



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE
INGENIERÍA QUÍMICA

ACIDO SULFÚRICO COMO PRECURSOR DE FERTILIZANTES Y LA IMPORTANCIA
DE SUS INTERACCIONES QUÍMICAS PARA SUS APLICACIONES EN LA
INDUSTRIA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
ANDREI RAÚL GARIBAY VALADEZ

DIRECTORA DE TESIS:
ING. CONSUELO MATIAS GARDUÑO



CIUDAD DE MÉXICO 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Jurado asignado:

- 1.- I.Q. Consuelo Matías Garduño.
- 2.- I.Q. Genaro Altamirano García
- 3.- I.Q. Cresenciano Echevarrieta Albiter.
- 4.- I.Q. Francisco Javier Mandujano Ortiz.
- 5.- María Alejandra Valentan González.

Lugar donde se realizó la tesis: Ciudad de México

Tutor de tesis
I.Q. Consuelo Matías Garduño.

Firma

Agradecimientos:

Quisiera dedicar la finalización de esta Tesis a todas aquellas personas que me han acompañado y facilitado su apoyo, consejo y ánimo a lo largo de este proceso, sin las cuales no hubiera sido posible lograr este objetivo.

Un agradecimiento especial a mis padres, Roberto Garibay Jiménez y Alejandra Valadez Canela, por su eterna entrega y capacidad para mantener la ilusión por una meta alcanzable y porque han sido una indudable referencia y guía durante estos años.

A mi familia Roberto Garibay Jiménez, Alejandra Valadez Canela, Nadin Itzel Garibay Valadez por su cariño y apoyo en todos los momentos, en especial a mis padres a quienes les debo mi trabajo por su inmenso esfuerzo, por su dedicación y por no desanimarse nunca conmigo.

A mi novia por darme motivos poder acabar con satisfacción mi tesis ante tanto esfuerzo y dedicación durante toda la carrera para convertirme en ingeniero químico que soñé ser.

Deseo agradecer a mi directora de tesis, Ing. Consuelo Matías Garduño, no sólo por ofrecerme sus valiosos conocimientos y experiencia profesional, sino también por animarme y alentarme en cada una de las fases de la investigación, en especial cuando más lo requería. Siempre le estaré agradecido. Hago extensivos estos agradecimientos a los miembros de mi comité tutor y a los miembros del jurado por ayudarme y orientarme en el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

¡Gracias!

"Se puede vivir dos meses sin comida y dos semanas sin agua, pero sólo se puede vivir unos minutos sin aire. La tierra no es una herencia de nuestros padres, sino un préstamo de nuestros hijos. El amor es la fuerza más grande del universo, y si en el planeta hay un caos medioambiental es también porque falta amor por él. Hay suficiente en el mundo para cubrir las necesidades de todos los hombres, pero no para satisfacer su codicia. "

Mahatma Gandhi

Ácido sulfúrico como precursor de fertilizantes y la importancia de sus interacciones químicas para su aplicación en la industria.

Índice	pág.
Caratula.....	1
Agradecimiento.....	3
Índice.....	5
Capítulo 1.....	7
1.1 Introducción.....	8
1.2- Antecedentes.....	9
1.3 Objetivo general.....	11
1.4 Objetivo específico.....	12
1.5 Hipótesis.....	12
1.6 marco conceptual.....	12
1.6.1 Concepto de ácido sulfúrico.....	1
1.6.2 Propiedades físicas y químicas de ácido sulfúrico.....	11
1.6.3 Producción de ácido sulfúrico.....	12
1.6.4 Métodos para la producción de ácido sulfúrico.....	15
1.6.5 Descripción del proceso	21
1.6.6 Puntos de control de proceso	24
1.6.7 Equipos de proceso.....	25
1.6.8 Sistema de gestión de calidad.....	27
1.6.9 Impacto ambiental y efecto en la salud.....	29
1.7.0 Usos y Aplicaciones de ácido sulfúrico.....	33
Capítulo 2.....	36
2.1 ¿Qué es un fertilizante.....	37

2.1.1 Fertilidad en el suelo.....	39
2.1.2 Principales tipos de diagnóstico para la fertilidad del suelo.....	39
2.2 Principales constituyentes de los fertilizantes.....	40
2.3 Características de algunos fertilizantes nitrogenados sólidos.....	41
2.4 Propiedades químicas de los fertilizantes.....	43
2.5 Tipos de fertilizantes.....	43
2.6 Recomendaciones necesarias para evitar los procesos de degradación ambiental.....	46
2.7 Determinación de la concentración del ácido sulfúrico.....	49
2.8 Determinación de la concentración del hidróxido de amonio.....	49
2.8.1 Sulfato de amonio, obtención y usos.....	50
2.8.2 Obtención de sulfato de amonio.....	50
2.8.3 Reacción de neutralización.....	51
2.8.4 Calor de reacción.....	52
2.8.5 Evaporación.....	53
2.8.6 Variación del punto de ebullición.....	54
Capítulo 3.....	55
3.1 Riqueza o concentración de los abonos o fertilizantes NPK.....	56
Capítulo 4.....	60
4.1 Descripción general del proceso.....	61
4.2 Diagrama de flujo de procesos (DFP).....	62
4.3 Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI).....	63
4.4 Balance de masa y energía.....	64
4.5 Tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico.....	67
4.6 Tipos de equipos de almacenamiento.....	68
4.7 Conclusiones.....	70
Anexos.....	71
Normas oficiales Mexicanas para la determinación de ácido sulfúrico en el aire.....	71
Normas mexicanas para la utilización de ácido sulfúrico al 98 %.....	76
Glosario.....	77
Tabla de ficha técnica de ácido sulfúrico.....	79
Bibliografía.....	85

Capítulo 1

1.1 Introducción

El Ácido Sulfúrico puro, de fórmula H_2SO_4 , a temperatura ambiente es un líquido incoloro, inodoro, muy corrosivo y de gran viscosidad. El Ácido Sulfúrico es el ácido mineral de uso más frecuente en la industria, y su consumo se utiliza como indicador del grado de industrialización de un país.

Es un líquido corrosivo, de gran viscosidad, incoloro y con una densidad relativa de 1.85. Tiene un punto de fusión de $10.36^\circ C$, un punto de ebullición de $340^\circ C$ y es soluble en agua en cualquier proporción

Al mezclar ácido sulfúrico con agua se libera una considerable cantidad de calor. A menos que la mezcla se agite bien, el agua añadida puede calentarse más allá de su punto de ebullición y la formación repentina de calor puede hacer saltar el ácido fuera del recipiente.

La producción de ácido sulfúrico (H_2SO_4) involucra la generación de dióxido de azufre (SO_2), la oxidación de este a trióxido de azufre (SO_3), y la hidratación de esta sustancia para la formación de ácido.

1. Proceso de cámara de plomo.
2. Proceso por el método de contacto.
3. Proceso de gas-húmedo de recuperación de ácido sulfúrico a partir de disoluciones agotadas.

El primer método de producción involucra la reducción de dióxido de nitrógeno (NO_2) a óxido de nitrógeno como el mecanismo de oxidación a seguir para convertir el SO_2 en SO_3 .

El segundo método, emplea un catalizador (pentóxido de vanadio) (V_2O_5) para oxidar el dióxido a trióxido de azufre, siendo este el más moderno y por lo tanto el más comúnmente usado en la manufactura de dicho ácido.

El tercer proceso, consiste en quemar corrientes de ácido sulfúrico y de soluciones agotadas de ácido sulfúrico del 20 al 65% en eso para la producción de dióxido de azufre, y una vez elaborado y purificado seguir con el método anterior para la producción del H_2SO_4 por lo que el ácido sulfúrico es de gran importancia para a la elaboración de productos con un alto valor agregado y que por esto de acuerdo a la producción anual, de este se pueda medir el grado de industrialización del país.

El ácido concentrado destruye la piel y la carne, y puede causar ceguera si se introduce en los ojos. El mejor tratamiento en caso de accidente es eliminar el ácido con grandes cantidades de agua. El ácido sulfúrico ha sido muy importante comercialmente durante muchos años.

Los antiguos alquimistas lo preparaban en grandes cantidades calentando sulfatos existentes en la naturaleza a altas temperaturas y disolviendo en agua el trióxido de azufre obtenido de esta forma. En el siglo XV, se desarrolló un método para obtener el ácido, destilando sulfato ferroso hidratado con arena.

En 1740 empezó a producirse el ácido a escala comercial quemando azufre y nitrato de potasio en un caldero suspendido en un gran globo de cristal, cubierto parcialmente de agua.

La industria que más utiliza el ácido sulfúrico es la de los fertilizantes. Otras aplicaciones importantes se encuentran en la refinación del petróleo, producción de pigmentos, tratamiento del acero, extracción de metales no ferrosos, manufactura de explosivos, detergentes, plásticos y fibras. En muchos casos el ácido sulfúrico funge como una materia prima indirecta y pocas veces aparece en el producto final.

En el caso de la industria de los fertilizantes, la mayor parte del ácido sulfúrico se utiliza en la producción del ácido fosfórico, que a su vez, se utiliza para fabricar materiales fertilizantes como el superfosfato triple y los fosfatos de mono y diamonio. Cantidades más pequeñas se utilizan para producir superfosfatos y sulfato de amonio. Alrededor del 60% de la producción total de ácido sulfúrico se utiliza en la manufactura de fertilizantes.

Cantidades substanciales de ácido sulfúrico también se utilizan como medio de reacción en procesos químicos orgánicos y petroquímicos, involucrando reacciones como nitraciones, condensaciones y deshidrataciones. En la industria petroquímica se utiliza para la refinación, alquilación y purificación de destilados de crudo.

En la industria química inorgánica, el ácido sulfúrico se utiliza en la producción de pigmentos de dióxido de titanio, ácido hidroclicórico y ácido hidroflicórico.

Entre las técnicas para aumentar la producción de los cultivos se encuentra la fertilización. Los fertilizantes nos permiten restituir a los suelos los elementos nutritivos que las plantas extraen, o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión, poniendo a disposición de los cultivos los nutrientes que precisan en cada momento. Los ensayos a largo plazo demuestran claramente la acción de fertilizantes sobre la productividad de los cultivos. Sin embargo, para conseguir su máxima eficiencia, la fertilización debe formar parte de un conjunto integrado de prácticas.

Los elementos nutritivos que principalmente son aportados por estas técnicas son el nitrógeno, fósforo y potasio. En la figura 2 se muestran una comparativa de estos elementos nutritivos.

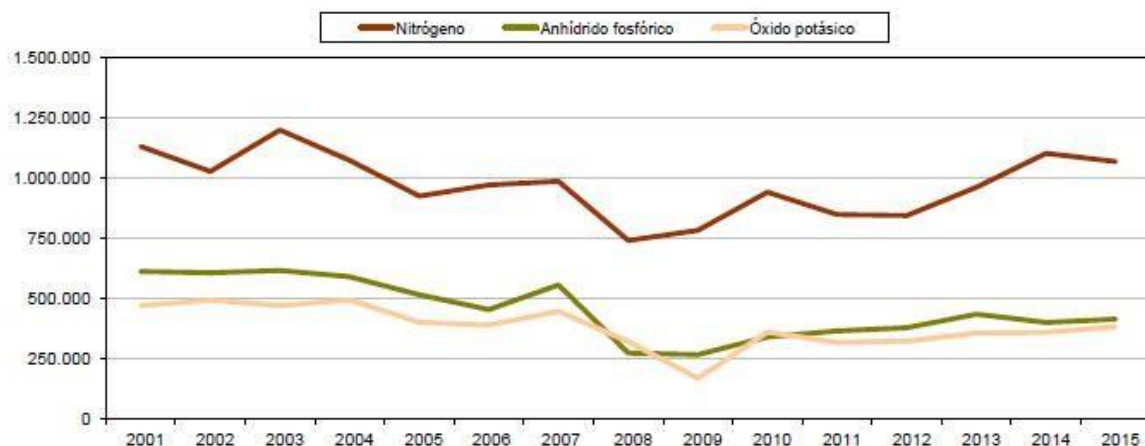


Figura 2. Comparativa de la evolución de consumo agrícola de N, P₂O₆ y K₂O en fertilizantes; toneladas (Anuario de estadística, 2015)

El nitrógeno es considerado como el nutriente más importante para la producción vegetal debido a las cantidades requeridas por los cultivos y a la frecuencia con que se observan deficiencias en suelos agrícolas. Por lo tanto, la agricultura de alto rendimiento depende del uso de fertilizantes nitrogenados. A su vez es un elemento altamente móvil y por ellos se desplaza fácilmente por los distintos compartimentos ambientales: suelo, agua y atmosfera, por lo que el diagnostico de las necesidades de nitrógeno de los cultivos para alcanzar el rendimiento debe estar sujeto a criterios no solo económicos sino de prevención de la contaminación ambiental y su repercusión sobre la salud (ministerio de medio ambiente y medio rural, 2009).

