continuación se elaboró una segunda matriz en la cual se relacionan diferentes operaciones unitarias con los diferentes fertilizantes que se fa brican, determinando de una manera pertinente cuales son las operaciones -- más representativas de los procesos en estudio. La construcción de esta ma- triz fue realizada en un estudio hecho por the chemical process industries (2) y adaptada para este estudio.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para escoger las operacio nes unitarias, fueron las siguientes: que dichas operaciones fueran básicas dentro de esta industria y que los equipos que involucren dichas operacio-- nes sean factibles de ser producidos en el país, lo que nos evitaría anali- zar equipos que por su complejidad -tecnologías muy sofisticadas o diseños específicos- no sean factibles de normalizarse y producirse en serie.

Las operaciones unitarias que se consideraron para la realización de - la matriz fueron:

- a) aglomeración,
- b) cristalización,
- c) desintegración mecánica de sólidos,
- d) evaporación,
- e) mezclado,
- f) secado,

MATRIZ I. PRODUCTOS FABRICADOS EN LAS DIFERENTES UNIDADES Y LAS TECNOLOGIAS EMPLEADAS.

PRODUCTO \ UNIDAD	UNIDAD BAJIO	UNIDAD COATZACOALCOS	UNIDAD CUAUTITLAN	UNIDAD GUADALAJARA	UNIDAD MINATITLAN	UNIDAD MONCLOVA	UNIDAD S.L.P.	UNIDAD TORREON
AMONIACO ANHIDRO			CHEMICO CONS.					
ACIDO FOSFORICO		DORR-OLIVER.			DORR-OLIVER. (PRAYON).	PECHINEY SAINT GOBAIN.		
ACIDO NITRICO					DUPONT.	S.B. DE L'AZOTE.		
ACIDO SULFURICO		MONSANTO.	CHEMICO CONS. MONSANTO.	MONSANTO.	MONSANTO.			
COMPLEJOS					P.E.C.	THE A.J. SACKETT.		
FOSFATO DI-AMONICO		DORR-OLIVER.						
MEZCLAS			PROCESO MECANICO.	PROCESO MECANICO.			PROCESO MECANICO.	PROCESO MECANICO
NITRATO DE AMONIO					CANADA RESEARCH D.	SAINT GOBAIN.		
SULFATO DE AMONIO	CHEMICO CONS.	CHEMICO CONS.	CHEMICO CONS.	CHEMICO C. STRUTHER W.				CHEMICO CONS.
SUPERFOSFATO SIMPLE			STURTEVANT.	SAINT GOBAIN.			STURTEVANT.	

g) separación sólido-líquido, y

h) separación sólido-gas.

De esta matriz se eliminaron las operaciones de evaporación y de separación sólido-gas, porque aunque son bastante significativas, los equipos - que involucran dichas operaciones necesitan de las especificaciones de diseño para ser construídos o mejor dicho son específicos para la función que - realizan en el proceso, por lo cual no son factibles de ser normalizados y construídos en serie.

Por otra parte, " *mezclado es una de las operaciones unitarias más difíciles de someter a un análisis científico, ya que se presentan una serie de fenómenos y mecanismos muy difíciles de evaluar en la práctica, tales como corrientes transversales, corrientes parásitas, etc., que se establecen dentro del recipiente, aunque ya se han hecho esfuerzos considerables en -- ese sentido. Es por este hecho que el estudio del mezclado se ha realizado en forma empírica en su mayor parte; esto, aunado a la variedad innumerable de sustancias que pueden mezclarse, ha provocado que el número de tipos de mezcladores inventados sea enorme. Así cada industria ha perfeccionado los mezcladores especiales para su propio uso y los intentos para normalizarlos han sido relativamente pocos* ". (3). Es por esta razón que también se eliminó la operación de mezclado.

Las operaciones que fueron seleccionadas para su estudio son las siguientes:

- a) aglomeración,
- b) cristalización,
- c) desintegración mecánica de sólidos,
- d) secado, y
- e) separación sólido-líquido.

MATRIZ II. PROCESOS DE FABRICACION CONTRA OPERACIONES UNITARIAS.

OPERACIONES PROCESO	AGLOMERACION	CRISTALIZACION	DESINTEGRACION MECANICA DE SOLIDOS	EVAPORACION	MEZCLADO	SECADO	SEPARACION SOL-LIQ	SEPARACION SOL-GAS
ACIDO FOSFORICO			3	3	4		3	3
ACIDO NITRICO				2	2			5
ACIDO SULFURICO					4			7
AMONIACO ANHIDRO					2			
COMPLEJOS	2		2	1	1	3		2
FOSFATO DI-AMONICO	1		2			1		2
MEZCLAS					4			
NITRATO DE AMONIO	2		3	2		3		3
SULFATO DE AMONIO		5		3		5	5	5
SUPERFOSFATO SIMPLE	2		3		3			3
T O T A L	7	5	13	11	20	12	8	30

Una vez seleccionadas las operaciones unitarias se analizaron las listas de equipos para cada uno de los procesos de fabricación de fertilizantes, éstas están especificadas después de la descripción de cada proceso en el apéndice I. A partir de estas listas se escogieron los equipos que son sujeto de estudio en este trabajo, y en base a las operaciones unitarias seleccionadas son los siguientes:

Aglomeración	:	Tambor giratorio. Amasador. Torre de perlado. Esferodizador.
Cristalización	:	Cristalizador atmosférico.
Desintegración mecánica de sólidos	:	Molinos de anillo-rodillo. Molinos giratorios o de tumbos.
Secado	:	Secadores rotatorios de calentamiento directo e indirecto. Secadores rotatorios por aspersión.
Separación sólido-líquido	:	Filtros rotatorios al vacío. centrífugas.

Con los equipos ya seleccionados para este estudio y de acuerdo a las premisas elaboradas de antemano, se realizaron visitas de campo para verificar dentro del proceso productivo de la planta si la operación física de los equipos concordaban con las bases consideradas para su selección.

Las visitas de campo que se realizaron fueron a las siguientes unidades productoras:

1. Cuautitlán, Edo de México,

2. Coatzacoalcos, Ver.,
3. Minatitlán, Ver., y
4. Miniclova, Coah.

Con la visualización e información de los equipos obtenida por medio de estas visitas, se juzgó que era innecesario visitar las unidades restantes, ya que la totalidad de los procesos de fabricación de fertilizantes -- fueron cubiertos, y la información requerida de éstas se obtuvo en la gerencia de desarrollo de Guanos y Fertilizantes de México S A

Con la información precedente se procedió a describir cada una de las operaciones unitarias seleccionadas apéndice II-, incluyendo los equipos - que involucran, pero primordialmente aquellos equipos que fueron seleccionados de antemano -capítulo IV- y que son los que se encuentran en esta industria.

Basándonos en la información empírica y práctica de cada uno de los -- equipos seleccionados, se procedió a realizar el análisis de heterogeneidad tecnológica de todos ellos, se obtuvieron conclusiones enfocadas a determinar si había o no heterogeneidad, y en caso afirmativo, plantear el grado de la misma y observar la forma en que ésta afecta al proceso productivo.

Por último, de acuerdo al análisis de heterogeneidad tecnológica realizado, se hacen las recomendaciones pertinentes sobre el alcance de este estudio.

Capítulo IV DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS QUE
UTILIZA LA INDUSTRIA DE FERTILIZANTES EN MEXICO.

- 4.1 Aglomeración.
 - 4.1.1 tambor giratorio.
 - 4.1.2 amasador.
 - 4.1.3 torre de perlado.
 - 4.1.4 esferodizador.
 - 4.1.5 criterios de selección.
 - 4.1.6 análisis de heterogeneidad tecnológica.
- 4.2 Cristalización.
 - 4.2.1 cristalizador para sulfato de amonio.
 - 4.2.2 criterios de selección.
 - 4.2.3 análisis de heterogeneidad tecnológica.
- 4.3 Desintegración mecánica de sólidos.
 - 4.3.1 molino de tazas.
 - 4.3.2 molino de anillo-rodillo con clasificación de aire.
 - 4.3. molinos giratorios.
 - 4.3.4 criterios de selección.
 - 4.3.5 análisis de heterogeneidad tecnológica.
- 4.4 Secado.
 - 4.4.1 secadores rotatorios de flujo en paralelo y a contracorriente.
 - 4.4.2 secadores por aspersion.
 - 4.4.2.1 condiciones de la cámara de secado.
 - 4.4.2.2 modificaciones a los secadores por aspersion.
 - 4.4.2.3 factores controlantes de diseño.
 - 4.4.3 criterios de selección.

- 4.4.4 análisis de heterogeneidad tecnológica.
- 4.5 Separación sólido-líquido.
 - 4.5.1 filtros horizontales giratorios a vacío.
 - 4.5.1.1 sistema de lavado de los filtros horizontales giratorios a vacío.
 - 4.5.1.2 filtro de charola estacionaria.
 - 4.5.1.3 filtro de charolas inclinadas.
 - 4.5.1.4 criterios de selección.
 - 4.5.2 centrifugación.
 - 4.5.2.1 centrífuga de canasta horizontal, automática, intermitente y con cuchilla de descarga.
 - 4.5.2.2 centrífuga de canasta vertical, automática, continua y con cuchilla de descarga.
 - 4.5.2.3 criterios de selección.
 - 4.5.3 análisis de heterogeneidad tecnológica.
 - 4.5.3.1 filtración.
 - 4.5.3.2 centrifugación.

4 DESCRIPCION Y ANALISIS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS QUE UTILIZA LA INDUSTRIA DE FERTILIZANTES EN MEXICO.

En el presente capítulo se hace la descripción y análisis de los diferentes equipos encontrados en cada una de las operaciones unitarias seleccionadas con anterioridad en el capítulo III.

La presencia de diferentes equipos en una misma operación unitaria se debe a varios factores entre los cuales podríamos mencionar los siguientes:

- a) equipos empleados en diferentes productos,
- b) equipos empleados en diferentes licencias para un mismo producto,
- c) tamaño de la planta,
- d) costos de adquisición de los mismos,
- e) costos de operación y mantenimiento, y
- f) tipo de materiales empleados en el proceso,

pero en todos los casos hay un factor común que es la antigüedad de los --- equipos seleccionados, ya que la mayoría tiene más de 10 años de operación. Sin embargo, la mayoría de los equipos aún cumplen con los requisitos exigidos para la operación correcta de las diferentes plantas y por lo cual no - han sido substituídos.

4.1 AGLOMERACION.

4.1.1 Tambor giratorio.

La mayoría de las plantas utilizan un tambor giratorio-amoniador del tipo desarrollado y patentado por la Autoridad del Valle del Tennessee ---- - T.V.A.-. Hay una gran variedad de diseños de equipos auxiliares usados y de diseño del amoniador mismo.

La unidad básica del amoniador del tipo T.V.A. consiste en un cilindro giratorio, inclinado ligeramente y abierto, con anillos de retención en

cada extremo y con un raspador o cortador montado dentro de la cubierta; un lecho movable de material sólido es mantenido dentro de la unidad y los líquidos son introducidos a través de tubos múltiples horizontales de distribución a lo largo del tambor y abajo del lecho. La mayoría de los tambores en uso son de 5 a 8 pies de diámetro y de 5 a 15 pies de largo. Algunas --- plantas tienen unidades que son bastante parecidas en diseño al tambor giratorio como el de la T.V.A.; en otras, hay variaciones que han sido adaptadas por el esfuerzo de la industria de fertilizantes para mejorar la operación o reducir los gastos de la misma.

Una de las principales variaciones está en el diseño de los distribuidores de líquidos. La mayoría de las plantas usan el tipo de distribuidor - T.V.A. colocado a lo largo y abajo del lecho; sin embargo, algunas han instalado un tipo de arreglo de arriba a abajo para evitar dificultades que se han experimentado con respecto a interferencias con la acción movediza del lecho por el distribuidor y a la dificultad de remover el distribuidor para su cuidado. Estos sistemas de arriba a abajo varían ampliamente; canillas - especiales, extremos de tubos aplanados y otras combinaciones son usadas para inyectar los líquidos, y se utilizan varios tramos de arriba a abajo para la solución ácida.

La mayoría de los distribuidores de solución son hechos de acero inoxidable y en gran parte de los distribuidores de ácido son de fierro negro. La duración de estos distribuidores de ácido depende de los grados del fertilizante producido y de sus fórmulas; la duración ordinaria de los distribuidores de ácido hechos de fierro negro corresponde a la producción de cerca de 2000 toneladas de gránulo fertilizante. La corrosión del distribuidor de ácido sulfúrico está principalmente en su superficie externa y alrededor de los orificios a través de los cuales se descarga el ácido. La co--

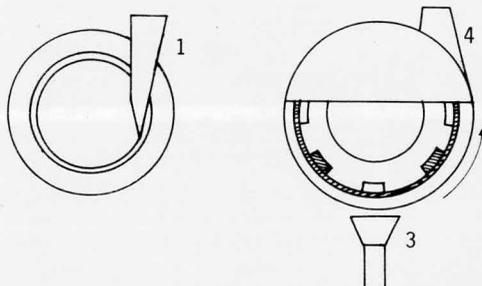
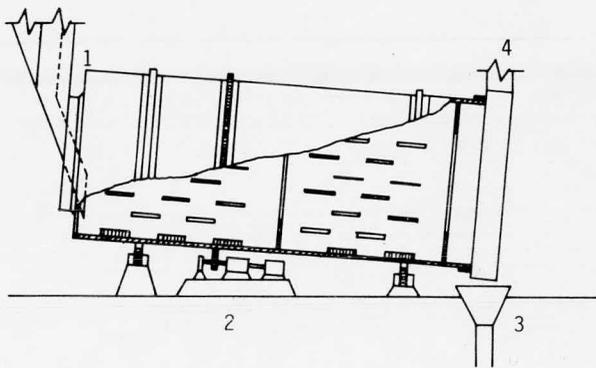


FIGURA 4.1 TAMBOR GIRATORIO, 1. Tolva de retorno de finos; 2. Motor y reductor de velocidad; 3. Tolva de descarga; 4. Salida de polvos

rosión se atribuye principalmente al ácido clorhídrico que se forma cuando el ácido sulfúrico reacciona con el cloruro de potasio. La inspección diaria y la substitución de la pieza antes que los orificios se agranden demasiado es una práctica que ayuda, y el hacer un borde o anillo alrededor de los orificios con soldadura aumenta su duración considerablemente.

Cerca de la mitad de las plantas que usan el proceso T.V.A. tienen granuladores, ya sea como unidad separada o como una sección del amoniador. Algunas plantas no tienen ni el granulator ni el secador, en cuyo caso los gránulos formados en el amoniador se descargan directamente en el enfriador. La mayoría de las plantas usan un secador que puede ser a contracorriente o concurrente; los enfriadores son ordinariamente a contracorriente.

La mayoría de las plantas tamizan el producto después del enfriador, en un tamiz de dos capas; trituran el que pasa de tamaño y lo devuelven al tamiz o bien regresan las partículas al ciclo del amoniador. Otras plantas están equipadas para regresar al ciclo el producto de tamaño grande una vez triturado, o al amoniador para controlar la granulación, cuando se usan fórmulas con contenido de líquido extraordinariamente alto.

4.1.2 Amasador.

El proceso Davison Trenton es el método más conocido que usa un amasador para amoniación. La mayoría de los amasadores usados son del tipo de eje gemelo; también están en uso mezcladores de cinta, los cuales han sido clasificados como amasadores.

Las materias primas sólidas y partículas vueltas al ciclo se alimentan en la entrada del amasador y los líquidos son inyectados bajo el lecho. En algunos casos se prevé la posibilidad de agregar las partículas en

diferentes puntos a lo largo de la unidad. Las ventajas que aparentemente tiene el amasador en comparación con otros tipos de equipo, según los que favorecen el uso del amasador, son las siguientes:

- a) La acción de amasar da un gránulo más duro y fuerte,
- b) es la operación que se acerca más a mantener el estado de lodo, sin viscosidad o seria reducción en la absorción de amoniaco; esto tiene a dar un producto más uniforme en la composición de los gránulos,
- c) puede ser tolerada mayor variación en las condiciones de operación, de importancia cuando el personal de operación no es muy experto; - la acción positiva del amasador moverá mezclas que pueden pegarse - en otros tipos de amoniatadores.

Las desventajas manifiestas del amasador son las siguientes:

- a) el gasto de mantenimiento y el requisito de fuerza motriz son generalmente elevados,
- b) el problema de las emanaciones en el piso de operación tiende a ser severo, porque es difícil proporcionar una remoción efectiva de las emanaciones,
- c) la distribución uniforme de los líquidos bajo el lecho es más difícil, y
- d) a menos que se cuente con un granulador separado, el operador no puede ver muy bien el material hasta que éste entra al secador; en esta forma tiene menos tiempo de ajustar las condiciones de operación.

La granulación ocurre o por lo menos principia en el amasador, y es controlada por la fórmula, por las partículas vueltas al ciclo, o agregando agua. En algunos casos las descargas del amasador se hacen en un granulador

separado; sin embargo, en la mayoría de los casos el amasador descarga en el secador.

En cualquiera de los casos puede ocurrir granulación adicional en el granulador o en el secador, el secador es de ordinario de tipo concurrente. Del secador el producto pasa a un enfriador y después a un tamiz doble; el tamaño que pasa de la medida es triturado y vuelto al tamiz, el de menor tamaño es devuelto al ciclo en el amasador.

En algunas plantas el tamaño grande triturado puede ser vuelto al ciclo en el amasador cuando se necesite para controlar la plasticidad; también una parte del producto acabado puede ser vuelto al ciclo para este mismo propósito.

4.1.3 Torre de perlado.

La operación de granulación del proceso Prilling consiste en una torre de perlado, la cual comprende una armadura de acero estructural que ha sido diseñada con una envoltura interna de aluminio. La torre está sujeta a una corriente ascendente de aire ambiente.

En la base de la torre y dentro de la armadura están montadas dos tolvas colocadas una sobre la otra; éstas se encuentran forradas internamente con láminas de hule con el fin de amortiguar la caída de los gránulos de nitrato de amonio o de urea.

En la parte superior de la torre se encuentra una cámara desde la cual se atomiza la solución concentrada de nitrato de amonio o de urea, en dicha cámara se encuentra situado el tanque de cabeza desde el cual se alimentan las espreas, este tanque tiene una recirculación continua de solución caliente procedente de los evaporadores (la solución que se atomiza es básicamente una fusión, pues en este proceso se aprovecha el bajo punto de fusión

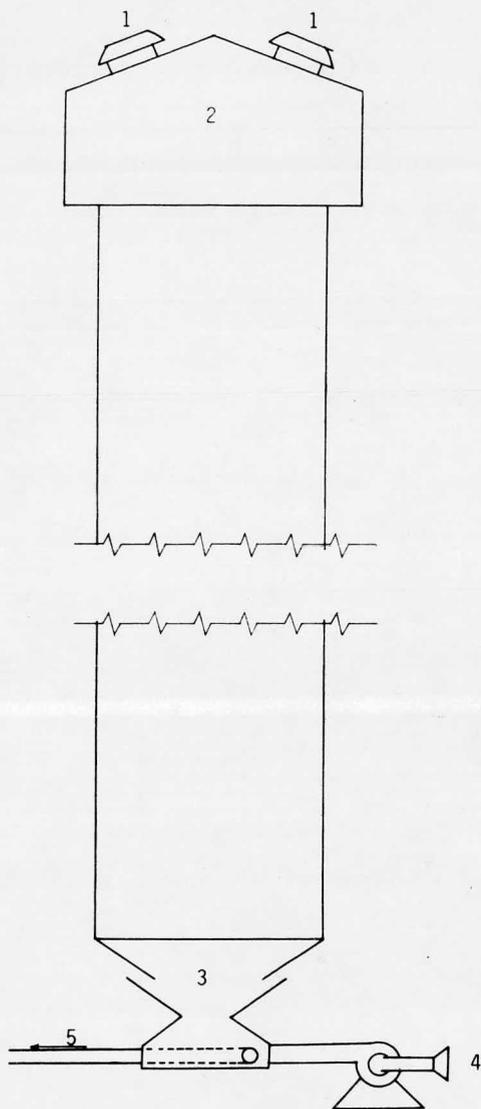


FIGURA 4.2 TORRE DE PERLADO. 1. Extractor; 2. Cámara de espreado; 3. Tolvas 4. Ventilador; 5. transportador.

del nitrato de amonio y de la urea). Esta cámara está recubierta de concreto reforzado. Hay casos en que el piso de la cámara está soportado formando un voladizo más allá de las columnas de la torre, el piso también consiste de una losa de concreto reforzado y con una superficie a prueba de ácido. - Por lo general las paredes de la cámara están revestidas de ladrillos y tiras vidriadas.