1.2 Antecedentes

Debido a que el Ácido sulfúrico es usado como materia prima básica en infinidad de procesos industriales, las plantas para la producción de este ácido se encuentran a través de todo el país formando parte de complejos industriales como son entre otros:

Fertimex, S.A.
Univex, S.A.

Básicamente la producción de ácido sulfúrico (H₂SO₄) involucra la generación de dióxido de azufre (SO₂) la oxidación de este a trióxido de azufre (SO₃), y la hidratación de esta sustancia para la formación del ácido. Siendo los procesos de producción principales los siguientes:

- 1) Procesos de cámara de plomo.
- 2) 2) Proceso por el método de contacto.
- 3) Proceso de gas-húmedo o de recuperación de ácido sulfúrico a partir de soluciones agotadas.

-Es uno de los procesos industriales más antiguos. Descubierta por alquimistas persas en el siglo X

- NaNO_3 y azufre eran mezclados en un recipiente de vidrio y quemados en una atmósfera húmeda. El ácido era recolectado de los vapores condensados.

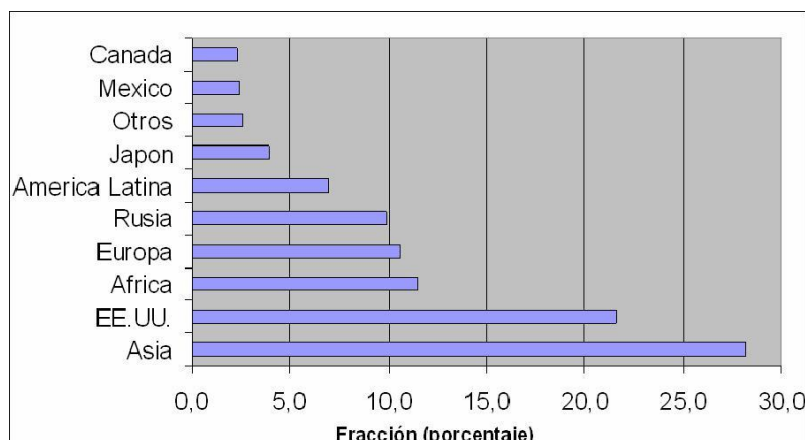
-En Inglaterra, 1746, El reactor de cámara de plomo fue desarrollado. Esta invención permitió obtener una mayor conversión (<78%).

-En Inglaterra, 1831, una patente fue llenada que describía la oxidación de dióxido de azufre sobre catalizador de platino, el Proceso de Contacto. Este nuevo proceso incremento el rendimiento de la reacción de 70 hasta un 95%.

-En 1913 fue otorgada una patente a BASF para el uso de pentóxido de vanadio como catalizador en el proceso de contacto.

-Para 1930 el V_2O_5 se había convertido en el catalizador dominante para el proceso de contacto usado debido a la insensibilidad al envenenamiento y menor costo.

-En 1960 una aplicación de patente fue llenada por Bayer usando el proceso llamado de “doble catalizador” (absorción doble).



1.3 Objetivo General

Análisis de una propuesta de producción de ácido sulfúrico para fertilizantes de manera sustentable.

El objetivo principal es revisar los efectos que provocan la utilización de los fertilizantes nitrogenados sobre la salud y el medio ambiente y las estrategias que permitan elaborar recomendaciones de uso para evitar procesos de degradación ambiental.

1.4 Objetivos particulares

- Estudio de producción de ácido sulfúrico a nivel técnico.
- Estudio de los diferentes tipos de fertilizantes.
- Análisis de los métodos de producción de ácido sulfúrico.
- Revisar el papel del suelo en la retención y movilización de compuestos nitrogenados, ya que, gran parte del ciclo del nitrógeno transcurre través de él, por lo que pueden verse afectados otros sistemas naturales como el agua y la atmósfera.
- Revisar los principales problemas que ocasionan los compuestos nitrogenados sobre la salud. Marco regulatorio.
- Establecer recomendaciones necesarias en el uso de fertilizantes nitrogenados para evitar los procesos de degradación ambiental

1.5 Hipótesis

Para la producción de ácido sulfúrico H_2SO_4 se desarrollan mecanismo de evaluación a partir de los diferentes métodos para seleccionar el mejor proceso factible técnico y ambiental para la producción de fertilizantes.

1.6 Marco conceptual

1.6.1 Concepto de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo. Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos.

El ácido sulfúrico se encuentra disponible comercialmente en un gran número de concentraciones y grados de pureza. Existen dos procesos principales para la producción de ácido sulfúrico, el método de cámaras de plomo y el proceso de contacto. El proceso de cámaras de plomo es el más antiguo consumido en la fabricación de fertilizantes. Este método produce un ácido relativamente diluido (62-78% H_2SO_4). El proceso de contacto produce un ácido más puro y concentrado, que requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos.

1.6.2 Propiedades físicas y químicas de ácido sulfúrico

Propiedades químicas

El ácido es un ácido mineral fuerte y un oxidante fuerte. Se disocia en agua de acuerdo con dos equilibrios:

El primero de ellos a proporciones de aguas bajas y el segundo a proporciones altas: por esta razón el ácido sulfúrico diluido actual como un ácido dibásico. Esta característica acidas hacen que reaccione con metales básicos como el aluminio provocando la generación de hidrogeno y correspondientes sulfatos y bisulfatos metálicos

El ácido sulfúrico concentrado y caliente es una sustancia altamente oxidante y ataca metales preciosos. Ne este mismo estado reaccionan con carbón, fosforo y azufre produciendo dióxido de azufre.

El ácido sulfúrico descompone las sales de muchos otros ácidos lo cual representa una oportunidad industrial en diversos campos como en la producción de sulfato de socio (Na_2SO_4) y cloruro de hidrogeno (HCl) a partir del cloruro de sodio (NaCl), la descomposición de sulfitos a dióxido de azufre y la descomposición de fosfatos de calcio naturales.

Sus características de higroscopicidad se deben a la formación de diferentes hidratos los cuales corresponde al mono hidrato.

1.6.2 Propiedades físicas de ácido sulfúrico

A temperatura ambiente es un líquido corrosivo, es más pesado que el agua e incoloro (a temperatura y presión ambiente). El óleum tiene un olor picante y penetrante.

1 Concentración mayor 98.5% A una temperatura de 15.5°C.

2. Punto de ebullición 338 °C ò 640 °F.

3. Densidad a 20°C: 1.84g/cm.

4. Punto de fusión: -40°C para una concentración de 65.13%.

5: Solubilidad: Soluble en agua, pero reacción violentamente al mezclarse con ella generando valor. Con otros solventes no hay mezcla no hay reacción.

6. Temperatura de descomposición: 340°C.

7. Presión de vapor a 20°C ≤ 0.001 bar.

1.6.3 Producción de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico se encuentra disponible comercialmente en un gran número de concentraciones y grados de pureza. Existen dos procesos principales para la producción de ácido sulfúrico, el método de cámaras de plomo y el proceso de contacto. El proceso de cámaras de plomo es el más antiguo de los dos procesos y es utilizado actualmente para producir gran parte del ácido consumido en la fabricación de fertilizantes. Este método produce un ácido relativamente diluido (62%-78% H₂SO₄). El proceso de contacto produce un ácido más puro y concentrado, pero requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos. En ambos procesos el dióxido de azufre (SO₂) es oxidado y disuelto en agua. El dióxido de azufre es obtenido mediante la incineración azufre, tostando piritas (Bisulfuro de Hierro), tostando otros sulfuros no ferrosos, o mediante la combustión de sulfuro de hidrogeno (H₂S) gaseoso.

Se considera MTD utilizar energía recuperable: vapor, electricidad y agua caliente obtenidos por cogeneración. Los métodos para obtener los intervalos de conversión y los niveles de emisión indicados en la tabla V son contacto doble/ absorción doble, contacto simple / absorción simple, incorporación de un quinto lecho catalítico, utilización de un catalizador dopado con cesio en el cuarto o quinto lecho, paso de la absorción, simple a la absorción doble, procesos por vía húmeda o una combinación de procesos por vía húmeda y seca, control y situación de los convertidores de arco de ladrillo por convertidores de acero inoxidable, la mejora en la depuración del gas crudo (plantas metalúrgicas), la mejora del filtración del aire, por ejemplo mediante una filtración de 2 etapas (combustión del azufre) la mejora del filtración del azufre, por ejemplo con filtros depuradores (combustión del azufre), el mantenimiento de la eficacia de los intercambiadores de calor o de los dispositivos de lavado de los gases de cola.

Tabla V: Eficacia de conversión y niveles de emisión de SO₂ asociados a las MTD en la producción de H₂SO₄

		Medidas diarias	
Tipo de proceso de conversión		Eficacia de conversión ^x	SO ₂ en mg/Nm ³ ^{xx}
Combustión de azufre, contacto doble/ absorción doble	Instalaciones existentes	99,8 – 99,92 %	30 – 680
Otras instalaciones de contacto doble/ absorción doble	Instalaciones nuevas	99,9 – 99,92 %	30 – 340
Otras instalaciones de contacto doble/ absorción doble		99,7 – 99,92 %	200 – 680
Contacto simple/absorción simple			100 – 450

Otras			15 – 170
-------	--	--	----------

- En estas eficacias de conversión se tiene en cuenta la torre de absorción pero no el efecto del lavado de los gases de cola.
- En estos valores podría tenerse en cuenta el efecto del lavado de los gases de cola.

Se considera MTD Controlar constantemente los niveles de SO₂ para determinar la eficacia de conversión y los niveles de emisión de SO₃. Los métodos para conseguir los niveles de emisión de nieblas de SO₃/ H₂SO₄ (véase la tabla VI) son la utilización de azufre con bajo contenido en impurezas(en caso de combustión de azufre), el secado adecuado del gas de entrada y del aire de combustión (únicamente en el caso de los procesos de contacto en seco), la utilización de una zona de condensación más amplia (únicamente en el caso de los procesos de catálisis por vía húmeda), una distribución y una velocidad de circulación de ácido adecuadas la utilización de filtros y bujías de alto rendimiento tras la absorción, el control de la concentración y la temperatura del ácido de absorción a la aplicación de técnicas de recuperación / reducción de emisiones en procesos de vía húmeda, por ejemplo, precipitadores electrostáticos, precipitadores electrostáticos de NO_x así como reciclar los gases residuales del H₂SO₄ producto separándolos para el proceso de contacto.

Tabla VI: Niveles de emisión de SO₃/H₂SO₄ asociados a las MTD en la producción de H₂SO₄

	Nivel de emisión expresado como H₂SO₄
Todos los procesos	10 – 35 mg/Nm ³
Medias anuales	

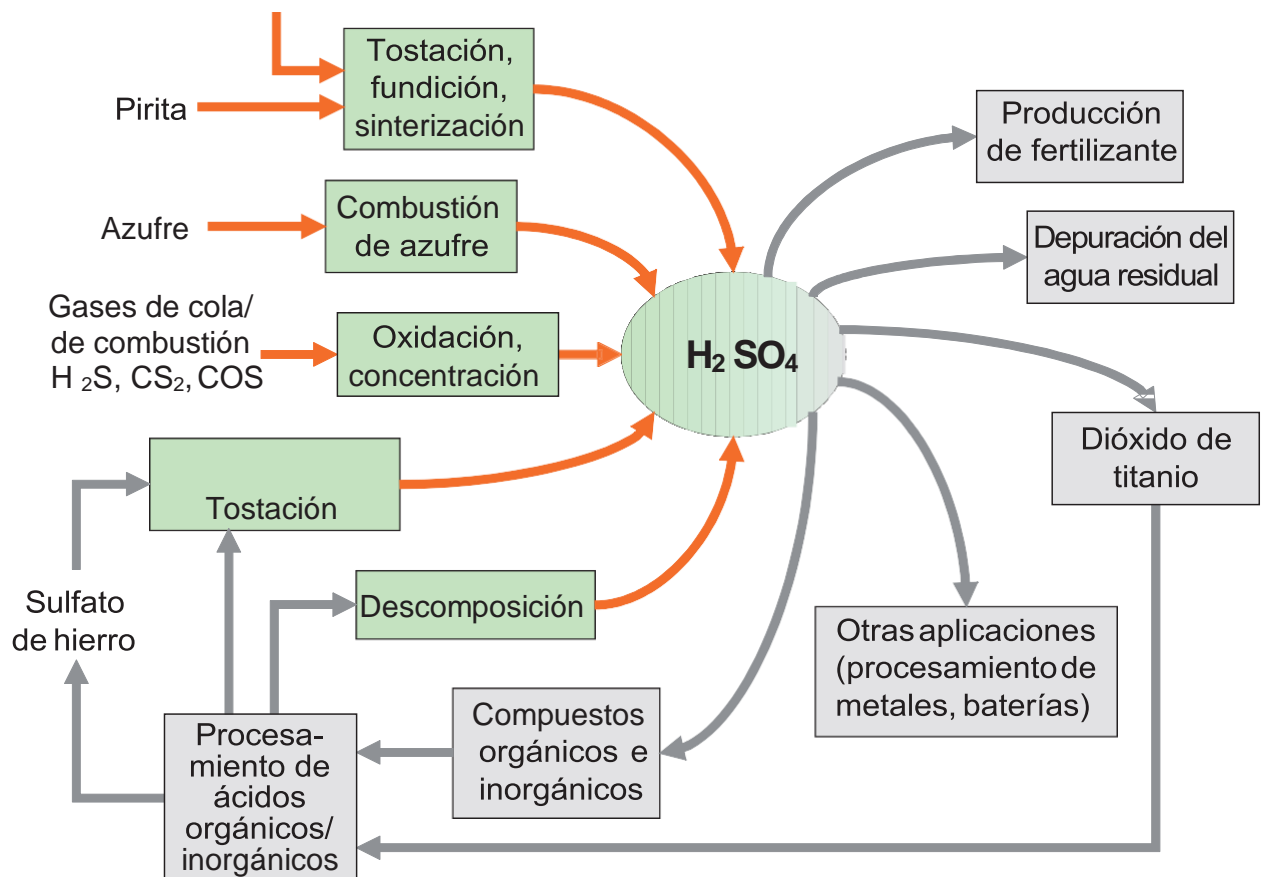


Figura 4.2: Visión general de las principales materias primas, consumidores y ciclos de la economía del H_2SO_4

Al maximizar la formación de SO_3 se tiene en cuenta tanto cuestiones termodinámicas como estequiométricas para optimizar el equilibrio, se debe tener consideración el principio Lechatelier. Baun, según el cual el sistema en equilibrio se ve afectado por una perturbación, el sistema tiende a ajustarse para aliviar parcialmente dicha perturbación. Se considera una perturbación por ejemplo, una variación de la temperatura, la presión o la concentración de un reactivo.

Para maximizar la formación de SO_3 en los sistemas SO_2/SO_3 , se puede aplicar a los siguientes métodos:

- Puesto que se trata de un proceso exotérmico, eliminar el calor para reducir la temperatura puede favorecer la formación de SO_3 ;
- Aumentar la concentración de oxígeno.
- Eliminar el SO_3 (como en los procesos de absorción doble);
- Aumentar la presión-

Características fisicoquímicas del hidróxido de amonio

Es una solución alcalina de amoniaco en agua, tiene un olor sofocante, irritante, es incoloro, inflamable e higroscópico. Es ampliamente comercializado en concentraciones entre 25 y 30% en las cuales ya se encuentra saturado.

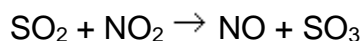
Sin embargo el ion amonio y el amoniaco neutro permanecen en equilibrio en la solución y genera vapores muy irritantes a cualquier concentración.

De hecho el amoniaco se comporta como una base débil de Bronsted- Lowry ya que recibe protones para formar la molécula de hidróxido, mientras el agua se comporta como ácido y cede protones, al disolver el amoniaco en agua debido a los equilibrios químicos además de descomponerse en iones también se presenta como molécula, donde la molécula de amoniaco reacciona con el agua en un comportamiento de Bronsted- Lowry.

1.6.4 Métodos para la producción de ácido sulfúrico

-Método por cámara de plomo

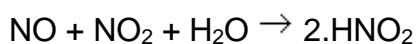
El proceso de cámaras de plomo dióxido de azufre (SO_2) gaseoso caliente entra por la parte inferior de un reactor llamado torre de Glover donde es lavado con vitriolo nitroso (ácido sulfúrico con óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) disueltos en él), y mezclado con óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) gaseosos. Parte de dióxido de azufre es oxidado a tritóxido de azufre (SO_3) y disuelto en el baño ácido para formar el ácido de torre o ácido de Glover (aproximadamente 78% de H_2SO_4).



De la torre de Glover una mezcla de gases (que incluye dióxido y tritóxido de azufre, óxidos de nitrógeno, nitrógeno, oxígeno y vapor) es transferida a una cámara recubierta de plomo donde es tratado con más agua. La cámara puede ser un gran espacio en forma de caja o un recinto con forma de cono truncado.

El ácido sulfúrico es formado por una serie compleja de reacciones; condensa en las paredes y es acumulado en el piso de la cámara. Pueden existir de tres a seis cámaras en serie, donde los gases pasan por cada una de las cámaras en sucesión.

El ácido producido en las cámaras, generalmente llamado ácido de cámara o ácido de fertilizante, contiene de 62% a 68% de H_2SO_4 .



Luego de que los gases pasaron por las cámaras se los hace pasar a un reactor llamado torre de Gay-Lussac donde son lavados con ácido concentrado enfriado (proveniente de la torre de Glover). Los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre que no haya reaccionado se disuelven en el ácido formando el vitriolo nitroso utilizado en la torre de Glover. Los gases remanentes son usualmente liberados en la atmósfera.

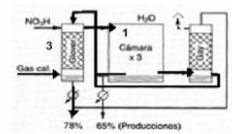
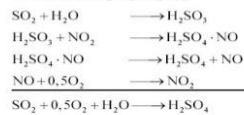
Ácido sulfúrico – Métodos de Obtención I

- Método de las cámaras de plomo

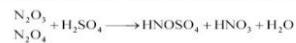


Cámaras de plomo (Siglo XVIII)

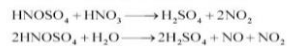
1. CAMARA: Entran gases $\text{SO}_2 + \text{HNO}_3$ + vapores $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Oxidación de H_2SO_3 a H_2SO_4



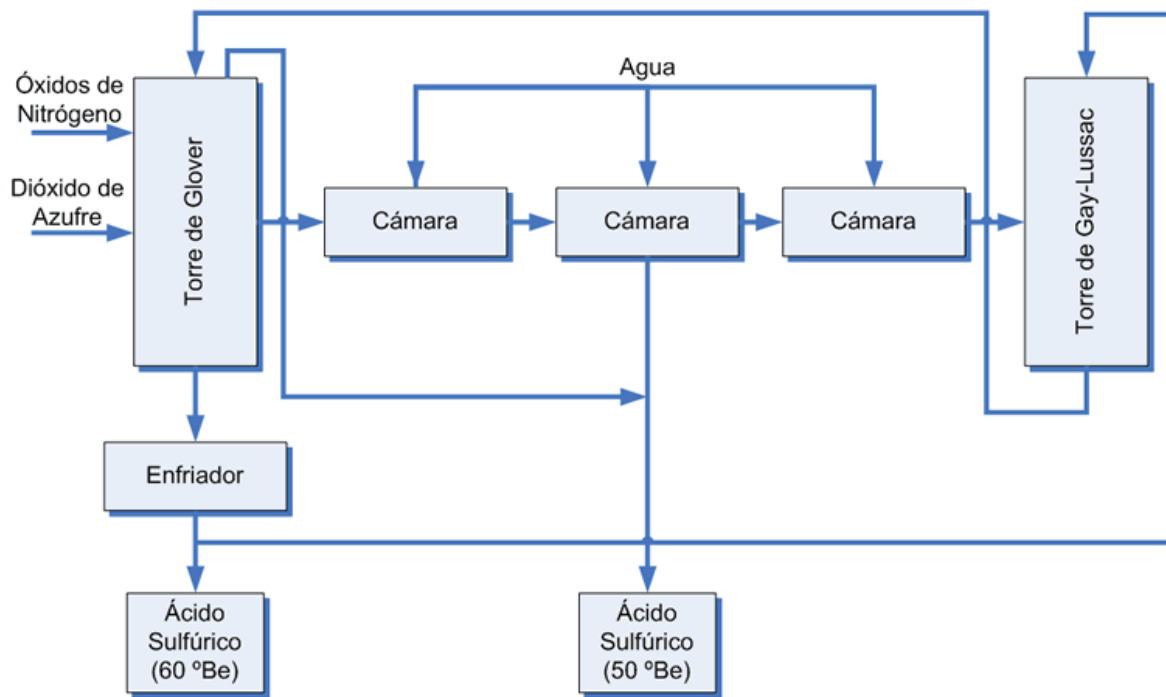
2. TORRE DE GAY-LUSSAC: Absorción de vapores nitrosos que salen de la cámara



3. TORRE DE GLOVER: Enfriamiento de gases, concentración de ácido y desnitrificación del ácido



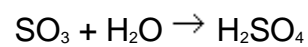
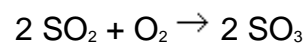
La reacción se lleva a cabo en grandes torres de ladrillos recubiertas de plomo. En estas torres, reaccionan dióxido de azufre gaseoso, aire, vapor de agua y óxidos de nitrógeno, produciendo ácido sulfúrico en forma de gotas finas que caen al suelo de la cámara. Casi todos los óxidos de nitrógeno se recuperan del gas que sale y se vuelven a introducir en la cámara para ser utilizados de nuevo. El ácido sulfúrico producido de esta forma, y el ácido etiquetado, sólo contienen de un 62 a un 70% de H_2SO_4 ; el resto es agua. Actualmente, casi un 20% del ácido sulfúrico se produce por el método de las cámaras de plomo, pero este porcentaje está disminuyendo.