La altura de la torre incluyendo la cámara es a lo más de 170 pies, de pendiendo su altura de las condiciones climatológicas de la zona donde se encuentra situada la planta, pues el medio de enfriamiento de los gránulos en la caída es el aire ambiente; el aire es succionado por medio de extractores situados en la parte superior de la cámara. Los accesos a la cámara - están proporcionados por una escalera exterior y por un elevador interno.

La solución concentrada que contiene menos del 5% de agua, es atomizada hacia abajo contra la corriente de aire ascendente para que se sequen -- las gotitas de nitrato de amonio o de urea y se endurezcan durante la caída transformándose en perdigones esféricos denominados gránulos.

Los gránulos son conducidos al exterior por un transportador vibrato--rio y posteriormente secados hasta tener un contenido de humedad inferior a 0.5% de agua.

El producto seco se clasifica por medio de cribas, los perdigones con el tamaño adecuado son recubiertos posteriormente con un agente arcilloso - que los protege de la humedad y evita que éstos se apelmacen durante el almacenamiento (principalmente en el caso del nitrato de amonio); los gruesos y finos se disuelven y la solución formada es enviada a los evaporadores.

Por medio de este proceso de aglomeración la industria de fertilizan--tes sólo puede obtener dos productos granulados: nitrato de amonio (grado - agrícola) y urea; los dos productos tienen una densidad bastante grande.

4.1.4 Esferodizador.

En este equipo, el efecto de granulación se obtiene básicamente por el recubrimiento de la cama de partículas finas con una solución pulverizada, lo cual ocasiona que las partículas de la cama crezcan hasta alcanzar el tamaño adecuado.

El equipo es un cilindro rotatorio con una leve inclinación en el cual se aprecian los siguientes detalles: una sección inicial de corta longitud en donde se encuentran los alimentadores de finos; la cual tiene a continuación otra que tiene aletas de tipo normal terminadas en diente de sierra, paralelas al eje del cilindro; al final de esta última se tiene un tramo va cío el cual termina en un anillo de retención. La finalidad de este último es mantener la cantidad adecuada de material para poder llevar a cabo la -- pulverización de la pasta sobre ésta, a continuación del anillo se tiene -- otro tramo con aletas de tipo normal, el cual se encuentra seguido del tramo de descarga.

La pasta es pulverizada sobre la cama por medio de una boquilla de dos fluidos, en la cual se emplea aire como fluido atomizador.

La cantidad de calor necesaria para secar los gránulos es suministrada por los gases de combustión previamente diluídos en aire para evitar que -- por exceso de temperatura puedan llegar a fundirse éstos. El aire caliente es suministrado por un quemador de flama abierta montado directamente encima del esferodizador.

El aire es movido por medio de un extractor centrífugo colocado des---pués del esferodizador, mientras que el aire de combustión es suministrado por un ventilador montado directamente al quemador para obtener una buena - relación de aire-gas para la combustión.

El aire utilizado en el secado dentro del esferodizador es conducido a

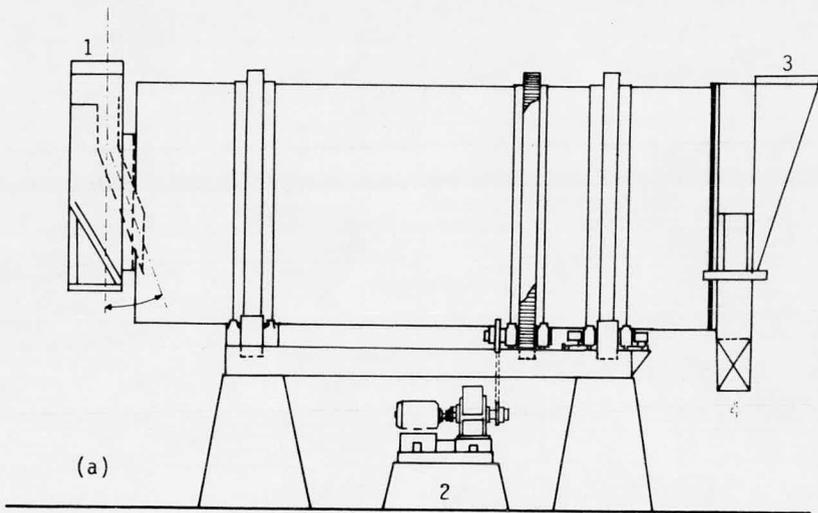
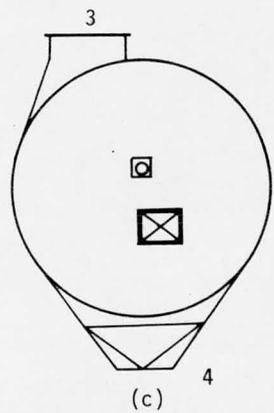
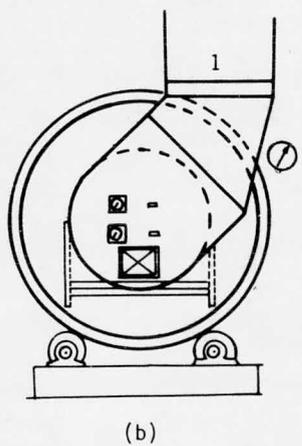


FIGURA 4.3 ESFERODIZADOR. 1. TOLVA DE RETORNO DE FINOS; 2. MOTOR Y REDUCTOR DE VELOCIDAD; -- 3. SALIDA DE GASES; 4. TOLVA DE DESCARGA. (a) VISTA LATERAL; (b) VISTA FRONTAL; (c) VISTA POSTERIOR.



través de dos ciclones para eliminar las pequeñas partículas que son arrastradas por el flujo de aire, esta operación evita la descarga de material a la atmósfera y una pérdida de material, ya que lo que es recuperado en los ciclones es descargado directamente al mezclador de finos, en donde se homogeniza con la pasta antes de caer al tanque de bombeo de pasta.



4.1.5 Criterios de selección.

Para seleccionar el equipo de aglomeración más apropiado para una aplicación dada, es necesario considerar cuidadosamente varios factores, entre los cuales se encuentran los siguientes:

1. Que el equipo sea capaz de cumplir con las características de tamaño y forma, así como, con las propiedades físicas previstas o deseadas para el producto granulado; dichas propiedades son función de la alimentación, y en algunos casos incluso de consideraciones especiales.

2. Que el consumo de energía por unidad de producto terminado (incluyendo el caso de la presencia de equipos auxiliares para efectuar la operación) sea mínimo.

3. Clasificar que tipos de equipo son los adecuados de acuerdo al volumen de producción deseado, esto indicará si se puede emplear un determinado tipo de equipo o varios equipos de otro tipo.

4. Que los costos de adquisición y mantenimiento (mano de obra, desgaste, reposiciones, equipos auxiliares, etc) sean mínimos.

5. Que necesite la mínima obra auxiliar de cimentación e instalación.

Como se puede observar, los puntos (1) y (3) tienen una gran interrelación, aunque no son función el uno del otro; se tiene la presencia de situaciones en las cuales un equipo puede satisfacer adecuadamente un punto, y requerir la presencia de consideraciones especiales de operación y de equi-

TABLA 4.1 FACTORES PARA LA SELECCION DE EQUIPOS DE AGLOMERACION.

Los factores que deben considerarse en una selección efectiva de un --
equipo de aglomeración incluyen:

1. Alimentación de la materia prima:

- a) composición química,
- b) distribución del tamaño de partícula,
- c) densidad de masa,
- d) características físicas, incluyendo:
 - humedad, o contenido de otro líquido,
 - dureza o abrasividad,
 - naturaleza fibrosa,
 - naturaleza adhesiva, pegajosa o viscosa,
 - características de flujo,
 - sensibilidad a la temperatura o punto de fusión, y
- e) características químicas, incluyendo:
 - corrosividad,
 - volatilidad,
 - explosividad,
 - flamabilidad,
 - naturaleza higroscópica, y
 - toxicidad.

2. Capacidad requerida:

- a) gasto (lb/hr, etc.),
- b) especificación de la velocidad, basada en la alimentación o en -
el producto terminado, y
- c) los grados de aglomeración.

3. Producto terminado:

- a) tamaño requerido, (tal como: diámetro y malla),
- b) forma requerida, (esferas, cilindros, etc.), y
- c) indicación de qué tamiz o clasificación será usado.

4. Consideraciones especiales:

- a) ¿ puede ser tolerada la fusión ?,
- b) ¿ pueden ser usados aditivos ?,
- c) ¿ puede ser tolerada la decoloración ?,
- d) ¿ es permisible una superficie dura en el producto ?, y
- e) ¿ es la solubilidad del producto un factor ?.

5. Especificaciones del equipo:

- a) materiales de construcción, (acero al carbón, acero inoxidable, o algún tipo de aleación; terminado de la superficie, etc.),
- b) características eléctricas, y
- c) lugar de instalación del equipo.

pos auxiliares para satisfacer el otro, o incluso no satisfacerlo. Estos dos puntos son determinantes para la puntos restantes.

En general, para encontrar la selección óptima debe hacerse un análisis completo de los cinco puntos antes mencionados, y además, incluir un análisis económico de cada una de las posibilidades, de tal manera que se obtenga el mejor rendimiento al más bajo costo con un tipo de equipo de tamaño y funcionamiento adecuados.

4.1.6 Análisis de heterogeneidad tecnológica.

A continuación procederemos a hacer una comparación objetiva de los equipos seleccionados para determinar en una forma más amplia el grado de heterogeneidad de un equipo con respecto al otro.

En el caso de la urea sólo se hará mención al sistema de granulación en forma superficial, ya que en el presente estudio fue el único de los productos finales que no se analizó debido a contratos de secrecía vigentes entre la empresa y el licenciador.

En la tabla 4.2, podemos observar que el nitrato de amonio se elabora en las unidades Minatitlán y Monclova, de Guanos y Fertilizantes de México S.A., utilizándose dos licencias de tecnología provenientes de la Canada Research development Ltd. y de Saint Gobain respectivamente. Los equipos de aglomeración empleados por cada una de las licencias son: una torre de perlado y un tambor giratorio respectivamente.

El tambor giratorio requiere de una cama de partículas presentes en su interior, sobre la cual es distribuida la solución formándose el gránulo por el rodamiento de las partículas húmedas, esta cama está formada por la recirculación de los finos y de los gruesos previamente molidos, y es esta recirculación uno de los principales controles de operación del equipo; en

TABLA 4.2 TECNOLOGIAS EMPLEADAS POR GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO S.A. EN LA ELABORACION DE PRODUCTOS FINALES.

Producto Unidad	Sulfato de amonio	Superfosfato simple	Nitrato de amonio	Fertilizantes complejos	Urea
Bajío	Chemico Cons.				Lonza Lummus
Camargo					Toyo Koatsu
Cuautitlán	Chemico Cons.	Sturtevant.			
Coatzacoalcos	Chemico Cons.				
Guadalajara	Chemico Cons. Struther Wells.	Saint Gobain.			
Minatitlán		Sturtevant.	Canada R.D.	P.E.C.	Toyo Koatsu
Monclova			Saint Gobain.	The A.J. Sackett.	
San Luis Potosi		Sturtevant			
Torreón	Chemico Cons.				

El fosfato di-amónico sólo es producido en la Unidad Coatzacoalcos y la tecnología empleada es Dorr-Oliver. En la obtención de las mezclas fertilizantes sólo se emplean equipos mecánicos.

TABLA 4.3 EQUIPOS EMPLEADOS PARA LA GRANULACION DE LOS DIFERENTES FERTILIZANTES PRODUCIDOS POR GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO S.A.

Productos Equipos	Fertilizantes complejos	Fosfato di-amónico	Nitrato de amonio	Urea
Esferodizador	X		*	*
Torre de perlado			X	X
Amasador		X		
Tambor giratorio	X	X	X	

* Productos que se pueden obtener granulados en el esferodidor.

la torre de perlado, los finos y gruesos son disueltos en un tanque de disolución, del cual la solución es enviada posteriormente al tanque de solu---ción al 83%.

El tambor giratorio es más accesible a operaciones de mantenimiento y reparaciones que la torre de perlado; esto se debe a las dimensiones y ubi---cación de este equipo en la totalidad de la planta. Las operaciones más fre---cuentes de este equipo son de limpieza, y en algunos casos, la reposición -del distribuidor de solución. En la torre de perlado la limpieza de las re---gaderas, la reposición de los recubrimientos de las tolvas de salida, el --mantenimiento de los ventiladores y extractores de aire, y la limpieza del transportador vibratorio son las operaciones más frecuentes.

El tambor giratorio tiene la ventaja de que permite obtener variacio---nes en el tamaño de los gránulos, haciendo modificaciones en el ángulo de -inclinación del mismo -lo cual afecta directamente el tiempo de residencia de los gránulos en su interior- y cambios en los distribuidores de solu----ción; esto permite regular mejor la cantidad de solución que se asperja sobre la cama de partículas. En el caso de la torre de perlado la variación -en el tamaño del gránulo sólo es posible cambiando las regaderas; sin embar---go, esto no tiene importancia por el hecho de que sólo se requiere que el -gránulo pase dentro de un determinado rango de tamaño, lo cual está contro---lado por las aberturas de las regaderas.

Además de todos estos aspectos, el tambor giratorio requiere de la presencia de un secador rotatorio para el secado de los gránulos, así como de un adecuado sistema de recirculación de finos; dentro de este sistema de recirculación se tienen transportadores de varios tipos. La torre de perlado requiere de la presencia de ventiladores y extractores que hagan circular -el aire ambiente en forma ascendente a través de ella, así como, de un ----

transportador vibratorio a la salida de la misma para el transporte de los gránulos de ésta al enfriador, evitando de esta manera que se apelmacen.

Las dos plantas están diseñadas para la obtención de nitrato de amonio grado agrícola; sin embargo, en el caso de la planta de la unidad Monclova, el proceso y las operaciones originales han sufrido modificaciones que permiten obtener el nitrato de amonio industrial además del nitrato de amonio agrícola; estas modificaciones son: la eliminación de la carga de material inerte en la cuba de agitación y la eliminación del recubrimiento del gránulo. Dichas modificaciones en el proceso se deben a las medidas proteccionistas tomadas por el Estado, las cuales son consecuencia de la política de -- sustitución de importaciones.

El Estado en base a estas medidas buscó eliminar la importación del nitrato industrial, para lo cual aprovechó la flexibilidad de operación de la planta de la unidad Monclova; se llegó a esta conclusión después de analizar las diferentes plantas productoras. La mayor flexibilidad de operación que presenta dicha planta es debido a que en el sistema de granulación se utiliza un tambor giratorio, el cual emplea una solución de nitrato de amonio de menor concentración (94 - 96%) en comparación con la que se emplea en la torre de perlado (98 - 99%), la cual al ser distribuida sobre una cama de partículas del mismo material da como producto un gránulo de menor -- densidad que el que se obtiene en la torre de perlado. Las modificaciones -- en el proceso y las características de operación de la planta dan origen a un mayor grado de incrustación de los equipos que tienen contacto con los -- gránulos; esto es debido al hecho de que el gránulo de nitrato industrial -- es esponjoso y menos compacto que el de nitrato agrícola, lo cual aunado a la higroscopicidad del nitrato provoca dificultades para el secado de los -- mismos. Debido a esto los gránulos del nitrato industrial presentan la ten-

dencia a formar conglomerados compactos y uniformes en las paredes de los - equipos con los cuales están en contacto, lo que ocasiona paros más frecuentes para la limpieza de los equipos.

La torre de perlado requiere que la solución de nitrato de amonio que se emplea para la granulación tenga una alta concentración (98 - 99%) y una temperatura tal que, la solución prácticamente ya es una fusión. Este equipo da como producto un gránulo bastante compacto y de mayor densidad que el obtenido en el tambor giratorio; esta diferencia en la densidad de los gránulos en uno y otro equipo, es el factor determinante de que el nitrato industrial se elabore en la planta de la unidad Monclova. Sin embargo, los -- gránulos del producto agrícola en ambos casos cumplen satisfactoriamente -- con las normas exigidas por la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio.

En la producción de los fertilizantes complejos se tiene una situa--- ción idéntica a la del nitrato de amonio. Como se aprecia en la tabla 4.2, las unidades productoras involucradas son: la unidad Minatitlán empleando - una licencia de P.E.C. y la unidad Monclova empleando una licencia de A. J. Sackett. Los equipos de aglomeración utilizados son un esferodizador y un - tambor giratorio respectivamente. En los dos equipos se llevan a cabo dos - operaciones en forma simultánea; en el caso del esferodizador son la granulación y el secado del gránulo, y en el caso del tambor giratorio son la -- granulación y la amoniatación del gránulo.

El grado de heterogeneidad existente entre estos equipos se puede apreciar al hacer una comparación de ellos en varios aspectos.

La operación del tambor giratorio es más noble debido al hecho de que permite emplear como simiente de granulación materiales sólidos, situación que tiene importancia al iniciar la elaboración de la fórmula; generalmente

se emplean materiales sólidos como: superfosfato triple, superfosfato simple, cloruro de potasio y sulfato de potasio; sobre estos materiales se distribuye la fase líquida, la cual puede estar formada por materiales diversos como son soluciones fertilizantes (sulfato de amonio, fosfatos de amonio, nitrato de amonio o urea) y soluciones de ácidos; generalmente todos los materiales sólidos y en solución reaccionan entre si; el hecho de que se efectúe una amoniatación de los gránulos en forma simultánea a la granulación, no afecta a esta última, ya que esta situación es una práctica común en la industria de fertilizantes, debido a que se aprovecha el calor de neutralización de la amoniatación junto con el de reacción de las materias primas para evaporar agua, lo que ayuda a la granulación.

La operación del esferodizador no es tan noble como la del tambor giratorio, pues es necesario que la cama de partículas sobre la cual se asperja la pasta contenga partículas con la misma fórmula de ésta, por lo cual, --- cuando se cambia la elaboración de una fórmula es necesario vaciar los equipos de los gránulos de la fórmula anterior y sacar producto de la bodega -- con la nueva fórmula a fin de proporcionar la cama adecuada para la granulación; a lo anterior se debe agregar que el proceso de obtención de la pasta requiere de 16 reactores, y que ésta debe mantenerse bajo una constante agitación a fin de evitar que sedimenten los sólidos que tiene en suspen--- sión. Sin embargo, tal vez el mayor problema de operación sea el adecuado - control de la temperatura de secado de los gránulos.

Los dos equipos son accesibles a las operaciones de mantenimiento y re- paración; en el tambor giratorio, una de las operaciones más frecuentes es la de mantenimiento y reposición de los distribuidores (de solución, amonia- co, agua o vapor), debido a que es una de las partes del equipo que más se desgasta por la severa corrosión que sufre. En el caso del esferodizador, -

una de las partes a las cuales se le da mayor mantenimiento es la esprea de distribución de la pasta, además se debe tener cuidado de que el quemador - de flama abierta funcione en forma adecuada, ya que éstas son las partes -- que controlan el buen funcionamiento de la granulacion y secado del fertilizante.

El tambor giratorio presenta mayor versatilidad con respecto a una variacion en el tamao del gronulo, ya que al modificar el ongulo de inclinacion se afecta de manera directa el tiempo de residencia de los gronulos en el equipo, y con cambios en los distribuidores permite regular mejor la cantidad de solucion que se asperja sobre la cama. En el esferodizador no es - posible ni adecuado pensar en una variacion en el tamao del gronulo, por-- que no es posible cambiar el ongulo de inclinacion del equipo, es decir, no se puede cambiar el tiempo de residencia de los gronulos en base a esta operacion; el cambio en la velocidad de rotacion del equipo tambien debe tener en cuenta que este funciona como un secador de calentamiento directo, debido a esto y a sus caracterosticas de operacion se debe que no es muy versotil en lo referente al tamao de gronulo.

El gronulo que produce el tambor giratorio es de aspecto terronozo y - no tan compacto como el producido por el esferodizador, que es un poco mas pequeo y muy compacto; sin embargo, el aspecto del gronulo no es de suma - importancia para la aplicacion de este tipo de fertilizantes.

El esferodizador requiere de un adecuado sistema de manejo de aire, ya que este es el fluido que dispersa a la pasta en la esprea, y tambien es -- fundamental para el buen funcionamiento del quemador de flama abierta; asi mismo, necesita de un buen sistema de recuperacion de polvos, ya que la produccion de estos es bastante grande debido a la fluidizacion de la cama. - El tambor giratorio requiere de un secador rotatorio para el secado de los

gránulos y su sistema de recuperación de polvos no es tan grande como el -- del esferodizador, ya que la producción de éstos no es tan alta.

La mayor flexibilidad de operación de la planta de la unidad Monclova se debe principalmente al uso del tambor giratorio, y a las condiciones del proceso en sí.

La elaboración del fosfato di-amónico se puede considerar como una situación especial, ya que sólo se tiene instalada una planta para la producción de este fertilizante, la cual se encuentra ubicada en la unidad Coatza coalcos.

La elaboración de este fertilizante vino a substituir la producción -- del superfosfato triple, siendo ambos de los fertilizantes clasificados como de alta concentración. Para llevar a cabo la producción del fosfato di-amónico en la misma unidad, fue necesario hacer modificaciones a la planta de superfosfato triple, para transformarla en una de fosfato di-amónico. De bido a las propiedades físicas y químicas de este producto, no fue neces--ario cambiar el equipo de granulación, y es por esta razón que dentro de esta planta se tiene la presencia de un amasador, que es el equipo que se emplea fundamentalmente en la granulación del superfosfato triple; además, es te equipo da un producto duro y muy compacto, lo cual hace que el gránulo - de fosfato di-amónico sea absorbido en forma gradual por el suelo en el ---cual es aplicado.

Este es uno de los productos a los cuales se tiene planeado darles una mayor difusión en el agro mexicano, lo cual se ve reflejado en los nuevos - proyectos en desarrollo por parte de la empresa.

El fosfato di-amónico es un producto que por sus propiedades físicas y químicas, puede ser granulado en el tambor giratorio e incluso en el esfero dizador; pero debido a las materias primas que se emplean en su elaboración

es necesario que el gránulo sea sometido a una amoniatación, a fin de neutralizar las posibles trazas de ácido, lo cual hace que el esferodizador sea descartado para la granulación de este fertilizante.

Podemos concluir que para la elaboración del nitrato de amonio el equipo más adecuado en nuestra opinión, es la torre de perlado -a pesar de que su costo de instalación es mayor que el del tambor giratorio-; esta afirmación se basa en el hecho de que este equipo fue desarrollado para la granulación del nitrato de amonio y de la urea, aprovechando las propiedades físicas y químicas de estos productos, y sobre todo por el hecho de que han probado su eficacia en grandes volúmenes de producción, situación que se observa en las grandes plantas productoras de urea a nivel mundial.

Debido a la situación que se presenta en las plantas productoras de nitrato de amonio de la empresa -situación originada por la política dictada por el Estado-, nos preguntamos; ¿deben las plantas productoras de nitrato de amonio orientarse en el total de su capacidad de producción a satisfacer la demanda interna de este fertilizante, o también estas plantas deben ayudar a las medidas tomadas por el Estado en lo referente a la sustitución de importaciones y producir el nitrato de amonio industrial además del nitrato de amonio agrícola ?. Esta interrogante surge por el hecho de que el Estado ha apoyado la elaboración del nitrato de amonio industrial en una de las plantas de esta empresa, aún en detrimento de la producción interna del nitrato de amonio agrícola; para responder esta pregunta hay que tomar en cuenta, que hoy día se posee la materia prima suficiente para la elaboración de estos dos productos -debido a los grandes yacimientos petrolíferos con que cuenta el país-, y además, el hecho de que las plantas de fertilizantes nitrogenados en proyecto serán mucho mayores en lo que se refiere a los volúmenes de producción en comparación con las que se encuentran actual

mente en operación.

Si se toman en cuenta estas consideraciones y se da el caso de que la producción de nitrato de amonio se vaya a orientar a satisfacer la demanda interna del mismo como fertilizante y a vender el excedente de la producción al extranjero, se debe seleccionar un equipo de granulación que permita manejar grandes volúmenes de producción; si este es el caso, el equipo más adecuado sería la torre de perlado. Si no es este el caso, y las plantas deben satisfacer además de la producción del nitrato agrícola una cuota de producción de nitrato industrial, en la selección del equipo de granulación hay que tomar en cuenta la posibilidad de emplear el tambor giratorio como equipo de granulación. Un tercer caso podría ser que se destinara una planta para la producción exclusiva de nitrato de amonio industrial, de ser así, se deberá seleccionar como equipo de aglomeración el tambor giratorio y en el resto de las plantas deberán emplear una torre de perlado.

En opinión del personal que ha tenido oportunidad de laborar y conocer las dos plantas de nitrato de amonio, la planta más flexible es la de la licencia Saint Gobain, debido al hecho de que se pueden obtener los dos productos, situación que se debe a la presencia del tambor giratorio como equipo de granulación. Sin embargo, a pesar de que en el caso de las plantas instaladas, la planta de la licencia de la Canada Research Development Ltd. no fue flexible para la obtención de los dos productos, no hay que olvidar que se trata de plantas que tienen una antigüedad de más de 15 años, y que las innovaciones en los equipos en ese período han tenido grandes avances, por lo cual también se puede pensar en la posibilidad de emplear torres de perlado para la obtención de los dos productos comerciales; situación que puede presentarse en la nueva planta en proyecto de la unidad Las Truchas en el estado de Michoacán.

En la elaboración de los fertilizantes complejos, el equipo de aglomeración viene a ser un reflejo de la flexibilidad de operación de la planta en si; en este caso el equipo que sería más adecuado en nuestra opinión es el tambor giratorio, opinión que coincide con la del personal que ha laborado y conocido las dos plantas instaladas para la producción de fertilizantes complejos. Esta opinión está basada en la gran flexibilidad de una planta con respecto a la otra, las condiciones de operación de ambas, los respectivos volúmenes de producción, etc.

La empresa también tiene planeada la instalación de una nueva planta - productora de este tipo de fertilizantes en la unidad Las Truchas, el volumen de producción de esta nueva planta es superior al de las que actualmente están en operación en conjunto. Por el menor costo de instalación, flexibilidad de operación, y por las condiciones de operación más nobles en la totalidad de la planta, se puede esperar que la licencia de tecnología de esta nueva planta en proyecto emplee como equipo de granulación un tambor giratorio.

En la elaboración del fosfato di-amónico, el producto debido a sus propiedades físicas y químicas, puede ser granulado en diferentes equipos como son: el esferodizador, el amasador o el tambor giratorio; por las razones expuestas anteriormente, el equipo más adecuado viene a ser el tambor giratorio.

Para pensar en una posible homogeneización de los equipos de aglomeración dentro de esta industria, se deberán tomar en cuenta muchos factores: uno de ellos puede ser la eficiencia de las diferentes plantas con cada uno de los equipos, ya que habrá plantas que con un equipo tengan un óptimo, pero que con otros sufran una seria baja en la eficiencia; cuáles son los procesos en los que esta baja en la eficiencia puede ser compensada con otras

ventajas; y por último, cuál de los equipos es factible que después de este tipo de estudios pueda ser producido en forma local.

4.2 CRISTALIZACION.

4.2.1 Cristalizador para sulfato de amonio.

Los cristalizadores en donde se produce el sulfato de amonio se encuentran totalmente llenos hasta su nivel superior con una solución saturada y cargada de cristales, esta solución está circulando mediante las bombas de recirculación principal.

El ácido sulfúrico entra arriba de la línea de recirculación principal en forma perpendicular a la entrada de amoníaco, facilitándose en esta forma la mezcla del ácido con la solución, se tiene así mismo una violenta ebullición en este punto debido al calor de reacción, lo cual facilita la agitación. El aumento de la acidéz en ese punto baja la solubilidad del sulfato de amonio, formándose una solución sobresaturada que al estar en contacto directo con los cristales favorece su crecimiento.

El amoníaco entra al proceso por medio de un inyector colocado en el ducto de descarga de la bomba de recirculación principal, donde se mezcla con la solución que es extraída de la parte superior del cristalizador. El inyector está colocado lo suficientemente bajo para asegurar una presión -- tal que se impida la ebullición en ese punto, ya que la absorción del amoníaco es exotérmica.

La solubilidad del sulfato de amonio a la temperatura obtenida en el ducto donde se inyecta amoníaco (aproximadamente 100 °C) aumenta lo suficiente para contrarrestar el aumento en la concentración producido por la adición de éste, de modo que la solución en ese punto no está saturada. Para evitar la sobresaturación en ese lugar por pérdidas excesivas de calor,

se puede agregar vapor, agua del foso colector o del tanque de aguas madres, junto con el amoniaco en el mismo inyector.

El vapor y el agua son usados también para limpiar la línea de recirculación principal, así como para calentar la solución cuando se inicia la producción o cuando hay necesidad de meter agua limpia, ya sea por nivel bajo o por alto contenido de cristales en el magma.

La acidéz de la solución en el cristalizador se controla por la adición de amoniaco a través del control de la relación ácido-amoniaco.

Cada cristalizador está equipado con un control registrador de la relación ácido-amoniaco, el cual al mismo tiempo que registra la cantidad de ácido y amoniaco que entran, controla automáticamente la alimentación de amoniaco para que corresponda con la de ácido; el flujo de ácido será por lo tanto primario y el de amoniaco secundario. Se debe tener un control de acidéz muy exacto ya que por ningún motivo debe pasar del 3% para evitar el ataque al equipo, si por el contrario, se tiene una solución básica, hay pérdidas de amoniaco.

El líquido en la línea de recirculación principal es ligeramente más concentrado que el de la parte superior del cristalizador y entra en la parte cónica del mismo. La presión de la columna de líquido en ese punto es tal que la solución está muy cercana a su punto de ebullición, por lo que al ascender una distancia muy corta comienza a hervir formándose una solución sobresaturada.

Los cristales suspendidos por la corriente formada por la ebullición, por el aire y el vapor alimentados, crecen hasta que tienen un tamaño lo suficientemente grande para que se depositen en el fondo. Estos cristales grandes forman el magma que constituye la alimentación a las centrífugas. La selección de los cristales se efectúa por este flujo ascendente en el co

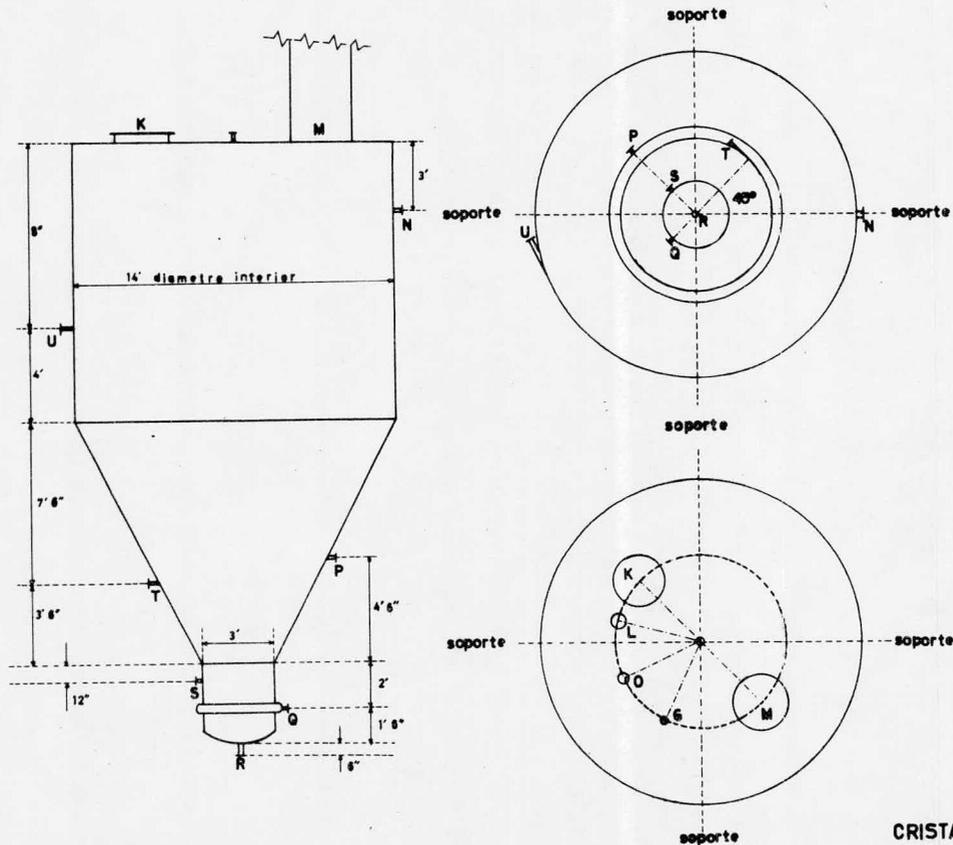
no. La velocidad máxima del líquido se obtiene en la entrada de la solución principal, ya que es el punto de sección más reducida; esta velocidad es su suficiente para mantener en suspensión todos los cristales que no tengan el tamaño adecuado.

La velocidad del líquido ascendente disminuye a medida que sube, llegando a ser muy baja en la sección cilíndrica del cristizador; esta disminución progresiva de la velocidad separa los cristales de diferente tamaño, existiendo zonas en las cuales el tamaño del cristal disminuye con la altura del líquido. Los cristales más pequeños están en la parte superior y al crecer descienden hasta alcanzar el tamaño debido que los precipita al fondo formando el magma. Sin embargo, esta clasificación de los cristales se altera por la ebullición de la solución.

Los cristales grandes que caen debajo de la zona del líquido en movimiento ascendente bajan al fondo formando un magma lo suficientemente rico en cristales (de 50 a 60% en volumen aproximadamente) para una buena operación de las centrífugas. Para impedir que los cristales se asienten y tapen la salida, se recircula el magma constantemente en una cantidad mucho mayor que la necesaria para alimentar a las centrífugas.

La alimentación de aire se efectúa con el objeto de obtener los siguientes resultados:

- a) asegurar un nivel de operación cercano al normal, al arrancar la planta, en caso de no meterse aire, el nivel subiría bruscamente al empezar la ebullición,
- b) para evitar la formación del efecto de geiser en la unidad, manteniendo la temperatura máxima posible en el punto de entrada de la recirculación principal, la cual está colocada algunos metros arriba del fondo; si no se usa aire pueden formarse zonas muy calientes



TEMPERATURA DE OPERACION 250°F
 GRAVEDAD ESPECIFICA 1.35
 PRESION ATMOSFERICA

BOQUILLAS (S. I.)

- T - β - 12°
- P - β - 3°
- L, Q, R, S - β - 6.5°
- U - β - 10°
- N - β - 6°
- O - β - 3°
- K - β - 28° 1/8
- M - β - 32°
- G - β - 5°

FIGURA 5.4
 CRISTALIZADOR DE LA PLANTA CHEMICO
 DE SULFATO DE AMONIO

- en el fondo, que producirán el efecto de geiser,
- c) para facilitar la formación de un producto exento de cristales finos arrastrándolos hacia arriba,
 - d) ayudar a regular la cantidad de cristales en el magma, y
 - e) facilitar la agitación de los cristales en el fondo, evitando la -- obstrucción de la salida.

4.2.2 Criterios de selección.

En la selección de un equipo de cristalización intervienen las siguientes consideraciones:

1. Las propiedades físicas y químicas de los reactivos, de la solución y del producto a obtener. Ya que dichas propiedades son determinantes de -- las condiciones de equilibrio y operación, materiales de construcción, configuración y, principio básico de operación del cristizador.

2. La capacidad de producción que se desea. Ya que ésta determinará -- cual será la mejor base de operación del equipo.

3. Método empleado para producir la sobresaturación de la solución. Es -- to nos indicará cual será la operación básica del equipo.

4. Costos de adquisición y mantenimiento del equipo.

5. Costos de adquisición y mantenimiento de los equipos auxiliares.

Las propiedades físicas y químicas de los reactivos, solución y produc -- to, son la base para la selección de un equipo de cristalización, ya que -- nos permiten conocer las condiciones de equilibrio del sistema, ya que este dato es de suma importancia para el diseño del equipo, también en base al -- equilibrio podemos plantear la solución de los puntos subsecuentes. Además, -- tiene una gran importancia que se refleja incluso en la selección del equi -- po de separación sólido-líquido.

TABLA 4.4 FACTORES PARA LA SELECCION DE CRISTALIZADORES.

1. Propiedades físicas y químicas de los reactivos y del producto.
2. Determinación de las condiciones de equilibrio:
 - a) curva de solubilidad,
 - b) curva de supersaturación, y
 - c) velocidad de cristalización.
3. Método de producción de la sobresaturación:
 - a) enfriamiento,
 - b) evaporación,
 - c) evaporación adiabática,
 - d) adición de un tercer componente, y
 - e) reacción química.
4. Base de operación:
 - a) continua (con o sin agitación), e
 - b) intermitente (con o sin agitación).
5. Configuración y principio básico de diseño del cristalizador, dados por las propiedades físicas y químicas del producto, y los requisitos del mismo.
6. Destrucción de finos.
7. Efecto de la distribución del tamaño de partícula.
8. Presión, temperatura y concentración de operación.
9. Datos de fragilidad del cristal a obtener.
10. Inversión y costos de mantenimiento del equipo.
11. Inversión y costos de mantenimiento de los servicios y equipos auxiliares.

La capacidad de producción nos permite conocer cual será la base de -- operación del equipo, intermitente o continuo; así como también, cual puede ser su costo aproximado. El diseño de un cristizador puede incluir o no - la presencia de equipos auxiliares, y en la selección también se tiene que tomar en cuenta la presencia de estos equipos.

4.2.3 Análisis de heterogeneidad tecnológica.

Esta operación unitaria sólo se emplea en la producción del sulfato de amonio, el cual como se mencionó anteriormente es el único fertilizante que se expende en forma de cristales en el mercado nacional.

Como se puede observar en la tabla 4.2, en lo que se refiere a las licencias de tecnología para la elaboración de este fertilizante hay una tendencia a la homogeneización -de las siete plantas instaladas, seis son de - la licencia Chemico Cons. Corp.-; situación que se vió reafirmada por el hecho de que en la nueva planta instalada en la unidad San Juan del Río, la - tecnología que se eligió fue de la Chemico Cons. Corp. No obstante, se pudo haber presentado la situación de que la tendencia de homogeneización no se manifestara en los equipos empleados en las diferentes plantas, es decir, - que se tuvieran en operación equipos heterogéneos, situación que no se presentó; lo único que se observó fueron diferencias en cuanto al tamaño de -- los equipos, los cuales están en función de la capacidad de producción de - las plantas.

La diferencia básica entre una y otra licencia es el tipo de cristalizadores que emplean, la licencia Chemico emplea un cristizador atmosférico, en tanto que la licencia Struther Wells emplea un cristizador a va---cío.

Debido al hecho de que el sulfato de amonio se elabora por la reacción

directa en solución de las materias primas, el cristal se produce por la so bresaturación de la misma. La sobresaturación se produce en este caso por - la evaporación del agua, por esto, una de las condiciones que deben cumplir los cristalizadores, es la de ser cristalizadores contínuos de evaporación; otras condiciones son: contar con un sistema de agitación, ser cristaliza-- dor de circulación forzada y de magma circulante.

Básicamente la diferencia entre uno y otro equipo estriba en la forma de producir la sobresaturación de la solución; en el cristalizador atmosférico se aprovecha el calor de la reacción para producir la evaporación, e - incluso en algunos casos se emplea vapor para ayudar a mantener la tempera- tura adecuada para la evaporación. En el caso del cristalizador a vacío se aprovecha el mismo principio, sólo que se ayuda a éste por medio de un eyec tor, el cual abate la temperatura de ebullición de la solución; este tipo - de operación se conoce como evaporación adiabática.

En las plantas en donde se han hecho ampliaciones o reposiciones de -- los equipos de cristalización, como es el caso de las unidades Cuautitlán y Coatzacoalcos, los cristalizadores que han añadido o empleado en la substi- tución, son todos una copia de los originales, por esto se tiene que si la relación de plantas es:

Licencia Chemico ----- 6 plantas.

Licencia Struther Wells ----- 1 planta.

La relación de equipos es aún mayor:

Cristalizador atmosférico ----- 11 equipos.

Cristalizador a vacío ----- 1 equipo.

Como se puede apreciar en el análisis realizado, entre los equipos de cristalización realmente no existe una heterogeneidad palpable, ya que sólo existe un equipo heterogéneo entre los doce en funcionamiento.

4.3 DESINTEGRACION MECANICA DE SOLIDOS.

4.3.1 Molinos de tazas.

En el molino de tazas Raymond los soportes que llevan los rodillos de molienda son estacionarios mientras que el anillo de molienda gira. La presión de molienda es producida por medio de resortes que pueden ser ajustados para dar la presión requerida, y la distancia entre los rodillos y el anillo puede ser ajustada para obtener un claro determinado.

Los rodillos no tocan el anillo, por lo que no hay contacto metal-metal entre las superficies de molienda. La materia prima cae del alimentador a la taza, donde por la acción de la fuerza centrífuga es empujada hacia la periferia -entre el anillo y los rodillos- donde es pulverizada.

La acción de los extremos cónicos de los rodillos, en ángulo igual al del anillo, causan que el material pulverizado suba y salga de la cámara de molienda.

El aire con el material pasa hacia arriba y entra a un clasificador de doble cono a vacío donde el producto fino es removido y los gruesos vuelven a caer a la taza, mezclándose con la nueva alimentación. Los materiales duros introducidos a la taza de molienda con la alimentación son arrojados -- fuera a través de un conducto.

Este molino fue desarrollado para pulverizar carbón que se quema directamente en hornos.