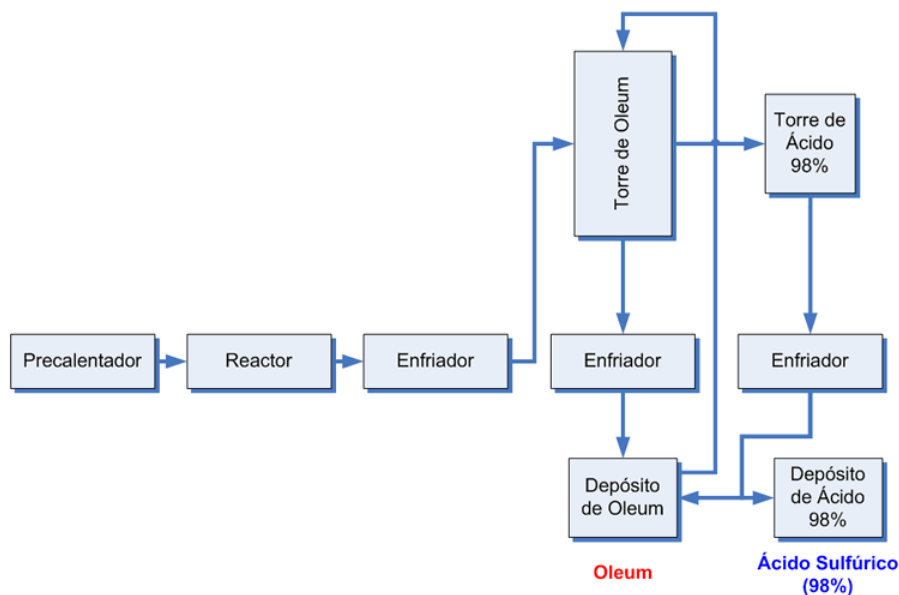


Método de contacto

El segundo método de obtención, el método de contacto, que empezó a usarse comercialmente alrededor de 1900, se basa en la oxidación del dióxido de azufre a trióxido de azufre, SO_3 , bajo la influencia de un catalizador.

El proceso se basa en el empleo de un catalizador para convertir el SO_2 en SO_3 , del que se obtiene ácido sulfúrico por hidratación.





En este proceso, una mezcla de gases secos que contiene del 7 al 10% de SO_2 , según la fuente de producción de SO_2 (el valor inferior corresponde a plantas que tuestan piritas y el superior a las que queman azufre), y de un 11 a 14% de O_2 , se precalienta y una vez depurada al máximo, pasa a un convertidor de uno o más lechos catalíticos, por regla general de platino o pentóxido de vanadio, donde se forma el SO_3 . Se suelen emplear dos o más convertidores.

Los rendimientos de conversión del SO_2 a SO_3 en una planta en funcionamiento normal oscilan entre el 96 y 97%, pues la eficacia inicial del 98% se reduce con el paso del tiempo. Este efecto de reducciones se ve más acusado en las plantas donde se utilizan piritas de partida con un alto contenido de arsénico, que no se elimina totalmente y acompaña a los gases que se someten a catálisis, provocando el envenenamiento del catalizador. Por consiguiente, en ocasiones, el rendimiento puede descender hasta alcanzar valores próximos al 95%.

En el segundo convertidor, la temperatura varía entre 500° y 600°C . Esta se selecciona para obtener una constante óptima de equilibrio con una conversión máxima a un coste mínimo. El tiempo de residencia de los gases en el convertidor es aproximadamente de 2-4 segundos.

Los gases procedentes de la catálisis se enfrían a unos 100°C aproximadamente y atraviesan una torre de óleum, para lograr la absorción parcial de SO_3 . Los gases residuales atraviesan una segunda torre, donde el SO_3 restante se lava con ácido sulfúrico de 98%. Por último, los gases no absorbidos se descargan a la atmósfera a través de una chimenea.

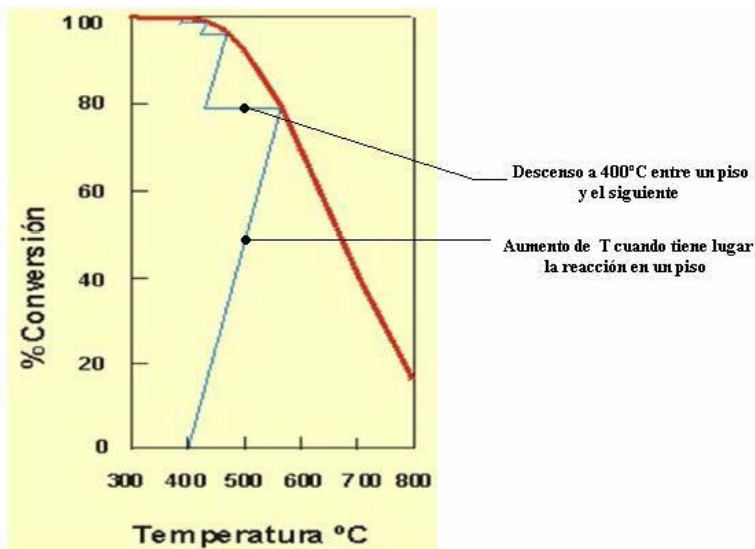
Existe una marcada diferencia entre la fabricación del SO_2 por combustión del azufre y por tostación de piritas, sobre todo si son arsenicales. El polvo producido en el proceso de tostación nunca puede eliminarse en su totalidad y, junto con las impurezas, principalmente arsénico y antimonio, influye sensiblemente sobre el rendimiento general de la planta.

La producción de ácido sulfúrico por combustión de azufre elemental presenta un mejor balance energético pues no tiene que ajustarse a los sistemas de depuración tan rígidos forzosamente necesarios en las plantas de tostación de piritas.

El platino finamente dividido, que es el catalizador más eficaz, tiene dos desventajas: es muy caro y además, ciertas impurezas existentes en el dióxido de azufre ordinario lo 'envenenan' y reducen su actividad

Muchos productores de ácido sulfúrico utilizan dos catalizadores: primero, uno más resistente aunque menos efectivo, como el óxido de hierro o el óxido de vanadio, que inician la reacción, y a continuación, una cantidad menor de platino para terminar el proceso. A 400 °C, la conversión de dióxido a trióxido de azufre es casi completa.

En este caso se sigue una catálisis heterogénea, porque de los reactivos. La catálisis se utiliza en la reacción de

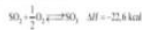


Ácido sulfúrico – Métodos de Obtención II

• Método de Contacto

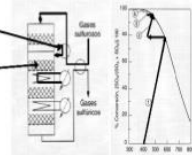
1. Depuración de los gases Envenenan el catalizador
Cotón y lavado con H₂SO₄ 94-98%

2. Catálisis



Se opera en etapas, enfriando los gases de una etapa a otra.

Catalizador de V₂O₅ sobre zeolitas

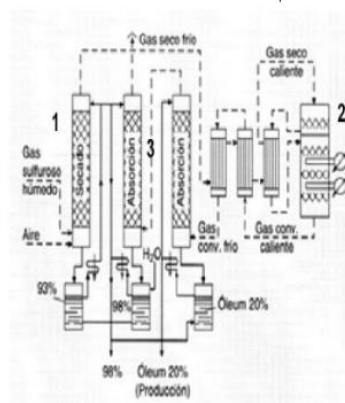


3. Absorción



Reacción exotérmica y lenta

- Se forman nieblas
- En lugar de H₂O, se absorbe con H₂SO₄ concentrado del 98%
 - Equipos de contacto gas-líquido
 - Columnas de relleno



Se trata de una reacción muy exotérmica, en la que podemos comprobar que hay menos moles de productos que de reactivos en estado gaseoso.

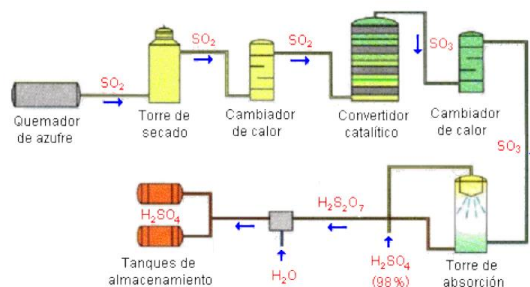
Por ello, debido a que se establece un equilibrio químico en donde reactivos y productos alcanzan una situación en la que no produce modificación en sus concentraciones, es necesario que este equilibrio esté lo más desplazado hacia la formación de SO_3 , que es el producto que nos interesa. Para conseguir esta alternativa tenemos tres alternativas según el principio de Le Chatelier:

Aumentar la concentración de los reactivos: La concentración de SO_2 viene impuesta por el proceso de tostación, y no suele ser una variable que pueda modificarse a nuestras necesidades. Otra alternativa es utilizar aire atmosférico enriquecido en O_2 , pero no es una opción viable desde el punto de vista económico.

Aumentar la presión a la que tiene lugar la reacción, para lo cual sería necesario manejar compresores que encarecerían el proceso.

Disminuir la temperatura. Desde un punto de vista termodinámico sería lo mejor, pero no ocurriría lo mismo con la cinética (la velocidad a la que ocurre la reacción, que suele ser proporcional a la temperatura).

Por ello, la opción de la catálisis parece ser la óptima. Estos catalizadores suelen ser sólidos y entre ellos ocupa un lugar especial el V_2O_5 (óxido de vanadio (V)). Para este proceso, los catalizadores presentan su mayor actividad a una temperatura de 400°C .



1.6.5 Descripción del proceso

Etapa 1: Recepción y pretratamiento.

El azufre en estado líquido, transportado hasta la planta en camiones cisterna, se calienta de forma indirecta con vapor con el objeto de asegurar su permanencia en este estado y evitar que partículas solidificadas durante el transporte interrumpen o dificulten su tratamiento.

El azufre se aloja provisionalmente en un foso cubierto donde se localizan bombas sumergidas que lo transportan hasta los tanques de almacenamiento (T151A y T151B), desde los que se transporta a 138°C hasta el reactor (R101), pulverizándolo a su entrada con una boquilla en spray.

Al mismo tiempo, una corriente de aire a 27°C es filtrada y llevada hasta una columna de secado (C101) por la que se conduce ácido sulfúrico al 98.5% en peso y a 77°C, siendo introducido mediante boquillas en spray que lo distribuyen de manera uniforme. A la salida de la columna, el aire se encuentra a 77°C y el ácido, que presenta una concentración del 98% en peso, a 80°C.

Este aire saliente pasa al compresor K101 a 3 kPa, saliendo a 41.1 kPa y 116°C. Después, el aire de salida del compresor se divide en dos corrientes. La primera pasa al intercambiador inicial (E114), de tubos y carcasa, por la que se hacen circular los gases de la combustión del gas natural almacenado en el V101 y que cuentan con unas temperaturas de entrada y salida de 1326.7°C y 204.5°C, respectivamente. Allí alcanza una temperatura de 424°C y se conduce hasta el reactor catalítico (R102). La segunda corriente de aire procedente del compresor K101 vuelve a entrar en el reactor (R101).

Etapa 2: Oxidación del azufre.

En el reactor R101 se desarrolla la siguiente reacción:

Reacción

A la salida del reactor, un gas, con una concentración de dióxido de azufre del 12% en mol, a 1189°C y 41 kPa, se introduce en el intercambiador E101, por cuya carcasa circula agua derivada de los intercambiadores E105 y E107, generándose un vapor saturado de 4.1 MPa. Esta mezcla de gases sale del intercambiador a 420°C y 37 kPa.

Etapa 3: Oxidación catalítica del dióxido de azufre.

Reacción

El gas procedente del intercambiador E101 se introduce en el primer lecho del reactor catalítico R102, que cuenta con un total de cinco operando adiabáticamente y en los que se produce la siguiente reacción:

Se opera siguiendo una configuración 3 + 2, según la cual, en la primera fase, el dióxido de azufre circula por tres lechos catalíticos en los que se realiza la primera adsorción, y, con posterioridad, pasa por los dos lechos restantes en los que tiene lugar la segunda adsorción, completándose el ciclo.

En el primer lecho la reacción alcanza un rendimiento del 60% aproximadamente. La mezcla de gases sale de este lecho a 615°C y circula a través de los tubos del E102, por cuya carcasa se direcciona parte del vapor saturado generado en el E101, produciéndose un vapor sobrecalentado a 399°C y 4.05 MPa. La corriente sale del E102 a 450°C y pasa al segundo lecho, en el que el rendimiento de la reacción alcanza el 84%, con una temperatura de salida de 530°C. Esta corriente se hace pasar tanto por los tubos como por la carcasa del intercambiador E103, reduciendo su temperatura hasta los 435°C. Estos gases de salida se conducen hacia el tercer lecho del R102, alcanzando un rendimiento acumulado del 93% y contando con una temperatura de salida de 465°C. Esta corriente se hace pasar por el intercambiador E104 de forma idéntica que en el paso anterior, reduciéndose su temperatura hasta los 292°C, dirigiéndose, a continuación, hacia el intercambiador E105 que, operando con agua de calderas, reduce la temperatura del gas hasta los 175°C.

Etapa 4: Primera adsorción.

La corriente que abandona el intercambiador E105 se hace circular por la columna de relleno C102, a la que se introduce ácido sulfúrico concentrado al 98.5% en peso a una temperatura de 71°C, adsorbiéndose el trióxido de azufre según la siguiente reacción:

Esta corriente de ácido concentrado sale por el fondo de la misma con una concentración del 99.3% en peso y a 23°C, alimentando el tanque T102.

Por su parte, la corriente gaseosa se conduce hacia un desnebulizador en la misma columna C102, saliendo de la misma a 71°C. Esta corriente, libre en apariencia de SO₃, se conduce por la carcasa del intercambiador E104 y, acto seguido, por la del E103, alcanzando una temperatura de salida de 435°C.

Posteriormente, pasa al cuarto lecho, en el que se alcanza el 98.6% de rendimiento y una temperatura de 460°C. La corriente de salida se enfría hasta los 425°C en el intercambiador E106, produciéndose vapor sobrecalentado a partir del procedente en el E101. El gas es conducido por última vez al reactor, hasta el quinto lecho, en el que el rendimiento acumulado final de la reacción es del 99.7%. La corriente de salida, que se encuentra a 430°C, se enfría hasta los 163°C en el intercambiador E107.

Etapa 5: Segunda adsorción.

La corriente procedente del E107 se pasa a la columna C103, por la que circula ácido sulfúrico concentrado al 98.5% en peso a 77°C, produciéndose la segunda adsorción de trióxido de azufre. El ácido generado sale de la columna por el fondo con una concentración del 98.7% en peso y a 97°C, liberándose la corriente gaseosa a la atmósfera, previo paso por un desnebulizador.

Etapa 6: Dilución del ácido sulfúrico.

En el tanque T102 se produce la mezcla de las corrientes líquidas provenientes de las columnas C101 y C102. A dicho tanque se añade agua para diluir la mezcla hasta una concentración de 98.5% en peso conforme a la siguiente reacción:

En dicho tanque de mezcla hay dos bombas sumergidas que bombean el ácido a los intercambiadores E108 y E109, para, después, conducir las corrientes a las columnas C101 y C102.

Por su parte, el efluente líquido producido en la columna C103 se transporta hasta el tanque T103, en el que se diluye con agua hasta una concentración del 98.5% en peso. De allí es derivado, mediante una bomba sumergida, hasta los intercambiadores E110 y E111. Tras esto, se conduce la corriente hasta la columna C103.

Etapa 7: Almacenamiento.

Al final del proceso se obtienen dos corrientes: una que sale del T102 y otra que sale del T103, mezclándose ambas en el intercambiador E112, donde se reduce su temperatura hasta los 43°C y se almacena en los tanques T155A y T155B.

1.6.6 Puntos de control del proceso.

PUNTOS DE CONTROL DEL PROCESO		CÓDIGO: FR-P-13-01	
		FECHA: dd/mm/aaaa	
		REVISIÓN: N° X	
Equipo	Punto de control	Tipo	Medición
C101	Entrada a C101	Revisión	Temperatura y concentración
	Salida de C101	Verificación	Temperatura y concentración
C102	Entrada a C102	Revisión	Temperatura y concentración
	Salida de C102	Verificación	Temperatura y concentración
E101	Salida de E101	Verificación	Temperatura y presión
E102	Entrada a E102	Revisión	Temperatura, presión y concentración
	Salida de E102	Verificación	Temperatura y presión
	Entrada a E103	Revisión	Temperatura, presión y concentración

E103	Salida de E103	Verificación	Temperatura
E104	Entrada a E104	Revisión	Temperatura y concentración
	Salida de E104	Verificación	Temperatura
E105	Salida de E105	Verificación	Temperatura
E106	Salida de E106	Verificación	Temperatura
E107	Salida de E107	Verificación	Temperatura
E112	Salida de E112	Verificación	Temperatura
E114	Entrada a E114	Revisión	Temperatura
	Salida de E114	Verificación	Temperatura
Foso	Salida del foso de recepción	Revisión	Caudal
K101	Entrada a K101	Revisión	Presión
	Salida de K101	Verificación	Presión, temperatura y caudal
R101	Salida de R101	Verificación y validación	Temperatura, presión y concentración
R102	Salida de R102	Verificación y validación	Temperatura, presión y concentración
T102 y T103	Salida de T102 y T103	Verificación y validación	Concentración
T151A y T151B	Salida de T151A y T151B	Revisión	Temperatura
T155A y T155B	Entrada a T155A y T155B	Verificación y validación	Composición

Tabla 5-57: Puntos De control del proceso.

1.6.7 Equipos del proceso.

LISTADO DE EQUIPOS		CÓDIGO: FR-P-07-01
		FECHA: dd/mm/aaaa
		REVISIÓN: 1
Código	Equipo	
R101	Reactor	
R102	Reactor catalítico	
E101	Intercambiador de calor 1	
E102	Intercambiador de calor 2	
E103	Intercambiador de calor 3	
E104	Intercambiador de calor 4	
E105	Intercambiador de calor 5	
E106	Intercambiador de calor 6	
E107	Intercambiador de calor 7	

E108	Intercambiador de calor 8
E109	Intercambiador de calor 9
E110	Intercambiador de calor 10
E111	Intercambiador de calor 11
E112	Intercambiador de calor 12
E114	Intercambiador de calor 13
E115	Intercambiador de calor 14
E116	Intercambiador de calor 15
C101	Columna 1
C102	Columna 2
C103	Columna 3
V101	Depósito 1
V102	Depósito 2
V103	Depósito 3
T151	Tanque 1
T152	Tanque 2
T153	Tanque 3
T154	Tanque 4
T155	Tanque 5
K101	Compresor 1
K102	Compresor 2
B101 – B114	Bombas 1 – 14

Tabla 5-26: Listado de equipos.

1.6.8 Sistema de gestión de calidad

Sin embargo, que el reactor se mantenga isoterma a 400°C con una reacción exotérmica es muy complicado, por lo que el proceso tiene lugar en una serie de “pisos”.

Un sistema de gestión, con independencia de su naturaleza, es un conjunto de instrumentos de carácter documental que permite, a una determinada organización o empresa, redistribuir, estructurar y organizar sus recursos, tanto materiales como humanos o intelectuales, de tal forma que se produzca un aumento de la eficiencia y la eficacia del proceso productivo.

El objeto de la implantación e implementación de un sistema de gestión es la racionalización de recursos y la diferenciación de la compañía, de cara a sus potenciales clientes, respecto de sus competidores en términos de calidad, eficiencia, seguridad o impacto final del producto. Para cumplir estos dos objetivos se requieren la obtención de una certificación expedida por un organismo o entidad independiente y que cuente con acreditación oficial.

Este proceso de certificación se fundamenta, por tanto y de forma necesaria, en la utilización de una normativa, o conjunto de preceptos reglados, en los que la entidad auditora se apoya para determinar si el proceso de producción y, por ende, el producto final, se adaptan a determinados estándares.

Así, y en función de la naturaleza del sistema de gestión implementado, los requisitos o características que se presuponen al proceso productivo variarán, arrojando como resultado un total de cuatro grandes tipos de sistemas de gestión, que se basarán en normativas diferentes:

Sistema de gestión ambiental, que tienen como finalidad la implantación de un sistema productivo que limite y reduzca su impacto sobre el medio natural, siendo este impacto evaluado, usualmente, en términos de emisión de compuestos contaminantes y de generación y tratamiento de residuos. Este tipo de sistemas de gestión queda recogido en la norma UNE-EN ISO 14001.

Sistema de gestión de energía, cuyo objetivo es alcanzar el máximo grado de eficiencia energética en todos los ámbitos de la empresa. Este tipo de sistemas de gestión queda recogido en la norma UNE-EN ISO 50001.

Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, que busca la observancia de determinadas exigencias en materia de seguridad e higiene en el trabajo. Este tipo de sistemas de gestión queda recogido en la norma OSHAS 18000.

Sistema de gestión de calidad, que tiene por objeto satisfacer los requisitos y necesidades del cliente en términos de calidad final del producto. Este tipo de sistemas de gestión queda recogido en la norma UNE-EN ISO 9001.

Todos estos sistemas de gestión cuentan con un mayor o menor grado de implantación en función de la difusión y la eficacia del mismo en lo referido a su incidencia en los niveles de ventas del bien o servicio producido bajo sus estándares.

De esta manera, los SGC cuentan con una mayor prevalencia estadística en cuanto a su adopción por parte de empresas y demás organismos, ya que se configuran como los únicos sistemas de gestión que se basan en las necesidades de clientes y usuarios, lo que produce un aumento en sus niveles de satisfacción.

En cuanto a los rasgos particulares de los SGC, se pueden destacar el enfoque al cliente; la estructura jerarquizada de la compañía, lo que permitirá el establecimiento inequívoco de responsables para la dirección y ejecución de las medidas implantadas o para la asunción de responsabilidades derivadas de su incumplimiento; el enfoque a procesos; la mejora continua; la evaluación de datos estandarizados y verosímiles en el proceso de toma de decisiones; y la gestión en las relaciones.

Por último, se deben citar las diferentes fases a agotar en el proceso de implantación de un SGC:

Evaluación de la situación de partida.

Mapeo de procesos, esto es, determinar los procesos de la organización y su relación a fin de establecer los flujos de información que se produce entre ellos y el carácter de esta.

Diseño de políticas y Plan de Calidad.

Elaboración de procedimientos, instrucciones de trabajo y formatos de registro.

Elaboración del Manual de Calidad.

Formación continuada del personal.

Implementación.

Auditoría y mejora continúa.

AENOR. (2007). *OHSAS 18001:2007. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo*. Madrid: AENOR ediciones.

1.6.9 Impacto ambiental y efectos en la salud

La generación de contaminantes emitidos a la atmósfera por el sector industrial es variada, dependiendo de la rama industrial y de la composición del sector en cada región del país.

Las zonas con mayor volumen de emisiones a la atmósfera son, en general, corredores industriales y zonas metropolitanas donde además hay una fuerte presencia de refinerías y/o plantas termoeléctricas. Se aprecia además una clara correlación entre la emisión de SO₂ y PST y el volumen total de contaminantes emitidos en ellas, debido a la naturaleza del combustóleo empleado, que suele tener un alto contenido de azufre. Esta tendencia debe revertirse en parte con la introducción de un nuevo combustóleo más liviano.

El contaminante más representativo de las emisiones de la industria es el bióxido de azufre, que representa un 60% del total, seguido de los óxidos de nitrógeno con un 16%, el monóxido de carbono con 10%, los hidrocarburos con un 7% y las partículas suspendidas totales con 7%, como se observa en la gráfica siguiente

En este trabajo trataremos el caso particular de la producción de ácido sulfúrico para conocer los contaminantes que se generan en estas industrias y las medidas de seguridad que se deben tener en su fabricación y manejo; así como el control de emisión de contaminantes por estas industrias.

Para el desarrollo de este trabajo partiremos de las características generales del ácido sulfúrico, su proceso de fabricación donde podemos ver cuáles son los principales contaminantes que se generan en este, y después ver cómo podemos controlar las emisiones de estos contaminantes.

Dadas las características y propiedades del ácido sulfúrico, su toxicidad, reactividad, corrosión, es de gran importancia hablar sobre las medidas de seguridad y precauciones que se deben de tener en su manejo y fabricación; ya que una emisión medible provocada por la industria puede ser controlada mediante ciertos equipos, pero en estos casos hay que poner gran atención en los posibles incidentes y accidentes, ya que estos podrían causar un gran impacto ambiental y grandes riesgos a la salud, por lo que hay que tener siempre bien establecidas, las medidas de seguridad y precauciones en esta industria.