4.3.2 Molino de anillo-rodillo con clasificación de aire.

El molino Raymond de anillo-rodillo es del tipo con clasificación interna de aire. La base del molino lleva encima el anillo o redondel de molienda, el cual está sujeto firmemente a la base y descansando en el plano horizontal. Debajo del anillo de molienda están los orificios del aire si--

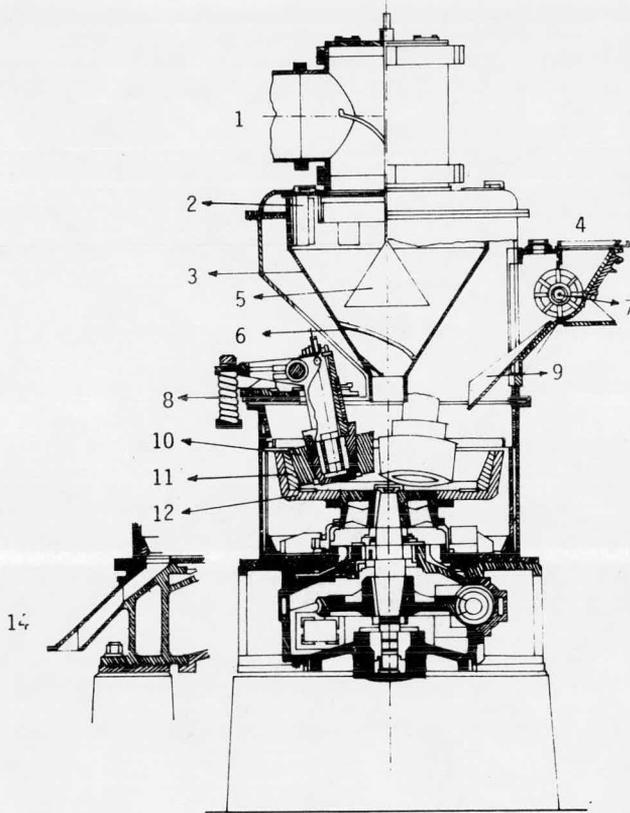


FIGURA 4.5A MOLINO DE TAZAS. 1. SALIDA DE PRODUCTO; 2. DEFLECTOR AJUSTABLE
 3. CONO INTERIOR; 4. ENTRADA DE ALIMENTACION; 5. CONO AJUSTABLE;
 6. ESPIRAL DE DESCARGA; 7. ALIMENTADOR; 8. RESORTE DE PRESION; 9. CONDUITO DE ALIMENTACION; 10. RODILLO; 11. REDONDEL; 12. TAZON GIRATORIO.

tuados en forma tangencial, a través de los cuales entra el aire a la cámara de molienda. Una flecha motriz que sale de abajo del anillo lleva los soportes de los rodillos, los cuales tienen la forma de una araña flotante, - lo que permite a los rodillos ejercer una fuerza centrífuga total contra el material en la superficie interior del redondel. Los rodillos en su parte inferior giran en sus propios cojinetes -sellados especialmente- mientras - viajan alrededor del redondel.

La roca entra al molino por medio de una válvula giratoria o un alimentador de tornillo o neumático, y es distribuída uniformemente a los rodillos por un juego de desviadores para ser triturada entre el redondel y los rodillos ; el redondel tiene además un arado el cual mueve la alimentación gruesa a la zona de compresión.

El aire que penetra a través de las aberturas abajo del redondel levanta el material pulverizado y lo saca de la cámara de molienda, llevando los finos hacia arriba de ésta, proporcionando una clasificación en este punto; los finos son recuperados subsecuentemente en un ciclón colector montado sobre un depósito para su almacenamiento.

El método de clasificación empleado por los molinos Raymond depende -- del grado de finura deseado y del volumen de molienda. Si se requiere un -- producto de finura media -arriba de 85 a 90% del producto pasando a través de un tamiz del número 100- se usa un clasificador de aire de un solo cono, este clasificador consiste en una caja alrededor de los elementos de molienda con una salida en la parte superior a través de la cual el producto es - descargado. Para un producto más fino y cuando se requieren cambios frecuentes en la finura del producto, se usa la clasificación a vacío o de tipo -- centrífuga. Cuando se requiere una finura del 65% bajo un tamiz del número 200, se utilizan frecuentemente molinos de tamaño grande y es conveniente -

instalar un separador de tipo whizzer en el molino situado encima de los ro dillos, tal máquina es conocida como el molino lateral alto, mientras que - una unidad que no tenga separador interno es llamada molino lateral bajo.

El separador es esencialmente una rueda con hojas en radio que gira en un plano horizontal, imparte una fuerza centrífuga a las partículas en rela ción a su tamaño; esta flexibilidad permite cambiar la finura del pulveriza do con facilidad, proporcionando al separador un movimiento de velocidad va riable. El material de mayor tamaño se encuentra a los lados del molino y - regresa a los rodillos para una mayor pulverización, mientras que el mate-- rial con la finura especificada pasa del molino al ciclón colector. El aire es purificado en unos sistemas por medio de un ciclón colector, de donde es enviado por medio de un ventilador al compartimiento de aire que rodea a la base del molino. En sistemas grandes, el aire excedente que puede ser un 8% del total al operar con roca fosfórica secada previamente, casi siempre es eliminado del circuito mediante un ventilador y un ciclón colector peque--- ños, siendo devuelto el polvo colectado en este ciclón al molino; este méto do es usado cuando se utiliza en el molino aire caliente con propósitos de secado.

El sistema de aire es una instalación muy importante en un molino de - rodillos, ya que los últimos adelantos técnicos hacen que los molinos y se- paradores trabajen a velocidades mayores, con un aumento en su capacidad y sin un mayor consumo extra de corriente eléctrica. Dado que el molino de ro dillos es una unidad de corto tiempo de retención y a que la mayoría del ma terial es manejado por aire, se ve que cualquier pequeño cambio en el grado de alimentación afecta la diferencia de presión en el mismo.

El molino de anillo-rodillo con clasificación interna es usado para -- grandes capacidades de molienda en la mayoría de los minerales no-metálicos

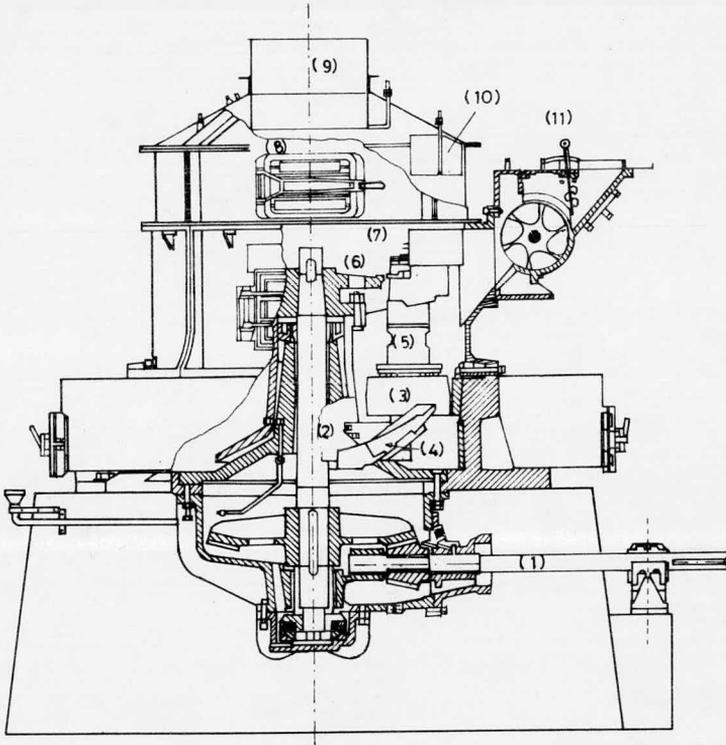


FIGURA 4.5B MOLINO LATERAL BAJO

1. FLECHA HORIZONTAL DE TRANSMISION;
2. FLECHA VERTICAL;
3. RODILLO;
4. ARADO;
5. COJINETE;
6. ARAÑA;
7. DEFLECTORES DE LA ARAÑA;
8. CAMARA DE SEPARACION;
9. SALIDA DE PRODUCTO;
10. DEFLECTORES DE ESQUINA;
11. ALIMENTADOR AUTOMATICO.

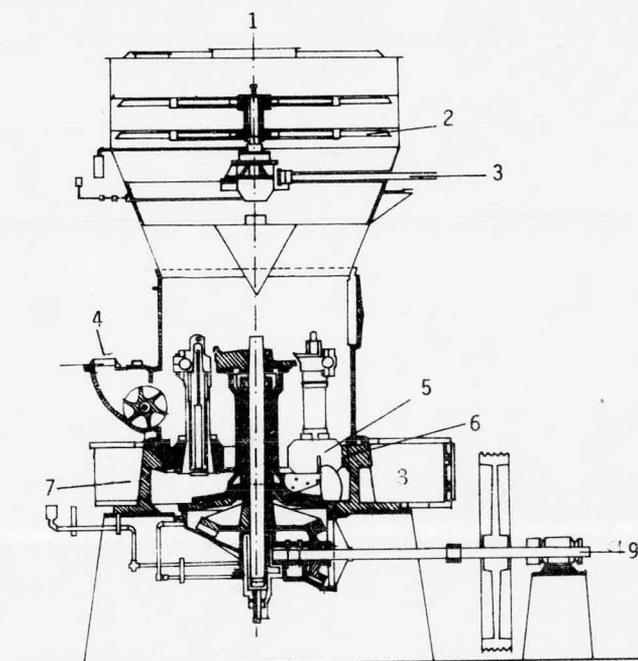


FIGURA 4.5c MOLINO LATERAL ALTO.
 1. SALIDA DE PRODUCTO; 2. CLASIFICADO TIPO
 "WHIZZER"; 3. FLECHA DE TRANSMISION DEL --
 CLASIFICADOR; 4. ALIMENTACION; 5. REDONDEL
 DE MOLIENDA; 6. RODILLO DE MOLIENDA; 7. --
 ENTRADA DE AIRE; 8. ARADO; 9. FLECHA DE --
 TRANSMISION.

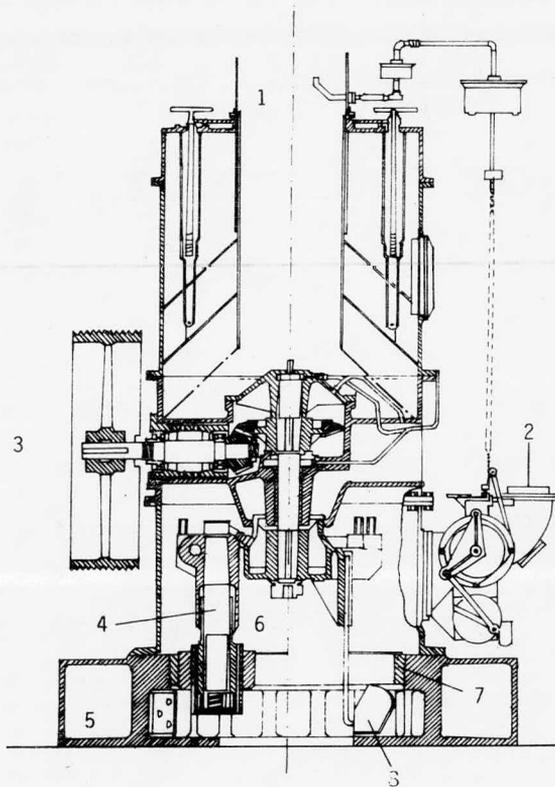


FIGURA 4.5D MOLINO DE PENDULO.

- 1. SALIDA DE PRODUCTO; 2. ALIMENTACION; 3. TRANSMISION;
- 4. PENDULO; 5. ENTRADA DE AIRE; 6. RODILLO DE MOLIENDA;
- 7. REDONDEL DE MOLIENDA; 8. ARADO.

los cuales se manejan económicamente en estas unidades. Materiales con dureza en la escala Moh equal o superior a 5 son manejados por estas unidades.

4.3.3 Molinos giratorios.

Son conocidos también como molinos de tumbos; dentro de la clasificación de los molinos giratorios se encuentran los siguientes tipos:

- a) molinos tubulares,
- b) molinos de bolas,
- c) molinos de barras, y
- d) molinos de guijarros.

Estos molinos consisten en una carcaza cilíndrica, más o menos larga, dispuesta horizontalmente, a la cual se hace girar lentamente alrededor de su eje y en cuyo interior se ha depositado previamente una carga de elementos sólidos de molienda; la carcaza es generalmente de acero con alto contenido de carbono.

La rotación de la carcaza cilíndrica tiende a elevar la carga hasta cierta altura, desde la cual los cuerpos de molienda caen en cascada, percutiendo sobre la porción de la carga que queda en la parte inferior del cilindro. Como al mismo tiempo los cuerpos tienden a resbalar unos sobre otros por la intensa agitación a la que están sometidos, a la acción desintegradora de percusión se unen las acciones de rozamiento y rodadura. La acción de percusión dependerá del peso de los cuerpos de molienda y las acciones de rozamiento y rodadura dependen de la superficie de los cuerpos de molienda. Es decir, presentan condiciones contrapuestas, pues el peso de los cuerpos de molienda aumenta con el tamaño, mientras la superficie por unidad de peso disminuye.

Los molinos giratorios pueden ser adaptados para una amplia variedad -

de usos debido al gran número de variables independientes que determinan -- las condiciones de molienda; dentro de estas variables se pueden mencionar:

- i) velocidad del molino,
- ii) clase, tamaño y densidad del medio de molienda,
- iii) cantidad y composición de la alimentación, y
- iv) forma del molino.

Consecuentemente, los molinos giratorios de tumbos pueden ser usados - para la reducción de tamaño de casi cualquier sólido quebradizo. No son adecuados para la desintegración de materiales plásticos y fibrosos.

Muchos tipos de molinos se encuentran disponibles como resultado de la variedad de objetivos deseados: producción de una cierta cantidad de super-ficie por unidad de producto, una distribución determinada del tamaño de -- las partículas, obtención de partículas por debajo de un tamaño dado, obtención de partículas de tamaño y forma uniforme, producción de soluciones semicoloidales bien mezcladas, o bien destruir aglomerados de partículas. Las variables mencionadas anteriormente son conjuntadas en muchas y diferentes maneras. En todos los casos, sin embargo, el espectro del tamaño del producto está involucrado.

Los modelos pequeños de laboratorio son discontinuos, en ellos se cargan conjuntamente los cuerpos de molienda y la materia prima a moler por -- una boca situada en la pared del cilindro y, terminada la operación, se descargan los cuerpos de molienda y el producto molido para su separación por medio de un tamiz.

El producto de los molinos por cargas usualmente no está sujeto a una selección de partícula después de la molienda. El tiempo de molienda está - determinado entonces por el tiempo requerido para desintegrar la última partícula abajo del tamaño deseado. Esto es porque el espectro del tamaño de -

partícula deseado está definido como un cierto porcentaje del producto pasando a través de una malla dada.

En los modelos industriales de gran tamaño de producción, la entrada de la materia prima a moler y la salida de la materia ya molida son continuas. Por un extremo de la carcaza cilíndrica se efectúa la alimentación de la materia prima, y la descarga de los productos se suele efectuar por el extremo opuesto al de carga; en algunos modelos, los polvos atraviesan una placa perforada final, y ahí una parte cae para ser transportada por un sin fin y la otra parte es arrastrada por la corriente de aire aspirada a través de la caja colectora y que recorre el molino. Esta corriente de aire, que suele utilizarse en general en todos los molinos de finos, tiene dos finalidades, pues al mismo tiempo que mejora el rendimiento también refrigera al molino. Otras veces la descarga de los polvos es efectuada a través de las paredes cilíndricas que están provistas entonces de tamices protegidos por placas solapadas.

El recubrimiento del molino está sujeto a un desgaste excesivo cuando los cuerpos en cascada golpean directamente sobre él. En consecuencia, no son usadas velocidades más altas del 80% de la velocidad crítica. La construcción del recubrimiento deberá sin embargo ser tal, que el deterioro sea evitado tanto como sea posible. La selección de los materiales es importante, pero también lo es la forma del recubrimiento; es necesario en muchos casos usar un recubrimiento equipado con elevadores, tal que las bolas no puedan deslizarse durante el movimiento hacia arriba.

La multitud de usos del molino de tumbos ha dado como resultado la construcción de muchos tipos de recubrimientos, desde enladrillados lisos de cerámica y placas de resistencia al uso, hasta recubrimientos de cerámica con barras elevadoras y placas de acero con muchas formas diferentes.

La forma de la barra elevadora deberá proporcionar una acción propia - de enlace durante el movimiento ascendente de la carga y no ser un obstáculo más amplio al movimiento de las bolas. Ambas condiciones deberán satisfacerse, no únicamente cuando el recubrimiento es nuevo, sino también cuando el uso ha cambiado esta superficie. En la literatura no se menciona que la forma del recubrimiento tenga efecto en la acción de molienda, aunque algún efecto podría estar presente con ciertos tipos de recubrimiento.

La selección de los recubrimientos debe hacerse junto con la selección de las bolas; de cualquier modo las bolas deben entrelazarse con las placas de recubrimientos -liners-, en tal forma que proporcionen un entrecruzamiento de la capa exterior y el resto de la carga, dando como resultado que el uso de las bolas y el consumo de energía se incremente.

Los diferentes tipos de molinos son nombrados de acuerdo al medio de molienda empleado en cada uno de ellos. En los molinos de barras, se usan - barras entre 1 1/2 y 4 pulgadas de diámetro y sólo ligeramente más cortas - que la longitud del molino. Como las barras gastadas bajan el volumen total de las barras presentes, este volumen se mantiene constante mediante la adición de nuevas barras. Las barras más delgadas tienen una superficie más -- grande expuesta al uso por unidad de volumen.

La selección del acero de las barras no está gobernada por las características de uso, ya que algunas veces se prefiere que las barras se rompan bastante, lo que da lugar a un alto contenido de hierro en el producto. En un caso como el enunciado anteriormente, el molino estará provisto con espacios cerca de los extremos para la acumulación de las barras rotas y para - que no haya disturbios en la acción de molienda.

Los molinos tubulares tienen una relación de longitud-diámetro más --- grande que los molinos de bolas; ambos pueden ser equipados con bolas de --

acero o de cerámica. El uso causa la presencia de pequeñas bolas en el molino y algunas veces se necesita parar para removerlas. Como el tamaño de las bolas cambia con el tiempo, frecuentemente es aconsejable recargar el molino con bolas de diferentes tamaños, tal que el cambio en la distribución -- del tamaño de las bolas con el tiempo, tenga una ligera influencia sobre la composición del producto.

Las bolas gastadas no son esféricas siempre; en condiciones excepcionales han sido encontradas formas cúbicas debido a condiciones desfavorables de molienda. Como esta forma es principalmente encontrada en molinos con -- fuerzas de fricción bajas - molienda húmeda, molienda de carbón mineral, -- etc.-, la literatura menciona que las formas cúbicas son formadas por un -- error en la carga de las bolas.

Algunas veces se ha mencionado que las formas no esféricas tienen una superficie más grande que las formas esféricas, y consecuentemente un gran número de diferentes formas han sido propuestas para el medio de molienda, - aunque su uso ha probado ser antieconómico en la mayoría de los casos.

La selección del tamaño de bola está gobernada por la posibilidad de - rompimiento de las partículas más grandes de la alimentación, sin embargo, - es conocido que las bolas más pequeñas muelen más rápido que las bolas grandes, estipulando que muelan de todo; las bolas deberán ser tan pequeñas como sea posible. Sin embargo, el espectro del tamaño de bola deberá ser escogido con cuidado, porque puede surgir la situación en la cual las bolas pequeñas no presenten molido de las partículas más grandes, aunque todavía -- pueden producir finos. Esto significa que la distribución del tamaño del -- producto es fuertemente afectada por la selección del espectro del tamaño - de bola. Pueden surgir obstrucciones por una equivocada selección del espectro de las bolas y las únicas guías en este aspecto son reglas empíricas.

En los molinos de guijarros, los guijarros que se usan son de forma ligeramente irregular, la densidad de éstos es más baja que la de las bolas de cerámica y la velocidad de desgaste es más rápida, por lo tanto, la ventaja de la forma irregular no es siempre una economía. También se usan como medio de molienda cilindros o cylpebs -cuerpos moledores de forma cilíndrica de longitud igual al diámetro, su superficie es mayor que la de una bola de igual peso y son más adecuados para extender la finura del producto; los cylpebs no ascienden y caen en cascada como las bolas-, que se pueden obtener en los mismos materiales que en los cuerpos esféricos.