Efectos en la Salud - se debe tener especial cuidado cuando se trabaje con ácido sulfúrico concentrado. Es necesario estar totalmente protegido con ropa de goma, cobertor para la cara, guantes y botas. Este ácido puede liberar dióxido de azufre gaseoso, cuyo nivel de toxicidad es bastante alto y al contacto con el cuerpo ocasiona graves quemaduras.

El contacto reiterado con soluciones diluidas puede producir dermatitis, en tanto la inhalación prolongada o frecuente del vapor de ácido sulfúrico puede causar una inflamación del aparato respiratorio superior, que puede conllevar a una bronquitis crónica

El ácido sulfúrico es un oxidante ácido muy potente que se inflama e incluso puede explotar en contacto con muchos materiales, entre ellos ácido acético, hidróxido de amonio, cal, glicol etileno y muchos otros compuestos. Cuando se le mezcla con agua produce una reacción bastante exotérmica. Para evitar el riesgo de una potencial explosión, no se deberá añadir agua al ácido concentrado. El ácido deberá ser agregado al agua.

Los procesos que va a sufrir la materia orgánica en el suelo son los siguientes: primero un proceso de aminificación por el cual se van a obtener las amidas (NH_2) y después, mediante un proceso de amonificación se va a obtener el ion amonio (NH_4^+). Parte del amonio se va a transformar en amoniaco (NH_3) que, por volatilización, va a ir a parar a la atmosfera. La mayor parte del amonio será transformado, por acción de las bacterias (*Nitrosomonas sp*), en nitritos (NO_2^-) y, continuando el proceso de nitrificación, por la acción de otras bacterias (*Nitrobacter sp*) se obtienen los nitratos (NO_3^-).

Las plantas absorben el nitrógeno tanto en forma de ion NH_4^+ como, preferentemente, en forma de ion NO_3^- . El ion NH_4^+ es poco móvil, ya que participa activamente en procesos de intercambio iónico y, por tanto puede quedar adsorbido en la superficie de los coloides del suelo, evitando de este modo sufrir procesos de lixiviación. El problema que presentan los nitratos, es que son altamente móviles ya que no son adsorbidos por los componentes coloidales del suelo. Estos nitratos pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hasta los cauces y reservorios superficiales.

En estos medios los nitratos también actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado, se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie. Esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, así mismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie.

Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad autodepuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos. La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La textura de los suelos es un factor importante en relación con la lixiviación. Cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán (Martínez Gaspar et al, 2011).

Los fertilizantes nitrogenados que generalmente se emplean en nuestros cultivos son principalmente: nitrato amónico-cálcico, nitrato amónico, nitrosulfato amónico, sulfato amónico y Urea (Anuario estadístico 2015, MAGRAMA), es decir, compuestos muy solubles que suelen aplicarse al suelo con el agua de riego (técnica conocida como fertirrigación) y que incrementan el nitrógeno del suelo en ambas formas (NH_4^+ y NO_3^-)

A partir de los nitratos se van a obtener los óxidos de nitrógeno, un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). El término NO_x se refiere a la combinación de ambas sustancias. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza, son, además de la descomposición bacteriana del nitrógeno orgánico, los incendios forestales, la quema de rastrojos y la actividad volcánica (Ministerio de agricultura, pesca, alimentación y medio ambiente; 2007).

Como ya se ha comentado, se puede producir la pérdida de nitrógeno por la volatilización del gas amoniacal, ésta suele ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales.

Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores del ambiente: tales como la temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante. En forma creciente, la agricultura es vista como un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero, emisiones que acentúan el calentamiento global.

Los fertilizantes nitrogenados utilizados han sido identificados como un factor importante (Ferraris et al, 2016).

En resumen, los principales efectos ambientales que causa la aplicación de los fertilizantes nitrogenados son: contaminación de las aguas por nitratos, eutrofización y emisión de gases a la atmósfera.

Para hacer frente a la problemática que supone la contaminación por nitratos, muchos países se han visto obligados a iniciar cambios en su ordenamiento legislativo, configurando normativas que regulen las explotaciones agrícolas y ganaderas, así como la eliminación de los residuos ganaderos. La máxima preocupación en torno a la contaminación del agua por nitratos está en el efecto que puede tener sobre la salud humana la ingestión de nitratos, ya sea disueltos en el agua o en los alimentos (Martínez Gaspar et al, 2011).

Problemas ocasionados sobre la salud por la contaminación de las aguas con nitratos y por la manipulación de los fertilizantes nitrogenados.

El tratamiento de eliminación de nitratos en aguas mediante electrodiálisis es un proceso muy semejante al de ósmosis inversa. Aunque se han logrado altos niveles en la reducción de la concentración de los nitratos en agua, se han detectado problemas importantes en el caso de tratar aguas con bajo contenido en sales de calcio y magnesio.

Existen tratamientos altamente prometedores para la eliminación de nitratos, destacando la desnitrificación biológica y la desnitrificación catalítica. Respecto a la primera, se trata de un método altamente efectivo, usado en el tratamiento de aguas tanto urbanas como industriales. La desnitrificación biológica se produce en condiciones anóxicas, en la que el nitrato es reducido hasta nitrógeno gas, en las que aparecen como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso (Madrid, 2009).

Aunque la legislación europea y española establece que la máxima concentración de nitratos permitida en agua para consumo humano sea de 50 mg/L y se cumplirá la condición de que la concentración de nitratos en mg/l/50 + concentración de nitrito en mg/l/3 < 1, (Real decreto 140/2003). Se tiende a avanzar hacia un límite menor, situándolo en 10 mg/L en el caso de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) (EPA, 2015).

No obstante, debemos tener en cuenta que, en algunas zonas en el tercer mundo y en países en vías de desarrollo no se tienen establecidas redes de vigilancia adecuadas, por lo que es necesario profundizar en la prevención de los procesos de contaminación.

Dado que la mayor parte de los fertilizantes nitrogenados utilizados son productos de síntesis, la población expuesta a los efectos sobre la salud es la que se encuentra en contacto debido a la producción industrial de estas sustancias (trabajadores de la industria química), los distribuidores del producto y los que realizan la aplicación de estas sustancias y las labores agrícolas con posterioridad a su aplicación (agricultores).

Consideraciones ambientales acerca de hidróxido de amonio.

El amoniaco se encuentra presente comúnmente en la naturaleza tanto en el aire, como en el suelo y agua. El amoniaco libre en agua es toxico al igual que el hidróxido de amonio pero este en menor proporción.

En el agua tiende a dispersarse sobre la superficie convirtiéndose en nitrato mediante procesos microbiológicos de nitrificación y desnitrificación, lo cual genera riesgo para la vida acuática.

Para evitar este tipo de daños ambientales no se debe liberar cantidades directamente en el agua ya que se genera una gran cantidad de calor de dilución y por ende un peligroso impacto ambiental. Sin embargo en el suelo se degrada fácilmente debido a la volatilización y a la absorción de plantas y bacterias, por ello su uso es ideal en la agricultura como fertilizante.

1.7.0 Usos y Aplicaciones de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico posee un sinnúmero de aplicaciones entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Reactivo y medio disolvente para los procesos de síntesis orgánica.
- Disolvente de muestras tales como metales, óxidos metálicos y compuestos orgánicos.
- Fabricación de fertilizantes, pinturas, pigmentos y explosivos.
- En la industria textil se emplea para el proceso de blanqueo y la eliminación de impurezas metálicas en telas.
- Refinamiento del crudo de petróleo.
- Electrólito (sustancia que se usa como fuente de iones) en pilas y baterías, muy comúnmente usado en las baterías de los automóviles.
- Agente desecante, principalmente de sustancias gaseosas, en los laboratorios de síntesis.
- En la fabricación de fertilizantes como sulfato de amonio y superfosfato de cal.
- En la fabricación de ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, éter, plásticos, sulfatos metálicos, celofán, colorantes, medicamentos, perfumes, desinfectantes y pegamentos.
- En la fabricación de hidrógeno por el ciclo azufre-yodo, que es una serie de reacciones termoquímicas.

- En la fabricación de explosivos, ácido nitroglicerínico y tri-nitro-tolueno (TNT).
- En la fabricación de fosfato trisódico, que es un detergente.
- En el cultivo de papa, donde se rocía en los campos de papa antes de la cosecha, para hacer que los tallos mueran rápidamente.
- En la fabricación de pigmentos, como pinturas y tintas de impresión.
- En la industria química como catalizador de importantes reacciones químicas.
- Como componente activo de los limpiadores de desagües domésticos.
- Eliminación de impurezas durante el proceso de refinación del petróleo.
- Como electrolito en baterías de plomo-ácido.
- En la industria siderúrgica, para la eliminación de óxidos de los rodillos de acero antes de la galvanoplastia o galvanización.
- Como agente deshidratante en su forma concentrada, donde absorbe la humedad de sustancias que están en contacto con él.

Mercado de SO₂

El anhídrido sulfuroso (SO₂) es aplicado en diversas industrias, siendo sus usos principales los siguientes:

En la producción cuprífera. El cobre se puede precipitar de las soluciones de sulfato por medio de SO₂.

-En flotación el SO₂ se usa para deprimir sulfuros de zinc y hierro en forma conjunta.

-Es utilizado para extracción y concentración de minerales que contiene cobalto y la recuperación de cobre en soluciones lixiviadas.

-Se utiliza en la purificación de soluciones provenientes de la electrorefinaciones de cobre.

-En la producción de yodo. El yodato es reducido a yodo del uso de SO₂.

-En la industria papelera para obtención de pasta de bisulfito. Obtención de dióxido de cloro para blanqueos de pastas. Como agente reductor de oxidantes residuales. Como regulador del pH.

-Industria textil: Blanqueo de tejidos y fibras.

-Industria del curtido reducción de sales de cromo.

-Industria química: reactivo reductor, control de cloración, regulador de pH, Microbicida.

-Industria vitivinícola: Microbicida, controla y retarda las fermentaciones de mostos, conservantes de vino, mosto y subproductos.

-Industria azucarera: Regulador del pH en el agua del proceso de difusión, sulfatación de jugos, microbicida y agente decolorante de jarabes.

-Industria frutícola: Conservación de jugos de frutas y conservas.

-Dada la cualidad que posee los materiales para mantener inalterables en el tiempo sus características externas e internas cuando están expuestos a la acción de las atmosferas con altos contenidos de gas SO_2 es usado en la industria alimenticia como preservante, pesticidas y/o fungicidas.

Capítulo 2

2.1 ¿Qué es un fertilizante?

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O), puede ser llamado fertilizante. Fertilizantes fabricados industrialmente (Figura 7) son llamados fertilizantes minerales. La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, «perlados», cristales, polvo de grano grueso / compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Los fertilizantes líquidos y de suspensión son importantes principalmente en América del Norte. Además de su contenido nutritivo específico¹³, la calidad física de un fertilizante es determinada por el rango del tamaño de sus partículas (productos tamizados), su densidad / dureza, su resistencia a la humedad y al daño físico, y su libertad de apelmazarse – los fertilizantes de alta calidad gozan de un tratamiento especial de la superficie / recubrimiento. Respecto al transporte, almacenamiento y aplicación en el campo, la densidad / peso específico de un fertilizante es también importante. Normalmente la urea tiene un volumen más grande por unidad de peso que la mayoría de los otros fertilizantes.

No obstante, es posible producir fertilizantes NPK, nitrato de amonio y nitrato de amonio calcio (AN/CAN) y fertilizantes fosfatados en la misma instalación y con el mismo sistema de reducción de emisiones. La capacidad de producción suele variar entre varios cientos y más de 3000 toneladas al día. Las fábricas de fertilizantes nitrogenados consumen mucha energía porque necesitan calor y energía mecánica para el funcionamiento de aparatos tales como compresores, bombas y ventiladores. Con frecuencia las máquinas de mayor tamaño funcionan con turbinas de vapor y las que son pequeñas con motores eléctricos. La energía eléctrica procede de la red pública o se genera. El vapor que se obtiene de las calderas o plantas de cogeneración, o en las calderas de recuperación que aprovechan la energía liberada en la producción de amoníaco, ácido nítrico o ácido sulfúrico.

Fertilizantes

Se considera abono o fertilizante cualquier materia o sustancia con un contenido apreciable de uno o varios elementos nutritivos en forma asimilable para los cultivos. En general se considera contenido apreciable aquel que supera las exigencias legales establecidas en las normativas que rigen la producción y comercio de estos productos. Sin embargo, la denominación de abonos o fertilizantes se reserva generalmente a los productos que contienen la cantidad requerida de, al menos, uno de los tres elementos principales: nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K), ya sean naturales, orgánicos o químicos, pudiendo contener además otros elementos nutritivos.

Fertilizantes orgánicos y minerales: los abonos orgánicos son productos derivados de productos vegetales o animales que cumplen las características mínimas exigidas. Los fertilizantes minerales o químicos son productos obtenidos mediante procesos químicos desarrollados a escala industrial. Se trata de productos inorgánicos obtenidos generalmente por síntesis.

Fertilizantes simples y compuestos: los abonos pueden contener uno o más de los elementos nutritivos principales (N,P,K). Los fertilizantes simples según el elemento que contengan se denominan abonos nitrogenados (N), fosfatados (P) o potásicos (K). Los abonos compuestos, cuando estos se obtienen por simple mezcla más o menos elaborada de componentes simples. Cuando se elabora productos con más de un nutriente principal pero mediante combinación química de varios productos se suele denominar abonos complejos. En cualquier caso cabe distinguir dentro de los abonos compuestos o complejos, entre abonos o fertilizantes binarios o ternarios según que contengan dos o tres de los elementos citados, independiente de cualquier otro elemento nutritivo que pudieran tener.

Riqueza y concentración total: la característica principal de un fertilizante es la riqueza o contenido garantizado del o de los elementos nutritivos asimilables. Cuando se trata de abonos simples la riqueza y la concentración total son coincidentes al no tener más que un solo elemento. En cambio, en los abonos compuestos o complejos, es necesario definir la riqueza de cada de cada uno de los elementos nutritivos, y la suma de todas ellas da la concentración total. Otro concepto importante en los abonos compuestos y complejos es el equilibrio entre los elementos que contiene, tomando como referencia o unidad al nitrógeno (N).

En cuanto a su forma los abonos pueden producirse y comercializarse en estado sólido y líquidos normalmente, predominan los primeros. En general, la forma de presentación tiene gran importancia para la aplicación del fertilizante ya que la eficacia y rendimiento de un determinado tipo depende de una correcta aplicación que tenga en cuenta sus características.

1.1. **Abonos Sólidos:** estos pueden presentarse en polvo, cristalizados, granulados o perlados (producto obtenido por la solidificación de gotas muy finas que se pulverizan desde la parte alta de una torre de “prilado”).

1.2. **Abonos Líquidos:** se trata de soluciones más o menos concentradas que pueden contener uno o más elementos nutritivos como los abonos sólidos. Los más frecuentes son las soluciones nitrogenadas y suspensiones ternarias que son abonos compuestos líquidos.

2.1.1 Fertilidad de suelo

Es la capacidad del suelo para suministrar a los diferentes cultivos, cada uno de los elementos nutritivos a lo largo del desarrollo de los mismos. El concepto de fertilidad se halla asociado por tanto a cada elemento en particular, sin perjuicio de que en muchos casos pueda hablarse de un suelo fértil con un carácter más general. Así pues, en relación con cada elemento nutritivo, el concepto de fertilidad tiene un carácter cuantitativo: suministro de las cantidades exigidas por el cultivo en cada uno de los periodos de su desarrollo. Esta capacidad de suministro por el suelo se expresa en términos relativos en función del grado de satisfacción de las necesidades del cultivo, estableciéndose diferentes niveles de fertilidad. Estos niveles se clasifican generalmente en muy bajos, bajo, medio, alto y muy alto, aunque en algunos casos puede reducirse a tres.

2.1.2 Principales tipos de diagnóstico para la fertilidad del suelo.

Los principales métodos de diagnósticos son: **análisis del suelo**, consiste en la determinación de la cantidad de elemento nutritivo, que pueda extraerse del suelo mediante el tratamiento de este con una solución extractora y en unas condiciones específicas que caracterizan el método de diagnóstico o procedimiento analítico. La cantidad así extraída debe corresponder a una determinada fracción del elemento en el suelo que se supone asimilable y que según el método, se aproximara más a la capacidad o a la intensidad.

En cualquier caso, si el método está bien contrastado mediante experiencias, nos permitirá conocer el nivel de fertilidad del suelo y su significado. **Análisis de plantas** el nivel de concentración del elemento en la planta relacionado con el estado vegetativo de la misma, nos da una medida de la capacidad del suelo, es decir, de su fertilidad.

Entre las principales metodología tenemos:

1- La gran variabilidad en el contenido de un elemento dentro de la planta, según los órganos y tejidos y la época de desarrollo.

2- La variabilidad entre diferentes especies vegetales e incluso entre diferentes variedades.

3- Las interacciones existentes entre los diferentes elementos nutritivos dentro de la planta, que impiden en la mayoría de los casos considerar aisladamente los elementos.

La utilidad de este método abarca los siguientes aspectos: identificar y confirmar síntomas de carencias o de toxicidad, determinar el estado nutritivo de la planta, evaluar y permitir la corrección, en su caso, del abonado, determinación de las extracciones totales de elementos nutritivos.

2.2 Principales constituyentes de los fertilizantes

El principal constituyente es el **Nitrógeno** con un contenido que varía entre 2 y 4%, este elemento es absorbido principalmente como ion nitrato (NO_3^-) y como ion amonio (NH_4^+). La absorción es metabólica, es decir, con consumo de energía, se caracteriza por su alta movilidad en el suelo y por tener distintas vías de pérdida. Aproximadamente entre un 30% y un 50% que absorbe cualquier cultivo es extraído en el momento de la cosecha, es fundamental reponer parte del nitrógeno que de año en año pierden nuestros suelos, pero es importante porque la presencia del nitrógeno guarda una relación directa con el desarrollo de hojas, tallos, brotes y macollos, cuya abundancia produce marcados aumentos de rendimiento y rentabilidad, además en cereales el nitrógeno es determinante del contenido proteico de los granos. Los síntomas más característicos y generalizados de la deficiencia de nitrógeno son: clorosis generalizada de la planta, comenzando con el amarillamiento de las hojas más viejas, la clorosis progresa del ápice de las hojas hacia la base a lo largo del nervio central, en los casos más grave la planta se marchita y muere.

2.3 Características de algunos fertilizantes nitrogenados sólidos.

NOMBRE	CARACTERISTICAS GENERALES
UREA	Se adapta a diferentes cultivos y distintos tipos de aplicación. Aplicaciones en superficie sobre suelos arenosos calcáreos con clima caluroso y húmedo con riesgo de pérdida por volatilización. Dosis recomendada (kg/ha) en el maíz 100-300, tomate 200-500, lechuga 200-500, etc.
NITRATO DE AMONIO	No se recomienda su uso en suelos de textura gruesa, el 50% del N esta como nitrato de asimilación inmediata y el otro 50% como N amoniacal. Dosis recomendada (Kg/ha) en el maíz 70-200, tomate 100-300, etc.

Según las normas de COVENIN para determinar el nitrógeno total consiste en la transformación del nitrógeno presente en la porción de fertilizante en compuestos amoniacales, los cuales se destilan agregando a la solución de NaOH en exceso y el amoniaco destilado es recogido en una solución de ácido valorado. El material a ensayar consiste en una muestra de fertilizante tomada según la norma 244. Los resultados se expresan como % de N total contenido en el fertilizante calculado de la siguiente manera $\%N_T = [(V_1N_1 - V_2N_2) * 0.014] / G * 100$ donde N_T es el nitrógeno total V_1 volumen en ml de la solución de ácido, V_2 volumen en ml de la solución de álcali, N_1 normalidad del ácido, N_2 normalidad del álcali, G peso en gr. de la muestra. Fósforo: participa como componente en los ácidos nucleicos, fosfolípidos y sobre todo en los compuestos básicos de la transferencia de energía en la planta, el contenido varía entre 0,1 a 1,2%.

La planta absorbe el fósforo en forma de fosfato monobásico principalmente ($PO_4H_2^-$), y también aunque en menor medida como fosfato bibásico (PO_4H^{2-}). En el suelo, el fósforo es muy poco móvil y no se repone naturalmente una vez que es extraído del mismo a través de las cosechas. La fertilización con fósforo es clave, no solo para restituir los niveles de este nutriente en los suelos, sino también para obtener plantas más vigorosas, con mayor desarrollo de raíces y por lo tanto más resistentes a la falta de agua.

Los síntomas más generalizados de su deficiencia son:

Coloración anormal, tonos oscuros con tintes bronceados o púrpuras, reducción sensible del desarrollo sobre todo en el crecimiento natural. Por su poca movilidad se recomienda la incorporación del fósforo junto con la siembra. La dosis recomendada para algunos cultivos, de fosfato diamónico y fosfato monoamónico (como fertilizante) es respectivamente así: maíz 80-150 y 80-150 kg/ha; arroz 100-200 y 100-200 kg/ha; papa, tomate y lechuga 150-250 y 150-250 kg/ha. Según las normas de COVENIN⁽²⁾ para determinar fósforo total consiste en transformar todo el fósforo contenido en el fertilizante a fósforo inorgánico, precipitarlo como fosfomolibdato de amonio en medio ácido, disolver posteriormente el precipitado con un volumen conocido de NaOH y titular el exceso con una solución de HCl o HNO₃ valorada. Los % se expresan como % de P₂O₅ total contenido en el fertilizante calculado de la siguiente manera:

$P_2O_5 = [V_1N_1 - V_2N_2]/G * 3,0865$ donde V₁ es el volumen de hidróxido en ml añadido hasta disolver el precipitado, V₂ es el volumen de ácido en ml utilizado en la titulación, N₁ normalidad del hidróxido, N₂ volumen de ácido en ml utilizado en la titulación, G peso de la muestra analizada en gramos. **Potasio**, se halla en forma de ion en las plantas. Es absorbido como tal ion (K⁺) y su principal función es la de regulador de la presión osmótica dentro de las células, lo que determina la turgencia y tersura de los tejidos y las hojas. La deficiencia de este ocasiona, reducción del crecimiento, amarillamiento de los márgenes de las hojas llegando a secar con o sin moteado, tallos débiles, baja calidad de los frutos, planta con poco vigor y resistencia. Entre los cultivos más afectados por una deficiencia de potasio encontraremos el tomate y la papa. Esta deficiencia tiene como resultado crear estructuras celulares débiles reduciendo la síntesis de proteína, así como también, reduciendo la asimilación del dióxido de carbono factor importante para la fotosíntesis. **Efecto del potasio sobre las frutas:** uno de los factores más importante es el color, varios investigadores han reportado una mejoría en el color cuando usan dosis adecuadas de potasio; el tamaño; acidez, muchos factores contribuyen con el sabor de las frutas, entre estos el azúcar y la acidez, la acidez de los cítricos es aumentada con el uso de altas dosis de potasio, incrementando ambos contenidos de ácido cítrico y ascórbico; otro factor es la conservación por más tiempo después de ser cosechada, grosor de la cáscara, cantidad de jugos, cantidad de sólidos totales. Según las normas de COVENIN para determinar potasio se calculara por la expresión siguiente: %K₂O= 3,01*L/G donde L es la concentración de potasio obtenida de la curva de calibración, en partes por millón, G peso de muestra en gramos.