La selección entre el acero y los diferentes materiales cerámicos es principalmente una selección de densidad, ya que la velocidad de molienda es casi proporcional a la densidad. El desgaste depende de la dureza de la superficie de molienda; por esta razón, bolas incrustadas de óxido de aluminio reemplazan algunas veces a las bolas convencionales de cerámica, especialmente en los tamaños pequeños. Las bolas de acero están frecuentemente templadas en los tamaños grandes principalmente, debido a esto, el desgaste se incrementa cuando la coraza dura está gastada.

En el caso de la molienda autógena, partículas grandes en la alimentación reemplazan al medio convencional de molienda, la principal desventaja es que la densidad de las partículas de roca es baja en comparación con el acer, dando lugar a tiempos de molienda más grandes. Debe tenerse cuidado de ver que la suficiente cantidad de medio de molienda del tamaño apropiado esté presente todo el tiempo; así pues, la alimentación del molino debe ser preparada con mucho cuidado. Esto parece suprimir muchas de las ventajas -- iniciales, de cualquier modo su uso es limitado.

El modelo más sencillo de este tipo de molinos -tubular, de barras, -- etc.-, es un cilindro sin complicaciones en su interior; sin embargo, estos

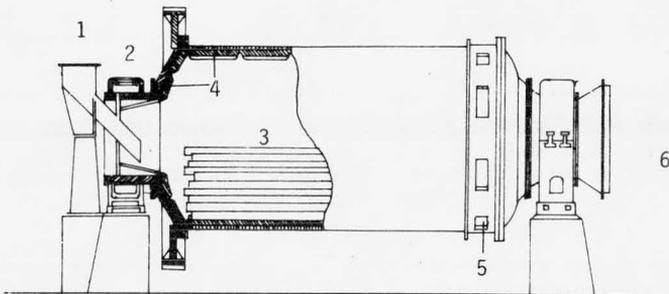


FIGURA 4.6A MOLINO DE BARRAS.

1. ALIMENTACION; 2. TRANSMISION; 3. BARRAS; 4. RECUBRIMIENTO;
5. DESCARGA LATERAL (CUANDO SE REQUIERE); 6. SALIDA DE PRODUCTO.

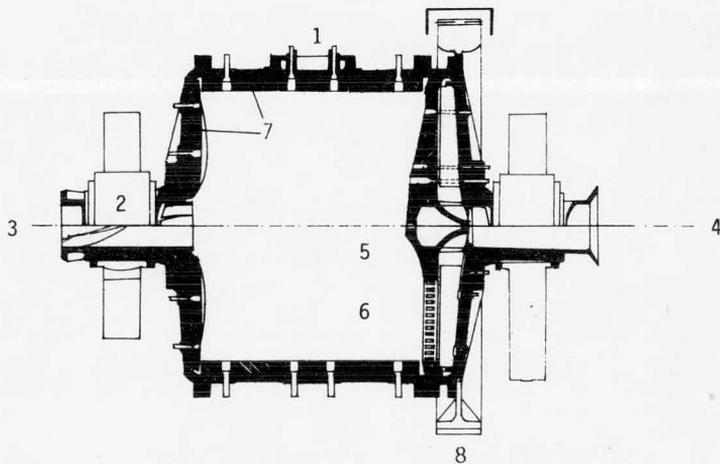


FIGURA 4.6B MOLINO DE BOLAS.

1. ENTRADA DE HOMBRE; 2. MUÑON; 3. ALIMENTACION; 4. SALIDA DE PRODUCTO;
5. CONO DE DESCARGA; 6. REJILLA; 7. RECUBRIMIENTO; 8. ENGRANE MOTRIZ.

modelos son poco eficaces cuando se pretende pulverizar a un grado muy fino, por lo que han sido ideados dispositivos que mejoraron su rendimiento.

Uno de estos dispositivos ya clásicos, es el modelo de Hardinge de bolas, cuya carcaza no es cilíndrica más que en la parte inmediata a la alimentación, y unida a ésta va un tronco de cono con la base menor hacia la salida; esto permite una separación de las materias primas y de los cuerpos de molienda dentro del molino, pues las más gruesas y por tanto de mayor masa y mayor inercia, se reúnen en la parte cilíndrica donde el radio de rotación es mayor, mientras las más finas se sitúan en la parte cónica más estrecha y más próxima a la descarga.

La anterior es la ordenación ideal de un molino por las razones siguientes:

- i) por que el trabajo necesario es tanto mayor cuanto más fino va siendo el producto y, por tanto, mayor debe ser la superficie específica de los cuerpos de molienda cuanto más cerca estén del extremo de descarga, lo que coincide con que las bolas pequeñas presentan mayor superficie por unidad de volumen, cuanto más pequeñas son, y
- ii) porque las bolas gruesas, de gran peso y poca superficie específica, actúan principalmente por percusión, lo cual interesa especialmente al principio del molino, que es donde los tamaños del producto son mayores.

Otra forma de conseguir la clasificación de la carga, pero manteniendo la forma cilíndrica en toda la carcaza, consiste en dividir ésta en compartimientos mediante tabiques verticales; estos tabiques están ranurados a fin de permitir el paso de las materias más o menos desintegradas e impedir el paso de los cuerpos de molienda. En cada cámara o compartimiento se sitúan las cargas de las bolas o cuerpos de molienda de un determinado tama-

no, los cuerpos más grandes en la cámara que recibe la alimentación; las -- cargas de cada cámara son distintas, según el trabajo impuesto a cada una. -- Las razones de esta distribución de cantidades y tamaños se ha expuesto ya.

La carga de los cuerpos de molienda y su distribución tienen importancia en el consumo de energía y también, en la relación con el peso de la -- carga, en el tamaño de la cámara y en la velocidad de rotación del molino.

4.3.4 Criterios de selección.

En la selección de un desintegrador intervienen principalmente las siguientes consideraciones:

1. Que sea capaz de cumplir las condiciones granulométricas previstas para el producto. Hay veces que interesa un tamaño inferior a un tamaño dado, sin más, como ocurre en la flotación de minerales. A veces lo que importa es cierto espectro de tamaño y que se produzcan los menos finos posibles, como es el caso de fluidización, donde los muy finos serían arrastrados y los muy gruesos no fluidizarían.

2. Que sea mínima el consumo de energía por unidad de cantidad de producto.

3. Que pueda trabajar con la máxima relación de desintegración, especialmente si el aparato no es el único y forma parte de una serie, pues así se disminuye el número de equipos en el ordenamiento en serie.

4. Que sus costos de adquisición y mantenimiento (mano de obra, desgaste, reposiciones, etc.) sean mínimos.

5. Que necesite la mínima obra auxiliar de cimentación, anclaje, etc.

En toda máquina desintegradora se hallarán tres funciones esenciales, -- que corresponden con sendas partes, o elementos fundamentales de la misma:

1. La forma de efectuar la alimentación, para la que debe preverse:

- a) que sea regulable, para que pueda adaptarse a diferentes necesidades, y
- b) que sea selectiva, para impedir la entrada de tamaños perjudiciales o en exceso.

2. La acción de desintegración propiamente dicha, implica dos clases de elementos:

- a) móviles o activos, y
- b) anclados o fijos.

3. La forma de retirar o dar salida al producto, una vez que su tamaño es el debido.

Se puede apreciar que el punto (1) está estrechamente ligado al punto (2) y que el punto (3) tiene importancia para evitar la sobremolienda -por el consumo de energía-. Por esto es muy frecuente despolvar los molinos con una corriente de aire que arrastre los finos a medida que se van produciendo. Hay sistemas que utilizando este principio, retiran así el producto del molino, lo cual obliga a una separación posterior de las fracciones más gruesas arrastradas, que se hacen volver a la máquina; este tipo de operación se llama operación en circuito cerrado.

Cuando las sustancias son inflamables en el estado de fina subdivisión, lo cual ocurre con la mayoría de los productos orgánicos y con el azufre, el arrastre de los finos se efectúa con gases no oxidantes (H_2 , CO_2 , etc.), que naturalmente vuelven al molino después de depositar su carga de sólidos fríos; no es necesario emplear gases inertes puros, sino mezclados con aire en proporción suficiente para que no se alcance el límite de inflamación.

La humedad de la materia prima es un dato más a considerar antes de decidir el sistema operatorio, especialmente en la molturación, donde la mate

TABLA 4.5 FACTORES PARA LA SELECCION DE EQUIPOS DE DESINTEGRACION MECANICA DE SOLIDOS.

1. Materia prima alimentada:
 - a) masa máxima o tamaño de partícula,
 - b) distribución del tamaño de partícula, y
 - c) densidad de masa.
2. Características físicas y químicas:
 - a) dureza, si es posible en la escala moh,
 - b) contenido de humedad o líquidos presentes,
 - c) sensibilidad a la temperatura,
 - d) corrosividad y abrasividad, y
 - e) toxicidad del producto.
3. Requerimientos del producto:
 - a) rango y porcentajes del tamaño deseado,
 - b) porcentaje de finos tolerados, y
 - c) consideraciones especiales de forma.
4. Consideraciones de producción:
 - a) velocidad de producción,
 - b) temperatura de entrada de la materia prima,
 - c) prenutrición permitida, y
 - d) cribado y recirculación permitidas.
5. Consideraciones especiales:
 - a) materiales de construcción,
 - b) características explosivas,
 - c) requerimientos sanitarios,
 - d) cambios de características con la temperatura, y
 - e) limitación a las impurezas metálicas.

ria tiende a aglomerarse cuando su humedad supera cierto valor, que generalmente es muy pequeño. En estos casos cabe la previa desecación, pero puede interesar lo contrario; o sea la molienda por vía húmeda, haciendo entrar al molino cantidades suficientes de agua para que el producto final sea una dispersión o papilla (pastas de la industria cementera, pulpas de flotación etc.). La ventaja de esta práctica está en la facilidad de transporte del producto con bombas, pérdidas nulas de materia como polvo impalpable, menores consumos de energía y una mejor mezcla de las diversas especies que pueden componer la dispersión. La contrapartida del molido por vía húmeda es que el desgaste de los elementos de molienda es mayor, hasta cinco veces superior que en la molienda en seco; el desgaste se evalúa en kilogramos de metal perdido por tonelada de producto obtenido.

4.3.5 Análisis de heterogeneidad tecnológica.

Dentro de esta operación unitaria se presentaron dos tipos de molinos: los molinos de molienda fina y los molinos empleados para reducir de tamaño los gránulos grandes de los diferentes fertilizantes granulados, siendo estos últimos en su mayoría molinos de martillos.

Los molinos de molienda fina se emplean para la desintegración de la roca fosfórica y caen dentro de dos clasificaciones: molinos giratorios y molinos de anillo-rodillo, y ambos tienen un sistema de clasificación por aire; de los primeros, el único que se emplea es el molino de bolas y de los segundos se utilizan los conocidos como molinos de péndulo, de rodillos y de tazas.

Debido a que los molinos de anillo-rodillo se basan en el mismo principio, las diferencias entre ellos estriban en cuáles son las partes móviles y en el sistema de transmisión de potencia, además, se tienen diferencias -

en los sistemas de clasificación del producto de acuerdo al tamaño del molino y a los requisitos que debe cumplir el producto.

No obstante que ambos tipos de molinos dan un producto que cumple con los requisitos exigidos en los diferentes procesos, la selección de uno u otro equipo estuvo influenciada por los siguientes factores; volúmenes de producción instalados de las plantas, requerimientos de potencia de uno u otro equipo, así como por las propiedades físicas y químicas de la roca fosfórica. El factor de mayor influencia en este caso es la materia prima, debido al hecho de que la industria de fertilizantes importa la roca fosfórica que se emplea en los procesos de elaboración de fertilizantes fosfatados y ácido fosfórico, lo cual afecta en forma directa el volumen de producción de las diferentes plantas, siendo éstas en su mayoría pequeñas. Otro factor que puede tener importancia, es el relativo al hecho de que los fabricantes de estos equipos los garantizan para un buen funcionamiento con los diferentes tipos de roca conocidos a nivel mundial -previamente tratadas y beneficiadas-, sin embargo, en el segundo semestre de 1977 se anunció que se dejaría de importar esta materia prima, ya que se explotarán los yacimientos de roca fosfórica existentes en Baja California.

Debido a lo antes mencionado y a que los consumos de energía son menores, la mayoría de los molinos en operación actualmente en esta industria son molinos del tipo anillo-rodillo, lo cual se puede apreciar en las tablas 4.6 y 4.7. En dichas tablas se puede ver que sólo dos unidades de esta industria tienen instalados molinos de bolas, las cuales son: la unidad Coatzacoalcos y la unidad Pajaritos -F. F. de M.-.

En el caso de la unidad Coatzacoalcos, la situación se debe a que originalmente el molino debía moler roca para dos plantas, la de superfosfato triple y la de ácido fosfórico; la situación de la unidad Pajaritos se debe

TABLA 4.6 EQUIPOS DE MOLIENDA UTILIZADOS POR GUANOS Y FERTILIZANTES DE MEXICO S.A.

Unidad \ Producto	Superfosfato simple	Acido fosfórico
Cuautitlán	Molino de rodillos	
Coatzacoalcos		Molino de bolas
Guadalajara	Molino de rodillos	
Minatitlán		Molino de rodillos
Monclova		Molino de péndulo
Pajaritos	Molino de bolas*	Molino de bolas
San Luis Potosí	Molino de tazas	
San Juan del Río	Molino de rodillos	

* Este equipo se utiliza en la producción de superfosfato triple.

TABLA 4.7 CAPACIDADES DE LAS PLANTAS QUE INVOLUCRAN OPERACIONES DE MOLIENDA.

Producto Unidad	Superfosfato simple	Acido fosfórico
Cuautitlán	120 000 ton/año	
Coatzacoalcos		17 000 ton/año
Guadalajara	120 000 ton/año	
Minatitlán		41 000 ton/año
Monclova		18 000 ton/año
Pajaritos		284 000 <u>ton</u> al 100% año
San Luis Potosí	55 000 ton/año	
San Juan del Río	120 000 ton/año	

Unidad Pajaritos 270 000 ton/año de superfosfato triple; en la Unidad Coatzacoalcos este producto fué descontinuado en el año de 1970.

a que hasta el año de 1976 era una empresa privada, la cual fue la última - de las empresas privadas en integrarse a la empresa estatal, y como se aprecia en las tablas, los volúmenes de producción de las plantas son bastante grandes en comparación de las otras; el ejemplo de esta situación se ve en la nueva planta de superfosfato simple de la unidad San Juan del Río, en -- donde se instaló un molino del tipo anillo-rodillo, situación que no se es- pera en las nuevas plantas en proyecto en la unidad Las Truchas debido al - tamaño de éstas.

En la literatura se encuentra la siguiente referencia al tamaño y ti- pos de molinos:

Molino de anillo-rodillo --- ideal de 30 a 50 ton/hr.

Molino de bolas ----- capacidad superior a las 100 ton/hr.

Como se puede ver, la selección de equipos de desintegración mecánica en el rango de molienda fina está determinada por el tamaño de las instala- ciones, que a su vez son dependientes en lo que respecta a las importacio-- nes de roca fosfórica.

4.4 SECADO.

4.4.1 Secadores rotatorios de flujo en paralelo y a contracorriente.

Estos secadores consisten en un cilindro horizontal a través del cual fluyen gases calientes ya sea en paralelo o a contracorriente, el cilindro gira y está inclinado en tal forma que los sólidos se desplazan gradualmen- te desde el punto de carga o alimentación hasta el punto de descarga.

En los secadores de flujo concurrente, el material pasa a través de la concha del secador en forma paralela al aire caliente que lo seca, provocan- do una elevación en la temperatura del material desde el extremo de entrada hacia el extremo de expulsión de la unidad. Una de las ventajas de este ti-

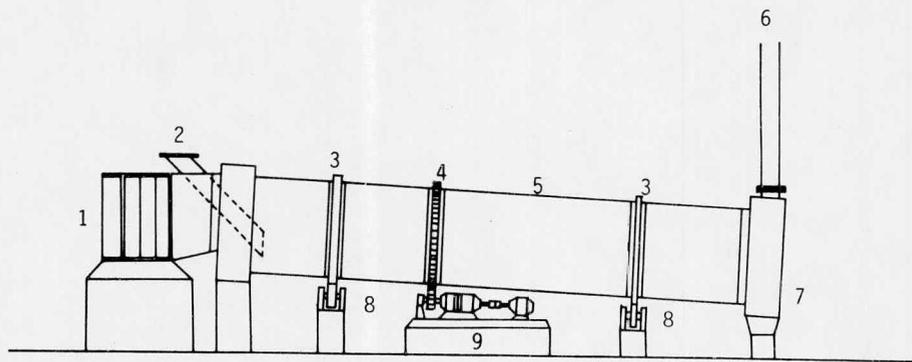


FIGURA 4.7 SECADOR ROTATORIO DE FLUJO EN PARALELO. 1. HORNO; 2. TOLVA DE ALIMENTACION; 3. ANILLOS DE RODACION; 4. ENGRANE DE MOVIMIENTO; 5. CILINDRO DEL SECADOR; 6. SALIDA DE LOS GASES AL CICLON; 7. DESCARGA; 8.- RODILLOS DE SOPORTE; 9. MOTOR Y REDUCTOR DE VELOCIDAD.

po secador es que se puede utilizar una mayor temperatura de entrada, desarrollando en esta forma un mayor valor de la diferencial de temperatura que se traduce en un control más positivo del proceso de secado, cosa que no es posible en los secadores a contracorriente.

Cuando el material se pasa a través de un secador a contracorriente, - éste se introduce a la unidad en el extremo más frío, que es el extremo o-- puesto al horno; consecuentemente, la temperatura más elevada del material tiene lugar en el extremo de descarga en tanto que la condición de la humedad relativa más alta está en el extremo de alimentación, en el punto en -- el gas o el aire saturados salen del cilindro. La objeción real que se hace al secador a contracorriente, así como la razón para su uso restringido, re side en el peligro que existe de sobrecalentar los gránulos; esto resulta - obvio cuando se considera que la exposición momentánea de los materiales hú medos o saturados a los gases calientes no los perjudica, mientras que la - exposición de las superficies secas al mismo calor puede provocar el endure cimiento y la generación de gases contaminantes -sta última condición obje- table cuando menos desde un punto de vista de la polución ambiente-.

De la apreciación anterior se puede ver de inmediato que los gases de flujo en paralelo en los secadores concurrentes se adaptan en mejor forma al secado de los materiales sensibles al calor, ya que la alta velocidad de evaporación mantiene la temperatura de los sólidos abajo de la del punto de ebullición del agua y enfría instantáneamente los gases circundantes, la al ta temperatura de entrada del aire que se permite así como la baja tempera- tura de expulsión del producto, permiten se obtenga con relativa facilidad una alta eficiencia térmica. Por otra parte, contenidos de humedad extrema- damente bajos no se pueden obtener en los secadores a contracorriente ni en el caso de las unidades concurrentes, en los cuales el producto deja la con

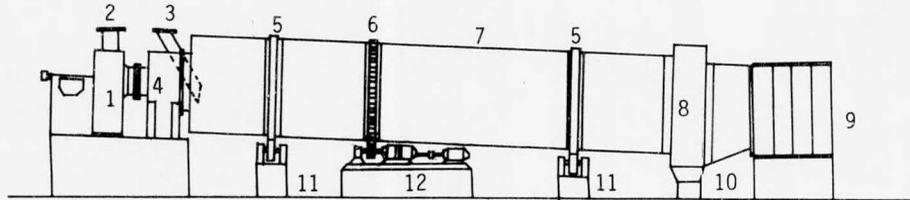


FIGURA 4.8 SECADOR ROTATORIO DE FLUJO EN CONTRACORRIENTE. 1. VENTILADOR; 2. SALIDA DE AIRE; 3. TOLVA DE ALIMENTACION; 4. CAMARA DE DESCARGA DE AIRE; 5. ANILLO DE RODACION; 6. ENGRANE DE MOVIMIENTO; 7. CILINDRO DEL SECADOR; 8. CAMARA ESTACIONARIA; 9. CALENTADOR DE AIRE; 10. DESCARGA; 11. RODILLOS DE SOPORTE; 12. MOTOR Y REDUCTOR DE VELOCIDAD.

cha del secador en contacto íntimo con los gases de expulsión templados y cargados de vapor.

Es interesante observar que basándonos en los estudios y cálculos de ingeniería hechos sobre equipos para secar y adaptados para producir 20 ton/hr de material granular acabado, se necesita casi del doble para el secado a contracorriente que la requerida en un secador de flujo concurrente. Es aún más sorprendente el hecho de que se necesite casi tres veces la cantidad de aire para enfriar la misma cantidad en un enfriador de flujo concurrente que en uno a contracorriente.

4.4.2 Secadores por aspersión.

Este tipo de secadores se ha diseñado para procesar lodos y soluciones a velocidades de producción relativamente altas. El producto se obtiene en forma de gotitas finamente divididas por el contacto directo con el medio secante -usualmente aire- en un tiempo de retención extremadamente corto --3 a 30 seg.-, este tiempo de contacto da como resultado una mínima degradación del producto secado por la acción del calor.

En esta operación el lodo se bombea hasta un atomizador que rocía la carga en forma de gotitas muy finas, las cuales son sometidas a una corriente de aire caliente que puede fluir en forma concurrente o a contracorriente en relación con la dirección en que éstas son esparcidas. El sólido una vez seco se separa del aire por la acción de la gravedad.

El aire a la salida de la cámara de secado pasa a través de separadores tipo ciclón e inclusive de filtros de bolsas o burbujeadores húmedos para eliminar las partículas finas arrastradas, antes de ser desalojado a la atmósfera.

Cualquier unidad de secado por aspersión tiene como partes fundamenta-

les; el suministro de la carga y el sistema de esparcido, el sistema de producción y soplado del gas caliente, una cámara de secado, un sistema de separación de gases y sólidos, y finalmente un sistema para la descarga del producto.

4.4.2.1 Condiciones de la cámara de secado.

La eficiencia del secado por aspersión se determina por el aprovechamiento del calor por el equipo y la economía del ciclo empleado, afectada por el valor relativo de una alta o baja temperatura. Los factores más importantes que determinan una baja eficiencia son:

1. Falta de contacto entre la aspersión y el aire de secado.- El contacto de las partículas con el aire de secado no se lleva a cabo uniformemente, porque las partículas en este caso no tocan las paredes hasta que alcanzan cierto grado de secado y el calor del aire que pasa cerca de las paredes no es totalmente utilizado, sobre todo cuando hay varias boquillas en operación; es difícil prevenir los espacios abiertos en la zona de la aspersión, todo el material atomizado es secado en la zona donde la relación de partículas líquidas a aire es mayor y el calor del aire es parcialmente utilizado debido a su movimiento turbulento, ocasionando pérdidas de calor.

2. Baja velocidad de difusión a través del sólido.- En los materiales en que la resistencia a la difusión es alta, el equilibrio con los gases se alcanza más lentamente que con los materiales donde la difusión es rápida; por esta razón la eficiencia de una cámara varía considerablemente de acuerdo con el material secado, aún utilizando el mismo sistema de atomización y distribución de partículas en el gas de secado.

3. Pérdidas de calor en la cámara.- Las pérdidas de calor a través de las paredes y los ductos es considerable; mientras que la velocidad del ---

aire de secado es baja en la cámara, el calor por pie cuadrado de superficie también es bajo, lo que hace que las pérdidas por radiación sean elevadas.

4. Humedad en el aire de secado.- Las pérdidas debidas a la humedad -- del aire de secado son muy pequeñas y pueden despreciarse cuando se usa un sistema de recirculación de aire.

La capacidad de la cámara se determina mediante la eficiencia térmica y por la cantidad de calor por unidad de volumen y por unidad de tiempo, ésta es proporcional a la velocidad y temperatura de los gases de secado. La velocidad está limitada en la operación a contracorriente por la velocidad de transporte del material, y en las operaciones en paralelo por el tiempo de contacto en el secador, el cual es reducido al aumentar la velocidad; -- una elevada velocidad puede causar un gran arrastre de partículas por los gases de secado.

4.4.2.2 Modificaciones a los secadores por aspersión.

Los secadores por aspersión son modificados hacia el uso de las propiedades del producto para mejorar las ventajas durante el secado, cualquiera de estos rasgos incluye:

Corriente de aire de enfriamiento.- El aire ambiente es introducido a la pared del secador o del cono para prevenir el secado de las partículas -- que son sensibles al calor o que tienen bajo punto de fusión y que pueden adherirse sobre la pared caliente, también diluye el aire descargado y baja artificialmente la temperatura de salida.

Pared de características enfriantes.- Una doble pared sobre el secador por aspersión realiza el mismo propósito que el de corriente de aire de enfriamiento pero en un grado menor y sin la dilución.

Cono de separación.- Enfría el polvo hasta condiciones cercanas a la temperatura ambiente y lo separa suavemente del medio secante.

4.4.2.3 Factores controlantes de diseño.

Considerando las diferentes fases de secado, el diseño de un secador - por aspersion puede ser alterado para dar productos de cualidades específicas en propiedades físicas y químicas limitadas, para el material que va a ser secado; cualquiera de las cualidades que pueden ser controladas para un grado son:

- a) tamaño de partícula,
- b) distribución de la partícula,
- c) esfericidad de la partícula -apariencia-,
- d) espesamiento de la pared de la partícula,
- e) degradación del producto por la acción del calor,
- f) densidad, y
- g) humedad del producto.

4.4.3 Criterios de selección.

Para seleccionar el secador más apropiado para una aplicación dada, es necesario considerar cuidadosamente muchos factores. Un factor sumamente importante es el tipo de alimentación que se va a secar; existen muy diversos tipos de alimentación, sin embargo, los tres tipos más comunes son:

- a) soluciones; suspensiones coloidales y emulsiones, suspensiones que contienen sólidos finamente divididos, pastas y lodos,
- b) polvos, sólidos granulares, cristalinos o fibrosos capaces de soportar tratamiento mecánico, y
- c) sólidos incapaces de soportar tratamiento mecánico debido a su tama

ño, forma o fragilidad.

Otro de los factores importantes para la selección de un secador es la sensibilidad del producto al calor, lo que representa un gran problema ya que el tiempo de retención deberá ser corto.

La naturaleza de la transferencia de calor puede influir también en la selección de un secador, por ejemplo, la convección presenta las siguientes desventajas: la eficiencia térmica es baja; hay una excesiva formación de polvos, el método es costoso para aplicaciones en las cuales haya que recuperar solventes. La conducción presenta las ventajas de una mayor eficiencia térmica, hay poca producción de polvo y hay economía en la recuperación

La capacidad juega también un papel de cierta importancia en la selección, porque sirve para decidir si se requiere un equipo continuo o uno intermitente.

Para poder especificar un secador deben tomarse en cuenta ciertas consideraciones importantes como son: las condiciones generales y las características físicas del material, limitaciones específicas de la temperatura, el compartimiento del material, limitaciones de construcción y fuentes disponibles de calor, combustible y potencia.

Debe hacerse hincapié en que para la selección de un secador la variable más importante a considerar es el tipo de material que se va a secar -- así como sus características, por lo cual, lo primero que debe llenarse al hacer la especificación de un secador, es la sección correspondiente a la alimentación.

Teniendo el conocimiento de las propiedades del producto, se debe seleccionar el tipo de secador que sea capaz de manejar la alimentación húmeda y el producto seco satisfactoriamente; una vez conocida la masa total de agua a evaporar por unidad de tiempo se puede estimar el tamaño del seca---

TABLA 4.8 FACTORES PARA DISEÑO Y SELECCION DE SECADORES.

1. Naturaleza del material a ser secado:
 - a) características físicas y químicas cuando está seco y húmedo,
 - b) corrosividad,
 - c) toxicidad,
 - d) flamabilidad,
 - e) tamaño de partícula, y
 - f) abrasividad.
2. Funcionamiento de secado:
 - a) tipo de humedad, limitada o ilimitada, o en combinación,
 - b) contenido de humedad inicial,
 - c) contenido de humedad final máxima permitida,
 - d) temperatura máxima permisible de secado, y
 - e) tiempo de secado total estimado para varios diseños de secado---
res.
3. Naturaleza de la operación del procesamiento total:
 - a) cantidad de material a ser manejado por hora,
 - b) operación considerada, batch o contínua,
 - c) naturaleza del procesamiento justo antes de la operación de seca
do, y
 - d) naturaleza de la operación de procesamiento subsecuente.
4. Características consideradas del producto secado:
 - a) pérdidas permisibles,
 - b) contaminación permisible, si cualquier,
 - c) tolerancia de variación desde el contenido final de humedad con-
siderado,
 - d) efectos de sobresecado sobre el rendimiento y aceptabilidad del

del producto final,

- e) tamaño de partícula y otras características físicas del producto final que puedan ser alteradas durante el secado,
 - f) temperatura de salida del producto considerada, y
 - g) densidad de masa del producto final.
5. Recuperación del material incluyendo:
- a) polvos, y
 - b) solventes.
6. Facilidad de requerimientos:
- a) espacio necesario,
 - b) temperatura, humedad, y limpieza de aire sucio (u otro gas) requerida o a necesitar para el gas inerte,
 - c) aprovechamiento de combustible,
 - d) fuerza eléctrica requerida,
 - e) ruido, vibración y polvos permisibles,
 - f) pérdidas de calor permisibles,
 - g) procedencia de la alimentación húmeda, y
 - h) salidas de extracción del gas.

TABLA 4.9 MAGNITUDES PARA SISTEMAS DE SECADO EN LAS INSTALACIONES DE FERTILIZANTES GRANULARES.

Producto final en toneladas por hora.	Tamaño del secador de diámetro constante (alineación-bóveda)	Accionamiento por motor (potencia)	Dimensiones del horno (Btu/hr)	Dimensión del colector convencional (pies)	Volúmen de aire secador a la temperatura de descarga del secador (pies ³ /min)	Potencia del ventilador.
Dimensiones de planta piloto 1 000 lb/hr (1 ton rendimiento)	Diámetro 3 por 16	2 - 3	1 000 000	Diámetro 2 1/2 por 6 1/2	750	3
10 ton/hr (20 ton/hr rendimiento)	Diámetro 5 por 30	15	6 000 000	Diámetro 6 por 18	10 000	15
15 ton/hr (30 ton/hr rendimiento)	Diámetro 6 por 35	20	10 000 000	Diámetro 8 por 19	15 000	30
20 ton/hr (40 ton/hr rendimiento)	Diámetro 7 por 40	30	12 500 000	Diámetro 8 1/2 por 22	20 000	40
25 ton/hr (50 ton/hr rendimiento)	Diámetro 7 por 50	40	18 000 000	Diámetro 10 por 26 1/2, sencillo o doble 7 por 21	25 000	50
30 ton/hr (60 ton/hr rendimiento)	Diámetro 8 por 45	50	20 000 000	Collectores dobles 7 por 24	30 000	60
35 ton/hr (70 ton/hr rendimiento)	Diámetro 8 por 60	50	24 000 000	Doble, diámetro 7 por 24	35 000	75
40 ton/hr (80 ton/hr rendimiento)	Diámetro 8 por 70	60	30 000 000	Doble, diámetro 10 por 25	40 000	100

Nota: Las dimensiones de los enfriadores corresponden casi exactamente a las dimensiones de los secadores generales, aunque si bien se ven afectadas algo por las condiciones climáticas de la planta. La potencia requerida para el enfriador es generalmente inferior debido a una carga menor. Se usa también un gran ventilador para asegurar un mejor enfriado.

dor.

Puede concluirse que el criterio fundamental para seleccionar el tipo de secador idóneo para una determinada operación lo es la alimentación; sin embargo, aún cuando la alimentación presenta sus características bien definidas, se presenta el problema de que pueden usarse diferentes tipos de secador para un mismo tipo de alimentación, por ejemplo, para materiales granulares o sólidos cristalinos o fibrosos que soporten tratamiento mecánico, pueden emplearse prácticamente cualquier tipo de secador; o sea que no basta sólo el tipo de alimentación para seleccionar un secador, sino que además deben considerarse los factores que se mencionan en la tabla 4.8.

4.4.4 Análisis de heterogeneidad tecnológica.

El hecho de que los fertilizantes que se expendan en nuestro país en su mayoría sean granulados implica la presencia de equipos de aglomeración seguidos generalmente de un equipo de secado, e incluso se tienen procesos en los cuales la operación de secado no se efectúa en un equipo específico como es un secador rotatorio, sino que se efectúa en forma simultánea con otra operación como es la aglomeración, tales son los casos de la torre de perlado y del esferodizador.

En la mayoría de las plantas se tiene la presencia de secadores rotatorios de calentamiento directo, con el flujo de los gases secantes en paralelo y en contacto directo con los gránulos; únicamente se tiene una planta en la cual los gases secantes no son gases de combustión mezclados con aire, esta planta es la de nitrato de amonio de la unidad Monclova, en la cual el aire se calienta haciéndolo pasar a través de una rejilla de tubos aletados por los cuales circula vapor.

En las plantas en las cuales el secado se efectúa simultáneamente con

la granulaci3n, se tiene la presencia de enfriadores rotatorios; en el caso del esferodizador la funci3n del enfriador es proporcionar un tiempo de enfriamiento del gr3nulo durante el cual no pueda absorber humedad ambiente - debido a la alta temperatura a la cual salen los gr3nulos del esferodiza---dor; en el caso de las torres de perlado, los enfriadores funcionan b3sicamente como un secador por enfriamiento, ya que los gr3nulos salen calientes y conteniendo humedad, los cuales al enfriarse perder3n humedad debido a la vaporizaci3n.

El dise1o de los secadores y enfriadores rotatorios es pr3cticamente - el mismo, ya que en ambos se ponen en contacto dos fases (s3lido-gas), y la diferencia entre ambos est3 en la temperatura de las fases, ya que las o---tras diferencias como son, tama1o, capacidad, tipo, forma y arreglo de las aletas interiores, son determinadas por el producto y la capacidad de la -- planta.

El proceso en el cual la presencia y el funcionamiento del secador es un factor determinante en la calidad del fertilizante, es el del sulfato de amonio, en este proceso el secador est3 dise1ado para eliminar una cantidad de humedad muy peque1a, al grado que cualquier peque1a falla en el equipo - de separaci3n s3lido-l3quido que se traduzca en un aumento de la humedad -- del producto a la entrada del secador, ocasiona en la mayor3a de los casos que el producto salga h3medo de la planta a las bodegas, lo cual puede ocasionar el ape1mazamiento del mismo. Lo anterior se debe a que en la mayor3a de las plantas de sulfato de amonio se tiene trabajando al secador en el l3mite de su capacidad de dise1o e incluso arriba de 3sta, la planta en donde se aprecia m3s esta situaci3n es en la planta de la unidad Cuautitl3n, en - la cual como se mencion3 anteriormente se hicieron ampliaciones en el n3mero de cristalizadores que ocasionaron que se aumentara el n3mero de los ---

equipos de separación sólido-líquido, pero no se aumentó en forma adecuada la capacidad de secado de la misma, teniéndose la siguiente situación:

a) capacidad de producción de los cinco cristalizadores:

1000 ton/día,

b) capacidad de separación de las centrífugas:

1000 ton/día,

c) capacidad del secador:

600 ton/día,

operación actual:

a') cristalizadores:

150 ton/día cada uno,

b') centrífugas:

150 ton/día cada una,

c') secador:

750 ton/día,

como se puede apreciar, el secador está trabajando 150 toneladas arriba de su capacidad óptima, mientras los demás equipos trabajan abajo de sus respectivas capacidades.

La situación anterior se debe principalmente a una mala planeación en las ampliaciones de la planta; la primera ampliación, fue de dos a tres cristalizadores con los consecuentes aumentos en las capacidades de separación sólido-líquido y de secado, la segunda ampliación fue de tres a cinco cristalizadores con el consecuente aumento a la capacidad de separación sólido-líquido, pero no se aumentó la capacidad de secado, lo que originó la situación actual de esta planta.

En base al análisis realizado, se puede concluir que en los equipos involucrados en la operación de secado, no existe heterogeneidad.

4.5 SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO.

4.5.1 Filtros horizontales giratorios a vacío.

Cuando la superficie filtrante opera en un plano horizontal, el filtro es llamado de tipo horizontal, pero son usualmente más conocidos por las ca racterísticas de su forma, que pueden ser; de charola estacionaria -descarga en espiral- y de charolas inclinadas.

Los filtros horizontales giratorios a vacío son empleados principalmen te para la filtración rápida de sólidos, especialmente aquellos que no pueden ser manejados con un buen resultado en filtros de tambor rotatorio y de disco; dichos filtros también son ventajosos cuando la torta requiere ser lavada, el desplazamiento del lavado debe tener una alta eficiencia de drenado para que la torta no se disperse.

Estos filtros en los que se acumulan cantidades apreciables de sólidos en la superficie del medio filtrante, y siendo la torta de yeso el medio de filtración, la base sobre la cual es depositada no necesita ser un medio -- particularmente retentivo; en efecto, para minimizar su resistencia y por - tanto maximizar la capacidad del filtro, el medio es usualmente tan abierto que algunos sólidos pasan a través de él al principio del ciclo. Por esta - razón una torta de filtración raramente produce un filtrado completamente claro.

En el filtro se ha encontrado usualmente, que hay un espesor definido de la torta, al cual, una relación dada del agua de lavado a los sólidos, - produciría un mínimo de sales solubles contenidas en la torta. Recíprocamente dicha relación, la cual es necesariamente establecida para producir un - contenido soluble de la torta, es un mínimo a ese espesor; en muchos casos, sin embargo, el efecto del espesor de la torta sobre la eficiencia del lava do no es marcado. Siempre se desean volúmenes mínimos de lavado ya que volú

menes excesivos, pueden transtornar el proceso de la planta.

La descarga de la torta es de varios diseños; para el de charola inclinada es por gravedad o sea volteando la charola, en tanto que para el de charola estacionaria o de mesa, es removida por un sistema mecánico que en este caso es un ducto en espiral.

4.5.1.1 Sistema de lavado de los filtros horizontales giratorios a vacío.

La mezcla a filtrar es un magma que contiene H_3PO_4 de 29 a 30% de P_2O_5 y de 35 a 40% de sólidos en suspensión. Este magma es extraído por medio de una bomba del reactor y descargado a un tanque de circulación, del cual es alimentado directamente por el vertedero distribuidor acoplado exactamente sobre las charolas del filtro.

Estos filtros, en su selector central tienen 8 compartimientos de separación por los que pasan las diferentes soluciones ácidas y gases, y se han clasificado de la siguiente manera:

1. presucción o prefiltrado,
2. ácido fuerte de 29 a 30% de P_2O_5 ,
3. ácido medio de 16 a 18% de P_2O_5 ,
4. ácido débil de 2 a 3% de P_2O_5 ,
5. ácido muy débil de 0.75 a 1.5% de P_2O_5 ,
6. agua de proceso,
7. soplador de telas, y
8. extractor secador de telas.

El objeto del primer compartimiento, es una presucción o prefiltrado - para formar una torta delgada de yeso que servirá posteriormente como filtro ayuda en el proceso de filtración; en el segundo compartimiento, de la torta de yeso que se forma, se succiona el ácido fuerte y éste es enviado a

los tanques de almacenamiento. La torta de yeso en el tercer compartimiento sufre un lavado con ácido débil, del cual resulta el ácido medio, y éste es mezclado con el prefiltrado y recirculado al reactor. La torta de yeso sigue teniendo lavados a contracorriente, formando primeramente con el agua - que se introduce al proceso, el ácido muy débil; este ácido es recirculado al filtro por medio de una bomba, donde continuará el lavado de la torta de yeso aumentando su contenido de P_2O_5 , llamándose ahora ácido débil, este -- nuevo ácido es recirculado nuevamente, continuando el lavado de la torta de yeso, formando ahora el ácido medio, que como antes se mencionó, es mezclado con el prefiltrado y luego enviado al reactor.

Debido al tiempo limitado de lavado durante el ciclo, la escama se acumula gradualmente en la tela del filtro y en la tubería, entonces se necesita un descame periódico, el cual se hace por medio de agua circularnte o ácido débil por espacio de varias horas.

4.5.1.2 Filtro de charola estacionaria.

Este filtro es esencialmente una charola horizontal rotatoria dividida en secciones cuneiformes, y cada sección comprende a un compartimiento separado, que gira en el plano horizontal.

El vacío se aplica desde una válvula automática localizada concéntrica mente debajo del filtro, el fondo de cada compartimiento se inclina hacia - el centro del filtro; el desagüe y el vacío se hacen a través de una abertura que conduce a la válvula automática, ésta también conecta por turno con cada celda o compartimiento al licor apropiado. Durante la rotación cada -- celda pasa por un vertedero montado sobre el filtro, por el cual se alimenta el magma, la torta que se forma rápidamente es lavada por medio de licores progresivamente más suaves y posteriormente por agua caliente, por me--

dio de distribuidores colocados en arcos sobre la charola.

El medio filtrante -de fibra natural o sintética- está soportado por una placa taladrada o por una tela de alambre, apretada a martillo en los canales de ensambladura en la periferia de las secciones.

Una zona elevada central y un borde vertical en la circunferencia ayudan a mantener en la superficie de filtración a la suspensión y a las soluciones de lavado. La torta lavada y seca se desprende por medio de un ducto en espiral, localizado justamente antes del alimentador, excepto una capa de 1/8 de pulgada de grueso adyacente al paño filtrador; esta capa de residuos es mezclada con el lodo fresco por medio de una corriente de baja presión de aire que entra por debajo de la tela del filtro, al principio del ciclo siguiente, esta recirculación de la costra reduce la capacidad del filtro.

Con algunos materiales la acción del ducto comprime y cubre la parte inferior haciendo difícil desalojar y dispersar la alimentación, esto sucede ya sea que el aire a presión entre en el mismo punto de alimentación o antes. Cuando la torta no puede dispersarse, se limita la capacidad y contnuidad de la operación; si la costra se dispersa con la alimentación, la substancia para lavar que queda en la parte inferior, diluye ligeramente la filtración fuerte, lo que puede ser perjudicial si se requiere una separación muy exacta.

La velocidad de rotación de la unidad se controla con un motor de velocidad variable que junto con la rapidéz de alimentación de la suspensión, se fija la de filtración.

Una forma modificada de la charola convencional utiliza un anillo ----flexible de hule para el borde; en el punto de la descarga el anillo es movido hacia afuera de modo que la torta pueda ser rápidamente descargada fue

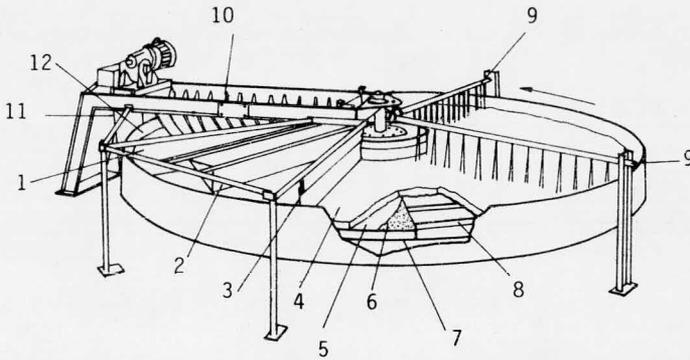


FIGURA 4.9 FILTRO DE CHAROLA ESTACIONARIA.

1. DIQUE TRASERO DE LA ALIMENTACION; 2. CAJA ALIMENTADORA DE LA PASTA; 3. DIQUE DELANTERO DE LA ALIMENTACION; 4. TORTA; 5. MEDIO FILTRANTE; 6. REJILLA DE DRENADO; 7. COMPARTIMIENTOS DIVIDIDOS PARA EL DRENAJE; 8. SOPORTE DE LA REJILLA DE DRENADO; 9. AGUA DE LAVADO; 10. TRANSPORTADOR DE DESCARGA; 11. DUCTO DE DESCARGA DE LA TORTA; 12. AIRE PARA LA DISPERSION DE LOS RESIDUOS DE LA TORTA.

ra del borde, y el medio filtrante sea completamente lavado.

Cuando se utiliza con sólidos volátiles, la unidad entera puede ser -- provista para trabajar a presiones de 3 a 4 pulgadas de agua, unidades presurizadas sobre 30 psig. han sido diseñadas sólo en tamaños grandes, y para contadas aplicaciones.

El filtro de charola estacionaria frecuentemente se limita a las sus-- pensiones que puedan formar una costra de por lo menos 2 centímetros, en un período de tiempo razonable -de 30 a 60 segundos-, este grosor es necesario para una descarga eficiente por el ducto; además, requiere de un gran espacio por unidad porque la superficie está extendida sobre un plano horizon-- tal.

4.5.1.3 Filtro de charolas inclinadas.

El diseño de este filtro es un arreglo circular de charolas trapezoidales que giran sobre un eje central, y están montadas en un riel que rodea - al filtro, sobre rodillos que las sostienen.

El borde interior de cada charola está conectado a una unión de tube-- ría con juntas giratorias o a un tubo de conexión flexible, esta conexión - conduce al líquido a una tubería independiente vertical unida a la válvula automática del filtro, dicha válvula controla la aplicación del vacío y la separación del filtrado.

Las charolas individuales son mecánicamente rotatorias sobre el eje horizontal para la completa descarga de la torta, la línea de salida del filtrado sirve como eje para la rotación. Conforme gira el conjunto, la válvula conecta cada charola en turno a varios recipientes de filtrado, para recolectar el producto de ácido y varios licores lavadores a contracorriente de diferentes contenidos de P_2O_5 . Los recipientes son llenados con magma de

una caja de distribución sobre la máquina y después es extraído el filtra--do. La torta en cada recipiente es lavada en varios puntos de rotación inundándola con licores progresivamente más débiles, y por último sufre un lavado con agua caliente.

En el punto de descarga una serie de levas sobre el riel que circunda al filtro, hacen que las charolas giren 180° y con ayuda del soplador de telas descargan la torta; mientras está en posición invertida, la tela del -- filtro es bañada copiosamente con agua a presión que a la vez que la lava - sirve para arrastrar el yeso y ambos son enviados al drenaje. Las charolas lavadas se voltean a su posición horizontal y son secadas con el extractor secador de telas, y quedan listas para iniciar el siguiente ciclo de filtración.

La válvula automática del filtro, con la instrumentación adecuada hace posible mantener el vacío en la charola hasta que esté completamente invertida, el vacío que se requiere es de la escala de 6 a 7 pulgadas de agua -- -presión absoluta-, en este punto el vacío se corta con una entrada de aire simultánea. Mantener el vacío en la charola mientras está inclinada, evita que la costra resbale a través del medio filtrante, la descarga por grave--dad de la torta elimina problemas de desgaste del medio; mientras que los - lavados después de cada ciclo, minimizan el debilitamiento y alargan la vida del medio filtrante.

La unidad de charolas inclinadas tiene como características que cuando se aplica el aire a presión instantáneo, quita más costra y por ello mantiene la capacidad; y con anillos de refuerzo permite un método positivo para limitar la cantidad apropiada de lavado con relación a la cantidad de cos--tra.

Este filtro está limitado generalmente para suspensiones que forman --

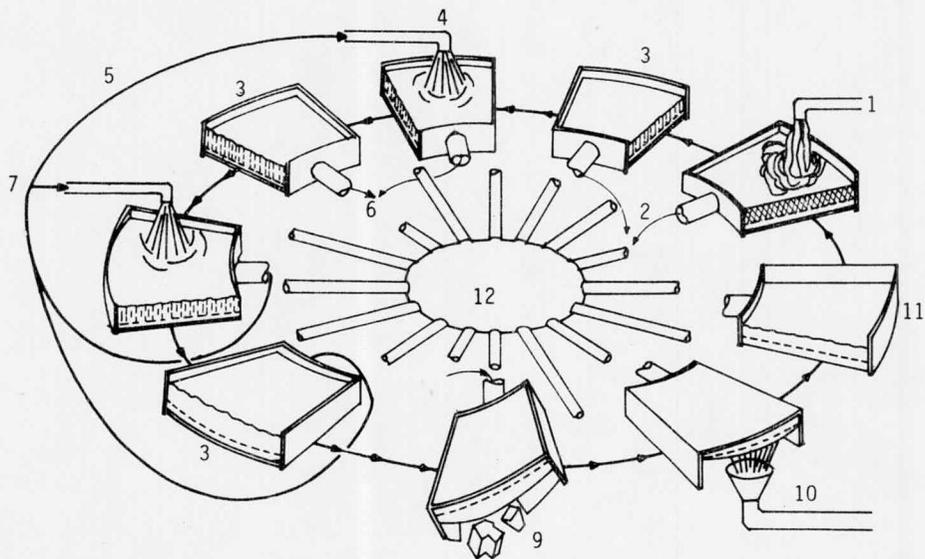


FIGURA 4.10 FILTRO DE CHAROLAS INCLINADAS.

1. ALIMENTACION DE LA SUSPENSION; 2. AGUAS MADRES SIN DILUIR; 3. DESECADO DE LA TORTA; 4. LAVADO DE LA TORTA; 5. SOLUCIONES PARA LAVADO SUAVE; 6. SOLUCIONES PARA LAVADO FUERTE; 7. AGUA DE LAVADO; 8. EXPULSION DE - AIRE; 9. DESALOJAMIENTO Y DESPEGUE DE LA TORTA; 10. LIMPIEZA DEL TEJIDO; 11. SECADO DEL TEJIDO; 12. DISTRI- BUIDOR DE VACIO.

una costra de 1.5 centímetros o más en un lapso de 30 a 60 segundos; su velocidad es de 1/18 a 1/3 de rpm. Debido a su mecanismo este filtro requiere de un gran espacio; su costo y mantenimiento son relativamente altos, y es especialmente adecuado para grandes capacidades de hasta 2000 ton/día. Las grandes unidades son mecánicamente complejas pero prácticas, y son aprovechables en tamaños de hasta 1800 pies cuadrados.

4.5.1.4 Criterios de selección.

Hay muchos factores que deben ser considerados y muchos los tipos de filtros que pueden ser útiles; ésto implica la selección de un filtro para un trabajo particular. Sin embargo, buenos datos de laboratorio facilitan el trabajo.

Los factores generalmente más importantes son los siguientes:

- a) carácter de la suspensión,
- b) velocidad de producción,
- c) condiciones de proceso,
- d) resultados exigidos, y
- e) materiales de construcción.

En la tabla 4.10 se muestra como estos factores están relacionados a tipos específicos de equipo.

El factor más importante para seleccionar un filtro, es el que se refiere al carácter de la suspensión o sea la velocidad de formación de la torta; pero en general, debe decirse que para encontrar la selección óptima debe hacerse un análisis completo de los cinco factores antes mencionados y además incluir un análisis económico de cada una de las posibilidades, de tal manera que se obtenga el mejor rendimiento al más bajo costo con un tipo de filtro de tamaño moderado. Esto es en realidad algo difícil de llevar

TABLA 4.10 GUIA PARA LA SELECCION DE FILTROS.

CARACTERISTICAS DE LA SUSPENSION.	FILTRACION RAPIDA.	FILTRACION MEDIANA.	FILTRACION LENTA.	DILUIDO	MUY DILUIDO
Rapidez en la formación de la torta. Concentración normal. Valor de sedimentación. Valor de la prueba de hoja, Kg/hora/dm ² . Valor de la filtración, Litros/min/dm ² .	cms/seg. 20 % rápida, difícil de suspender. 300 20	cms/seg. 10 a 20 % rápida. 30 a 300 1 a 20	0.0125 a 0.05 cms/min. 1 a 10 % lenta 3 a 30 0.05 a 0.10	0.0125 cms/min. 5 % lenta 3 0.05 a 10	ninguna costra. 0.05 a 10
APLICACION DE FILTROS. Filtros continuos al vacío: Cilíndricos de múltiples compartimientos. Cilíndricos de un solo compartimiento. Dorro. Desagüe de embudo. Máxima alimentación. Descarga por conducto en espiral. Charola inclinada. Banda. Disco. Precubierto.					
Precubierto de presión continua. Hoja al vacío intermitente. Nutsche intermitentes.					
Filtros a presión intermitentes: Lámina y marco. Hoja vertical. Tubular. Lámina horizontal. Cartucho reborde.					

a cabo, sobre todo por la falta de información y conocimientos, y además -- por el hecho de que existe una gran diversidad de tipos de filtros lo que -- provoca en muchos casos que la separación de una suspensión, ya sea de filtrado rápido, intermedio, lento, etc., pueda efectuarse empleando dos o más de estos equipos. Así que podemos decir que existen varios tipos de filtros que son competitivos para efectuar la separación del mismo tipo de suspensión, situación que anteriormente se había puesto de manifiesto al referirnos a la tabla 4.10; a esto debe agregarse además que filtros y centrífugas son equipos competitivos.

Todo esto implica la selección óptima del tipo de filtro, por lo que -- la tabla 4.10 no es concluyente, sin embargo, ofrece una comparación que -- puede ser de gran ayuda para una buena selección.

4.5.2 Centrifugación.

4.5.2.1 Centrifuga de canasta horizontal, automática, intermitente y con cuchilla de descarga.

Este tipo de centrífugas son usualmente de velocidad constante y de -- construcción y cimentación fuertes. La canasta está suspendida sobre un eje horizontal y consta de un distribuidor de la alimentación, tubería de aspersión para el lavado y una cuchilla raspadora para la descarga de la torta. -- La alimentación es introducida intermitentemente en la canasta ranurada, en la cual se acumulan los sólidos como un torta fija bajo la acción de una -- fuerza centrífuga, mientras que el líquido pasa continuamente a través de -- torta y del medio filtrante de la canasta. Después de un intervalo de tiempo predeterminado y controlado, la alimentación es suspendida, pero la torta continúa siendo escurrida durante otro intervalo de tiempo predeterminado, entonces se lleva a cabo la operación de lavado, seguida de un período

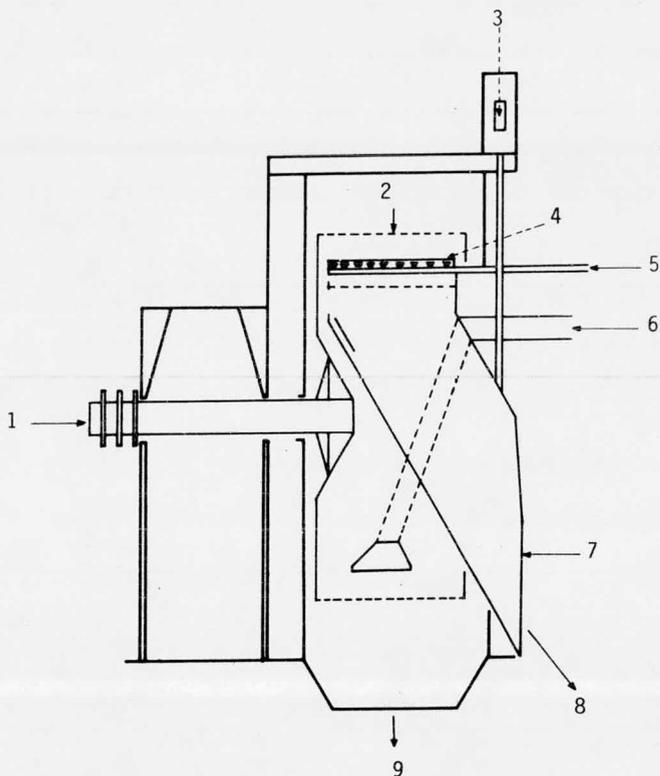


FIGURA 4.11 CENTRIFUGA DE CANASTA HORIZONTAL

- 1. TRANSMISION;
- 2. CANASTA PERFORADA;
- 3. TRANSMISION HIDRAULICA PARA OPERAR LA CUCHILLA DE DESCARGA;
- 4. - CUCHILLA DE DESCARGA;
- 5. TUBO DE ALIMENTACION DE LAVADO;
- 6. ALIMENTACION DE LA SUSPENSION;
- 7. CONDUCTO DE SOLIDOS;
- 8. DESCARGA DE SOLIDOS;
- 9. FILTRADO.

final de escurrimiento; en este momento, la cuchilla se mueve hacia la pared de la canasta, despegando la torta y conduciendo los sólidos hacia la descarga, el ciclo total es corto, de 15 segundos a 5 minutos.

Trabajan eficazmente con suspensiones con concentraciones de sólidos de 10 a 60% y con un tamaño de partícula superior a 20 micras. La velocidad de rotación es muy alta y disminuye durante un corto intervalo de tiempo en la descarga de la torta, esta cualidad le permite en un momento dado variar la velocidad y ajustarla para distintas concentraciones de sólidos en la alimentación, dándole una versatilidad que no poseen la mayoría de las centrífugas.

Las partículas en forma de agujas finas o placas muy delgadas pueden ser arrastradas junto con el licor madre a través del medio filtrante, y por tanto, producir una baja en la capacidad cuando están presentes grandes cantidades de ellas.

Tienen un sistema de lavado que permite lograr un producto de gran pureza, a pesar de la alta velocidad desarrollada no presenta problemas de ruptura de cristales. La cuchilla debe seleccionarse de materiales de buena calidad a fin de evitar paros innecesarios para su cambio.

4.5.2.2 Centrífuga de canasta vertical, automática, continua y con cuchilla de descarga.

La canasta ranurada se encuentra alojada en un eje vertical, la transmisión puede ir en la parte superior o en la inferior; esta centrífuga opera en forma continua y con velocidad constante.

La alimentación se introduce a la velocidad seleccionada, a esta velocidad se aplica el lavado y el drenado de la torta; también a esta velocidad se lleva a cabo el secado de la misma y, finalmente los sólidos son des

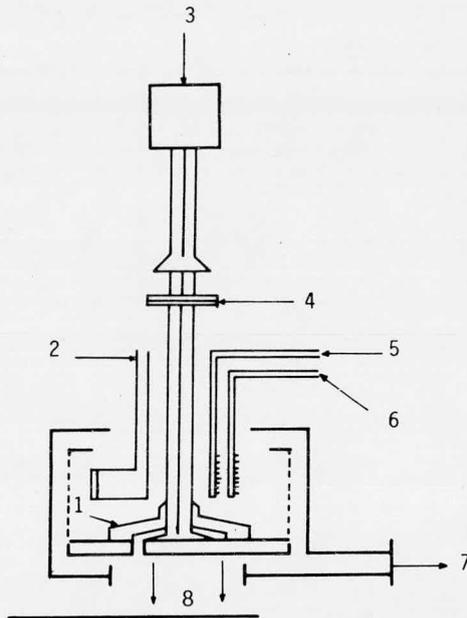


FIGURA 4.12 CENTRIFUGA DE CANASTA VERTICAL.
 1. VALVULA DE LA CANASTA PARA LOS SOLIDOS; 2. CUCHILLA DE DESCARGA DE SOLIDOS; 3. TRANSMISION; 4. ACOPLAMIENTO UNIVERSAL; 5. LAVADO; 6. FILTRADO; 7. DESCARGA DE LIQUIDOS; 8. DESCARGA DE SOLIDOS.

cargados mediante una cuchilla.

Tiene la desventaja de presentar problemas de desajustes debido a la alta velocidad y a que gira sobre un eje vertical, estos desajustes son producidos por la excesiva vibración, lo cual obliga a la máquina a ser sometida a frecuentes paros de mantenimiento para la calibración de las canastas.

4.5.2.3 Criterios de selección.

En la separación de pequeñas partículas sólidas de un licor madre, la centrifugación es frecuentemente la forma más práctica y económica de llevar a cabo la operación. El grado de separación posible está determinado -- por los requerimientos del proceso y la naturaleza de los líquidos y sólidos involucrados en la operación, además, las características de los líquidos y sólidos contenidos en el licor madre nos indican cual es el equipo -- centrífugo más apropiado bajo ciertas condiciones específicas.

Las principales características de las mezclas sólido-líquido que afectan la eficiencia de separación y la selección del equipo centrífugo más -- adecuado son:

- a) tamaño de cristal,
- b) gravedad específica de sólidos y líquidos,
- c) viscosidad,
- d) concentración de sólidos en el licor madre,
- e) temperatura,
- f) superficie y forma de la partícula,
- g) efecto del pH,
- h) velocidad de operación, y
- i) especificaciones de los sólidos y los líquidos una vez separados.

La selección de una centrífuga está determinada por los factores que -

hemos señalado, no obstante, cuando se realiza una investigación para seleccionar un tipo de centrífuga para un proceso dado, se descubre que una buena predicción del equipo a partir de la geometría de la máquina y de las propiedades físicas y químicas básicas de los líquidos y sólidos es muy difícil, y que la literatura que describe los equipos de separación sólido-líquido y las técnicas de escalonamiento se encuentran muy dispersas; así mismo, las posibilidades y relaciones de escalonamiento han resultado de conocimientos empíricos desarrollados por los fabricantes y usuarios del equipo, y pueden no ser confiables para un proceso determinado.

En la mayoría de los casos, el tamaño de la partícula, la concentración de los sólidos en la alimentación, la capacidad requerida por la unidad y la condición del producto a la salida, nos orientan sobre el tipo de centrífugas que podemos utilizar para un proceso dado, estos datos están resumidos en la tabla 4.11 para sedimentadores centrífugos y en la tabla 4.12 para filtros centrífugos.

También es necesario evaluar las características mecánicas de una centrífuga para valorar su eficiencia y costo de instalación. La cimentación, por ejemplo, es muy importante en la mayoría de las centrífugas; una mala cimentación de la misma, causa desajustes en el eje de transmisión y en el cuerpo de la máquina, esto es especialmente cierto en el caso de las centrífugas de impulsor y en las de eje vertical, donde las características de operación someten a la máquina a esfuerzos cortantes más rigurosos que en otros casos.

La selección de la centrífuga depende de todos estos factores, de todas las variables económicas involucradas, así como de ciertas consideraciones económicas especiales que atañen a las características de operación de cada proceso.

TABLA 4.11 RANGO DE APLICACION DE CENTRIFUGAS FUNCIONANDO COMO FILTROS CENTRIFUGOS.

Característica de la suspensión.	TIPOS DE CENTRIFUGAS						
	medio filtrante, continuo, deslizador	medio filtrante, continuo, vibrador	continuo, transportador	impulsor, simple/multipaso	horizontal, automática, cuchilla intermitente	vertical, automática, cuchilla intermitente	vertical, manual, cuchilla intermitente
Tamaño mínimo de la partícula *	250	500	150	40	20	20	10
Tamaño máximo de partícula	10 000	10 000	5 000	5 000	2 000	1 000	1 000
% de sólidos	40 - 80	40 - 80	25 - 75	15 - 75	10 - 50	5 - 20	2 - 10
Tiempo de filtrado, min.	0 - 3	0 - 3	1 - 5	1 - 10	3 - 20	10 - 30	20 - 60
<u>Capacidad de proceso:</u>							
Cantidad de sólidos, ^{tons} hora	5 - 40	5 - 150	1 - 150	0.5 - 50	0.25 - 20	0.1 - 5	0.1 - 1
Habilidad de lavado	perfecta	pobre	perfecta	buena	buena	excelente	excelente
Condición de descarga de la torta	seca, granular	seca, granular	seca, granular	seca, granular	seca, granular	firme, granular	pasta granular
Claridad del líquido	perfecta	perfecta	pobre	buena	buena	excelente	excelente

* Tamaño mínimo de partícula (micras) para una aplicación práctica económica, basada en el diámetro esférico equivalente de Stokes, para sílice suspendida en agua.

TABLA 4.12 RANGO DE APLICACION DE CENTRIFUGAS FUNCIONANDO COMO SEDIMENTADORES CENTRIFUGOS.

Característica de la suspensión.	TIPOS DE CENTRIFUGAS					
	reciente sólido	disco, orificio	disco, válvula de compuerta	disco, manual	tubular, manual	intermitente cuchilla manual
Tamaño mínimo de partícula *	2	0.25	0.25	0.25	0.1	2
Tamaño máximo de partícula	5 000	50	200	200	200	5 000
% de sólidos	2 - 60	2 - 20	0.1 - 5	1.0	0.1	0.1 - 5
Tiempo de giro, min.	0 - 3	1 - 10	1 - 10	1 - 10	2 - 20	0 - 3
Condición del sedimento	pasta firme granular	fluida	fluible, pasta	pasta firme	pasta firme	firme
<u>Capacidad de proceso:</u>						
Cantidad de sólidos $\frac{kg}{hr}$	45 - 45 000	4 - 1 300	0.4 - 680	0.4 - 45	0.04 - 2	9 - 2 000
Cantidad de líquido $\frac{lt}{min.}$	3 - 1 900	3 - 3 000	3 - 750	3 - 1 900	1 - 75	3 - 380
Lavado	algo	algo	no	no	no	no
Condición de la torta	pasta granular	fluible pasta	fluible pasta	pasta firme	pasta firme	firme
Claridad del líquido	generalmente	excelente	excelente	excelente	excelente	excelente

* Tamaño mínimo de partícula (micras) para una aplicación práctica económica, basada en el diámetro esférico equivalente de Stokes, para sílice suspendida en agua.

4.5.3 Análisis de heterogeneidad tecnológica.

La separación sólido-líquido puede ser hecha vía filtración o centrifugación, la selección de filtros contra centrífugas no es simple y depende de muchos factores; por ejemplo, el flujo continuo de sólidos y líquidos, la necesidad de separar el licor de lavado, rompimiento de los cristales, capacidad de secado, costos de instalación, costos de mantenimiento y espacio disponible para la operación de separación.

En algunos procesos los sistemas continuos están completamente limitados por la separación sólido-líquido, la cual vendrá a ser una operación -- bastante crítica.

4.5.3.1 Filtración.

En aplicaciones que involucran volúmenes altos, tales como los que se encuentran en la industria de fertilizantes, filtros de succión continuos -- son usados comunmente, principalmente los filtros horizontales giratorios a vacío, puesto que son capaces de realizar una etapa de lavado por separado, la cual ocurre en un solo paso en el filtro, así mismo, pueden manejar grandes tonelajes a costos relativamente bajos.

Los procesos húmedos para la elaboración de ácido fosfórico proporcionan un buen ejemplo donde se involucra la separación del ácido fosfórico -- del yeso de desecho, en el cual el producto valioso es el licor madre; la eficiencia de lavado es muy importante a fin de determinar la economía del proceso. En este caso particular, las partículas de yeso son muy pequeñas, mucho muy enlazadas y aglomeradas, y hacen que el lavado sea muy difícil, -- por lo tanto, en este caso la filtración es crucial; algunos procesos están controlados en la operación misma del filtro.

En los procesos que se utilizan en Guanos y Fertilizantes de México,--

para la elaboración de ácido fosfórico se emplean filtros que fueron diseñados específicamente para esta muy difícil separación, los cuales tienen varias etapas de lavado a contracorriente para un drenado poco más o menos -- completo de los cristales.

Los filtros giratorios horizontales a vacío que se utilizan en la elaboración de ácido fosfórico son el Dorr-Oliver o de charola estacionaria y el Bird-Prayon o de charolas inclinadas; en estos filtros el sistema de operación es el mismo. Del proceso de la unidad Pajaritos para la elaboración de ácido fosfórico, no se tiene información respecto al filtro empleado, -- aunque se puede esperar que los principios básicos de éste sean los mismos que los de los filtros anteriormente mencionados.

La diferencia entre estos filtros radica en la forma en que se descarga la torta de yeso; en el filtro de charola estacionaria la descarga se -- realiza mediante un transportador de tornillo, mientras que en el filtro de charolas inclinadas se lleva a cabo mediante el volteo de las charolas para que la torta se desprenda y caiga por la acción de la gravedad.

Al analizar dichos filtros se puede apreciar una ligera ventaja del -- filtro de charolas inclinadas sobre el de charola estacionaria por su sistema de descarga que impide que haya recirculación de residuos de la torta de yeso, al iniciarse el siguiente ciclo de filtración.

Al observar los equipos en funcionamiento en las plantas que fueron visitadas, se pudo apreciar que el filtro de charolas inclinadas es una modificación del filtro convencional de charola estacionaria y que su diseño se realizó con el fin de evitar las recirculaciones de residuos de la torta al ciclo de filtración.

No se puede afirmar que el filtro de charola estacionaria no cumpla -- los requisitos que el proceso determina y que el filtro de charolas inclinadas

das los satisfaga en forma más completa, ya que ambos cumplen la función para la cual fueron diseñados.

4.5.3.2 Centrifugación.

Las centrífugas que utiliza la industria de fertilizantes, son empleadas en el proceso de elaboración de sulfato de amonio para separar los cristales del licor madre, y esta etapa es la más crítica del proceso, ya que una falla en este equipo provoca que los cristales salgan muy húmedos y que el exceso de humedad no pueda ser eliminada en el secador.

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de elaboración de sulfato de amonio se observa una tendencia a la homogeneización de las licencias de tecnología, sin embargo, a pesar de que la mayoría de las licencias provienen de un solo licenciador -Chemico Cons. Corp.- se tiene la presencia de diferentes equipos de separación sólido-líquido cumpliendo la misma función.

Los equipos empleados en el proceso son una centrífuga de eje vertical de descarga continua y otra de eje horizontal de descarga intermitente, y ambas son de la misma marca. De estos dos modelos, la que se encuentra en mayor número es la de eje horizontal, según la opinión del personal técnico, la empresa espera substituir en corto plazo a la máquina de eje vertical, es decir, la empresa está homogeneizando sus equipos de separación sólido-líquido en base a la máquina de eje horizontal; esto es debido a las ventajas que presenta esta máquina y que son: regulación de los tiempos para cada una de las operaciones que realiza -carga del magma, drenado del licor madre, lavado de los cristales, drenado del agua de lavado, descarga de los cristales y lavado de la canasta-, mayor facilidad para efectuar las operaciones de mantenimiento y reparación; en tanto que la otra máquina pre

senta las siguientes desventajas: dificultad en la calibración y balanceo - de la canasta después de una operación de mantenimiento o reparación, necesidad de un adecuado control de la velocidad de la canasta y de la corriente de magma que se alimenta, ya que cualquier falla en estas dos variables puede ocasionar que se desbalancee la canasta, y difícil acceso para su reparación o mantenimiento.

Capítulo V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En base al estudio técnico efectuado en la industria de fertilizantes, se puede concluir que existe heterogeneidad tecnológica tanto en los procesos como en los equipos empleados por esta industria. Hay varias razones -- que explican esta situación:

1. La industria de fertilizantes se integró a partir de empresas privadas que se crearon sin una política definida de desarrollo -a nivel nacional-, y sobre todo con una ausencia completa de control en lo que se refiere a la selección y compra de tecnología, razón por la cual esas empresas -adquirieron equipos y tecnologías diferentes para elaborar un mismo producto.

2. La empresa por la importancia cualitativa que tiene para el agro -mexicano y por ser una empresa del sector público, asumió un carácter social de acuerdo al cual vende su producción a un costo subsidiado; esto le impidió generar recursos propios para el desarrollo de nuevos procesos y -- por lo cual siguió supeditada al abastecimiento de equipos y tecnologías -- provenientes del extranjero.

3. La heterogeneidad tecnológica en esta industria seguirá manifestándose debido a la instalación de nuevas unidades, las cuales funcionarán con tecnologías más modernas y con equipos diferentes a los actualmente utilizados, y que responden a las exigencias de los grandes volúmenes de producción requeridos actualmente.

La heterogeneidad tecnológica que se presenta en la industria de fertilizantes es evidente según se aprecia en la matriz 3.I, a partir de ésta podemos determinar que en la producción de la mayoría de los productos finales e intermedios se emplean más de una tecnología.

De los procesos utilizados, los únicos que muestran una tendencia ha--

cia la homogeneización son los empleados en la elaboración del ácido fosfórico y del sulfato de amonio.

En el proceso de elaboración del ácido fosfórico se está homogeneizando el sistema de reacción -ataque a la roca fosfórica-, para hacerlo similar al sistema utilizado por el proceso Pechiney-Saint Gobain -un solo reactor-. En el proceso de elaboración del sulfato de amonio se está utilizando preferentemente el proceso Chemico Cons. Corp. y la línea de homogeneización se realiza en el sistema de separación sólido-líquido, al utilizarse un tipo único de centrífuga. Estas situaciones han sido descritas ampliamente en el capítulo IV, en el análisis de heterogeneidad realizado para los equipos involucrados en cada operación unitaria seleccionada; también se hacen recomendaciones referentes a los equipos más adecuados dentro de los ya existentes con el fin de homogeneizarlos, usando el más versátil y eficiente.

Esta homogeneización en el diseño sería un paso indispensable para una posible normalización de sus capacidades; esto último redundaría en la producción local de equipos para los que ya existe un amplio mercado nacional, pero cuya producción ha sido obstaculizada por el gran número de marcas y capacidades diferentes de un mismo equipo. La factibilidad de normalización de los equipos analizados en la industria de fertilizantes no fue posible -determinarla en forma práctica por las siguientes razones:

- a) Sería necesario evaluar experimentalmente el equipo normalizado --funcionando dentro de cada proceso individual para determinar sus repercusiones en la eficiencia global del proceso y en los costos de operación de los mismos.
- b) En caso de que se registre una disminución en la eficiencia del --proceso o un incremento en los costos de operación al introducir -

equipo normalizado, deberán evaluarse estos "costos individualizados" frente al efecto global que en el desarrollo económico nacional tendría la implantación de un sector productor de bienes de capital, el efecto multiplicador de las inversiones, y la plena integración de la industria nacional al depender en menor escala de los equipos y tecnologías importadas.

Además, los equipos analizados dentro de la industria de fertilizantes son muy antiguos, pero cumplen eficazmente con los requerimientos del proceso; son de gran resistencia y duración, por lo cual su reposición es poco frecuente, siendo únicamente necesario el cambio periódico de ciertas piezas críticas. Sería más viable homogeneizar los diseños utilizados mediante la selección de equipos homogéneos en las nuevas plantas, a fin de hacer factible la producción local de piezas de repuestos -refacciones-.

La limitación de este estudio a una sola industria -la de fertilizantes- y dentro de ésta a unas cuantas operaciones unitarias, nos impide definir hasta que grado es factible la normalización de los equipos, pero sí es determinante al constatar la presencia de la heterogeneidad tecnológica en esta industria y cuales son las causas de la misma.

Si esta situación se presenta en una de las ramas de la industria cuya operación es aparentemente coordinada, podemos suponer que la heterogeneidad tecnológica se manifestará en el resto de las empresas del sector público y en mayor grado en las pertenecientes a la iniciativa privada, ya que estas últimas operan sin ninguna coordinación entre ellas en lo que se refiere a la selección de tecnologías y equipos. Así pues, la heterogeneidad tecnológica en la industria nacional asume proporciones alarmantes e implica la proliferación de diferentes equipos y tecnologías para elaborar un mismo producto con los consecuentes problemas que ocasiona: disemina los --

esfuerzos de los técnicos nacionales para asimilarlos y adaptarlos a los -- factores productivos del país, aumenta los costos de mantenimiento por la - necesidad de mantener un stock elevado de refacciones para diferentes equi- pos que elaboran un mismo producto, lo más grave de todo es que la amplia ga- ma de equipos existentes disminuye las posibilidades de implantar un sector productor de bienes de capital debido a la fragmentación del mercado que -- causa la heterogeneidad tecnológica, y por consiguiente persiste la necesi- dad de importar equipo, ocasionando que se siga subordinado técnica y econó- micamente a los países industrializados.

Lo anterior indica que es necesario adoptar una política de planeación en materia de importación de tecnologías por una parte, y en medidas desti- nadas a alentar la producción nacional de bienes de capital por la otra. -- Cualquier decisión que se tome en este sentido, debe considerar que la si-- tuación de heterogeneidad tecnológica no se resuelve a corto plazo normali- zando el equipo de una o varias industrias; esta medida se vería obstaculi- zada por la presencia de equipos específicos para cada industria, por las - diferentes capacidades requeridas, por lo costoso que sería reponer la plan- ta industrial utilizando equipo normalizado, y por la imposibilidad de pro- ducir económicamente estos equipos debido a lo restringido del mercado na-- cional que impide la producción local de gran número de equipos que requie- ren de una gran escala para ser económicamente rentables. Sobre este último punto cabe aclarar que numerosos economistas han alentado la producción na- cional de bienes de capital -aunque sea a un costo excesivo- por las reper- cusiones que tendría al disminuir la dependencia económica y tecnológica, - por el efecto multiplicador de las inversiones al crear nuevas fuentes de - trabajo e industrias alimentadoras de este sector; ésta podría ser la mane- ra obvia de resolver el problema, pero posiblemente la más errónea si no se

engloba dentro de una serie de medidas destinada a eliminar la dependencia y la heterogeneidad tecnológica, y es el Estado, la única institución con la fuerza económica y política suficiente para reorientar el modelo de desarrollo industrial del país, dicho modelo debe considerar entre sus premisas eliminar la dependencia tecnológica por medio de acciones coordinadas en -- los siguientes campos:

1. Selección de industrias.
2. Selección de tecnologías.
3. Instalación de un sector productor de partes y refacciones.
4. Instalación de un sector nacional productor de bienes de capital.
5. Fomento a la investigación tecnológica.

En la selección de industrias intervienen las necesidades prioritarias del país en materia de inversión, es decir, cuales son los tipos de industrias más necesarias -petroquímica, fertilizantes, plásticos, etc.- obviamente que al escoger industrias que requieren un alto y moderno contenido tecnológico en su instalación, significa aceptar el grado de equipo específico y heterogéneo que ellas utilizan; en algunos tipos de industrias esto será necesario, pero hay otras que ofrecen alternativas más simples y de igual eficiencia; las leyes vigentes al respecto "Ley de fomento de industrias nuevas y necesarias", favorecen la implantación de ciertas industrias básicas, pero no prohíben otras que son inadecuadas a el desarrollo social y a la integración industrial y son factores negativos para el progreso nacional, por el despilfarro de recursos que implican.

Así mismo, hemos visto que una de las causas principales de la dependencia y heterogeneidad tecnológica es la compra indiscriminada de tecnologías para un proceso dado, y es en este aspecto donde debemos sentar las bases para disminuir dichos problemas. Debemos aceptar que nuestro país nece-

sita y seguirá necesitando importar tecnología en alguna de sus variantes -know-how, instalación de plantas, etc-, pero debemos procurar adaptarla a nuestras necesidades. Las leyes vigentes al respecto hacen énfasis al monto de regalías, duración y límites de las licencias de tecnología; pero además deben procurar que dichas técnicas incluyan tamaños de plantas y equipos -- adecuados a nuestras necesidades, es decir, técnicas que empleen preferentemente mano de obra cuando esta alternativa sea posible y viable económicamente, que los equipos por ellos requeridos sean sencillos y homogéneos según las ramas industriales a las que vayan a ser destinados con el fin de tener la factibilidad de producirlos localmente en un momento dado. Obviamente que estos equipos producidos localmente serán de diferentes capacidades, pero sí podrían ser normalizados en su diseño; de esta forma se facilitarían la labor de asimilación de los técnicos locales y los problemas de -- mantenimiento serían menores que los del equipo heterogéneo actualmente usado.

En los convenios de tecnología deben incluirse cláusulas destinadas a permitir la producción local de tantas partes y refacciones del equipo importado como sea posible. Esta medida podría verse favorecida mediante la -- implantación de estímulos fiscales destinados a promover la instalación de un sector productor de partes y refacciones de equipo de proceso, industria para la que ya existe el acervo y la capacidad tecnológica suficiente para desarrollarse adecuadamente.

Las medidas anteriores permitirían conformar paulatinamente un sector nacional productor de bienes de capital; obviamente, este sector se desarrollaría a partir de equipos de tecnología y diseño sencillos, susceptibles a ser normalizados en lo que a su diseño se refiere, y en algunos casos podría normalizarse su capacidad.

El sector público por la magnitud de las empresas que maneja y por las repercusiones que tiene sobre las privadas debe participar activamente en la formación y dirección del sector productor de bienes de capital. Así mismo sus empresas deberán constituirse en mercados cautivos de los equipos -- producidos localmente. Por ello debe cuidarse que los equipos producidos localmente llenen los requisitos de calidad en forma similar a los actualmente importados.

Ninguna medida tributaria o de planificación gubernamental destinada a desarrollar un sector productor de bienes de capital sería adecuada si no se fomenta en forma coordinada con la investigación tecnológica en área tales como:

- a) Formación de personal técnico en cada una de las ramas de la industria y a niveles tales que les permitan operar, seleccionar, adaptar y en última instancia diseñar y fabricar equipo para proceso,
- b) inventario de los factores productivos del país tales como: materias primas disponibles, personal capacitado, potencial de producción de cada una de las ramas industriales, etc. ,
- c) adaptación de los procesos y equipos a las necesidades reales del país, y
- d) el desarrollo de tecnología propia, dando énfasis al aprovechamiento integral de la mano de obra y recursos disponibles en el país.

Los factores y lineamientos antes mencionados se abocarán a eliminar la presencia de la heterogeneidad tecnológica y sentarán las bases para la instalación del sector productor de bienes de capital.

El análisis realizado muestra claramente como es y en que consiste la heterogeneidad tecnológica dentro de los procesos de fabricación de fertilizantes.

El sector público por la magnitud de las empresas que maneja y por las repercusiones que tiene sobre las privadas debe participar activamente en la formación y dirección del sector productor de bienes de capital. Así mismo sus empresas deberán constituirse en mercados cautivos de los equipos -- producidos localmente. Por ello debe cuidarse que los equipos producidos localmente llenen los requisitos de calidad en forma similar a los actualmente importados.

Ninguna medida tributaria o de planificación gubernamental destinada a desarrollar un sector productor de bienes de capital sería adecuada si no se fomenta en forma coordinada con la investigación tecnológica en áreas tales como:

- a) Formación de personal técnico en cada una de las ramas de la industria y a niveles tales que les permitan operar, seleccionar, adaptar y en última instancia diseñar y fabricar equipo para proceso,
- b) inventario de los factores productivos del país tales como: materias primas disponibles, personal capacitado, potencial de producción de cada una de las ramas industriales, etc. ,
- c) adaptación de los procesos y equipos a las necesidades reales del país, y
- d) el desarrollo de tecnología propia, dando énfasis al aprovechamiento integral de la mano de obra y recursos disponibles en el país.

Los factores y lineamientos antes mencionados se abocarán a eliminar la presencia de la heterogeneidad tecnológica y sentarán las bases para la instalación del sector productor de bienes de capital.

El análisis realizado muestra claramente como es y en que consiste la heterogeneidad tecnológica dentro de los procesos de fabricación de fertilizantes.

No se pudo profundizar más en el estudio para vislumbrar la posibilidad técnica de normalizar los equipos analizados debido a los impedimentos antes mencionados, por lo cual recomendamos que en trabajos posteriores sobre el mismo fenómeno se analice primordialmente una operación básica dentro de varias industrias pertenecientes a diferentes ramas industriales; al hacerlo de esta manera se tendría una gama más amplia de equipos para una misma operación básica, lo que proporcionaría un panorama más amplio para realizar una posible normalización.