2.4 Propiedades químicas de los fertilizantes

Las propiedades químicas de los fertilizantes determinan tanto su comportamiento en el suelo, como su manipulación y conservación. Destacan las siguientes:

- a) Solubilidad. La solubilidad en agua o en determinados reactivos es determinante sobre el contenido o riqueza de cada elemento nutritivo en un fertilizante concreto.
- b) Reacción del fertilizante sobre el pH del suelo. Viene determinada por el índice de acidez o basicidad del fertilizante, que se corresponde con la cantidad de cal viva que es necesaria para equilibrar el incremento de acidez del suelo (fertilizantes de reacción ácida) o producir un incremento de pH equivalente (fertilizantes de reacción básica).
- c) Higroscopicidad: capacidad de absorber agua de la atmósfera a partir de un determinado grado de humedad de la misma. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante. Generalmente, cuanto mayor es la solubilidad del fertilizante en agua, mayor es su higroscopicidad. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante.

2.5 Tipos de fertilizantes

Fertilizantes simples Algunos de los fertilizantes simples más utilizados (así como regionalmente importantes) son los siguientes: Urea con 46 por ciento de N, es la mayor fuente de nitrógeno en el mundo debido a su alta concentración y a su precio normalmente atractivo por unidad de N. Sin embargo, su aplicación requiere excepcionalmente buenas prácticas agrícolas para evitar, en particular, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire. La urea debería ser aplicada sólo cuando sea posible incorporarla inmediatamente en el suelo después de esparcida o cuándo la lluvia se espera en pocas horas después de la aplicación.

Sulfato amónico, con el 21 por ciento de N (en forma de amoníaco), no es tan concentrado como la urea. Sin embargo, contiene, además del N, el 23 por ciento de azufre, un nutriente que es de creciente importancia. Se usa preferentemente en cultivos irrigados y donde el azufre debe ser aplicado. Lo mismo es cierto para el nitrosulfato amónico con el 26 por ciento de N (alrededor de 2/3 como amoníaco y 1/3 como nitrato) y del 13 al 15 por ciento de azufre.

Nitrato amónico cálcico, con por encima del 27 por ciento de N (partes iguales de N como amoníaco y como nitrato), es un fertilizante preferido para los cultivos en las regiones semiáridas de los subtrópicos.

Superfosfato simple, con el 16 al 20 por ciento de P₂O₅ contiene adicionalmente 12 por ciento de azufre y más del 20 por ciento de calcio (CaO).

Superfosfato triple con una concentración del 46 por ciento de P₂O₅ no contiene ni azufre y menos calcio. Ambos tipos de fertilizantes fosfatados contienen el fosfato soluble en agua, en una forma disponible para las plantas. Una cantidad sustancial de fosfato es aplicada en forma de fertilizantes NP (nitrofosfato, fosfato monoamónico (MAP) y fosfato diamónico (DAP)) y de fertilizantes NPK.

Cloruro potásico, con hasta 60 por ciento de K₂O, es el fertilizante potásico simple líder usado en la mayoría de los cultivos. En cultivos sensibles al cloro o en los cuales el azufre se necesita, se usa el sulfato potásico con el 50 por ciento de K₂O y 18 por ciento de azufre. Sin embargo, como con los fertilizantes fosfatados, una gran parte de K₂O es aplicada en la forma de fertilizantes NPK y PK.

Fertilizantes de hierro

Los abonos de Fe son sustancias generalmente solubles en agua, ya sean sales o complejos orgánicos (quelatos). Se utilizan principalmente para el abonado foliar.

El sulfato de hierro (FeSO₄ * 7H₂O con un 20% de Fe) el abono soluble más simple; actualmente tiene poca importancia. Los quelatos son muy apropiados para ser utilizados como abono foliar como consecuencia de su mayor tolerancia, así como a su menor inmovilización cuando se aplican al suelo.

Los quelatos de Fe se diferencian sobre todo por la estabilidad de sus complejos-Fe. En general se adaptan bien al abono foliar, aunque no todos los quelatos tienen la misma efectividad para las plantas.

Algunos ejemplos de productos comerciales son:

Fetrilon (BASF) con 5% de Fe.

Quelato de Fe-Jost, con un 9% de Fe.

EDDHA de Fe: etilendiamino dihidroxifenilacetato de hierro; el Fe se encuentra en forma trivalente.

Fosfato diamónico

El fosfato diamónico (DAP) es el fertilizante fosfatado más utilizado en el mundo. Esta hecho de dos componentes comunes de la industria de los fertilizantes y es popular debido al contenido de nutrientes relativamente altos y sus excelentes propiedades físicas.

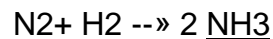
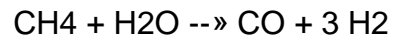
Los fertilizantes de fosfato de amonio estuvieron disponibles por primera vez en la década de 1960 y el DAP se convirtió rápidamente en el más popular dentro de esta clase de productos. Está formulado a base de una reacción controlada de ácido fosfórico con amoníaco, donde la mezcla caliente se enfría, se granula, y luego se tamiza.

El DAP tiene excelentes propiedades de manejo y almacenamiento. El grado estándar del DAP es 18-46-0 y productos fertilizantes con menor contenido de nutrientes no pueden ser etiquetados como DAP.

La cantidad de insumos necesarios para producir una tonelada de fertilizante DAP es de aproximadamente 1.5 a 2 toneladas de roca fosfórica, 0.4 toneladas de azufre (S) para disolver la roca, y 0.2 toneladas de amoníaco. Cambios en la oferta o el precio de cualquiera de estos insumos tendrán un impacto en los precios y disponibilidad del DAP.

El alto contenido de nutrientes del DAP es de gran ayuda en la reducción de los costos de manipuleo, transporte y aplicación. El DAP se produce en muchos lugares del mundo y es un producto fertilizante ampliamente comercializado.

Los fertilizantes nitrogenados de síntesis (nitrato amónico-cálcico, nitrato amónico, nitrosulfato amónico, sulfato amónico, entre otros) se obtienen utilizando como fuente básica el amoniaco, obtenido a su vez por el proceso de Haber Bosch:



El 60% del nitrógeno aplicado a los cultivos viene de este proceso industrial. De este 60%, del 10-40% es asimilado por el cultivo; mientras que el resto es exportado a las masas de agua produciendo: contaminación, eutrofización o toxicidad; o a la atmosfera, contribuyendo a la generación de ozono troposférico y favoreciendo el efecto invernadero (Lassaletta et al, 2005).

El amoniaco es un gas, sin embargo puede licuarse fácilmente para facilitar su manejo y almacenamiento en estado líquido. En este estado, es peligroso por lo que será necesario tomar precauciones. El amoniaco líquido y sus soluciones acuosas concentradas causan graves quemaduras, sus vapores, en el aire, a concentraciones de 500 ppm (v/v) son fuertemente irritantes para los ojos y el sistema respiratorio. A 2500 ppm puede causar lesiones muy graves y a 5000 ppm la muerte.

El límite superior permisible para una exposición prolongada es de 50-100 ppm. El amoniaco acuoso (solución acuosa concentrada de amoniaco) rebaja parte de los peligros.

En general, se trata sustancias corrosivas para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves. La inhalación en elevadas concentraciones y durante un corto periodo de tiempo, puede originar un edema pulmonar cuyos efectos no se observan hasta pasadas unas horas, agravándose con el esfuerzo físico. Una exposición prolongada puede afectar al sistema inmune y al pulmón, dando lugar a una menor resistencia frente a infecciones y causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar (Ministerio de agricultura, pesca, alimentación y medio ambiente; 2007). Como hemos indicado, este tipo de afecciones pueden afectar a aquellas personas que participan del proceso de fabricación, transporte, manipulación y aplicación de los fertilizantes nitrogenados.

2.6 Recomendaciones necesarias para evitar los procesos de degradación ambiental

A la vista de lo expuesto, es necesario dirigir nuestros esfuerzos en establecer una serie de recomendaciones que optimicen, en la medida de lo posible, las cantidades de nitrógeno que se suministran a los cultivos, entre las que se pueden indicar:

Conocer la capacidad productiva del agrosistema: las necesidades de nitrógeno dependen del nivel de producción, no es lo mismo producir 2000 t/Kg que 4000 t/Kg. La decisión sobre el nivel de producción no solo tiene que tener en cuenta aspectos económicos sino que debe considerar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, es decir, si se trata de suelos muy arenosos, con escaso contenido coloidal sabemos que se potenciarán los procesos de lixiviación.

1) En definitiva establecer las bases científicas para una gestión eficaz de los sistemas agrarios, en armonía con el ambiente Sarandón et al. (2014) sostienen que el manejo sostenible de los agroecosistemas debe tener en cuenta las interacciones de todos sus componentes físicos, biológicos y socioeconómicos y el impacto ambiental que éstos producen.

2) Aprovechar la fijación biológica de nitrógeno: es conveniente realizar rotaciones de cultivos de manera que antes de sembrar un cultivo demandante de nitrógeno (por ej. arroz) se realice un cultivo previo de leguminosas que dejarán reservas de nitrógeno en el suelo.

1) Conocer el ciclo vegetativo del cultivo: el suministro de nitrógeno se debe realizar en aquéllas etapas del ciclo en las que existe mayor demanda. Esto depende de cada cultivo, el desarrollo vegetativo, la floración o la maduración del fruto, son etapas clave, que demandan nitrógeno, sin embargo el exceso de nitrógeno puede ser un problema para el proceso de tuberización en el cultivo de las patatas.

Elevadas dosis de nitrógeno, retrasan el inicio de la tuberización y promueven el crecimiento del follaje, pero reducen el rendimiento, afectando la calidad al disminuir el porcentaje de materia seca de los tubérculos (Suárez, L et al, 2006).

Establecer balance del nitrógeno de manera que se mejore el cálculo de la dosis adecuada y el momento de aplicación:

$$F = \frac{P \times E}{C} - (N_m + N_e - N_p)$$

F= N necesario en la aplicación

P= Producción estimada del cultivo

E= Extracciones de N por unidad de producción

N_m= N mineralizado

N_r= N proveniente de enmiendas orgánicas

N_p= N que se pierde por lavado o desmitificación

La utilización de balances de nitrógeno para la formulación de recomendaciones de fertilización, si bien es sostenida por una sólida base teórica, está restringida por: la variabilidad de los rendimientos esperados y los realmente alcanzados, las estimaciones de nitrógeno mineral y las eficiencias de uso estimadas de las distintas fracciones de nitrógeno (García et al, 2008).

Utilizar fertilizantes nitrogenados de liberación lenta o estabilizada: las estrategias en las que suelen basarse estos fertilizantes se deben a que las formas activas están envueltas en un material que se disuelve poco a poco con la humedad del suelo (abonos recubiertos) o bien las formas activas están unidas a polímeros que disminuyen la solubilidad de las mismas (urea-formaldehído) (IDAE, 2007). En la fig. 6 se muestran los mecanismos de actuación de los fertilizantes de liberación lenta mediante el sistema de encapsulado.



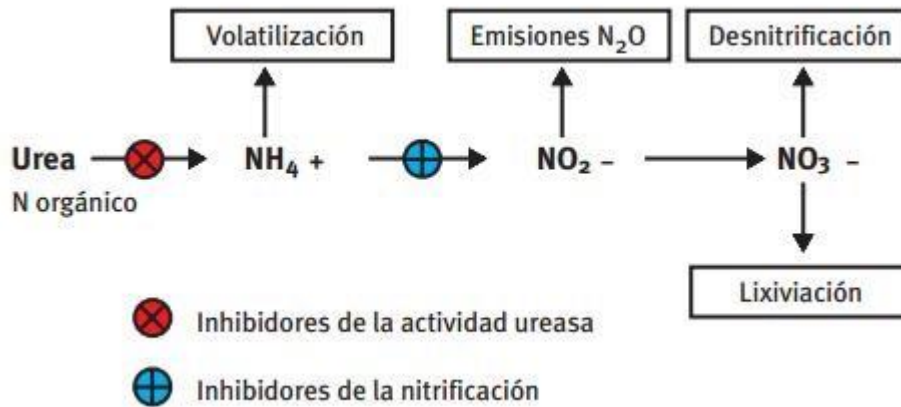
Figura 6. Mecanismos de actuación de los fertilizantes de liberación lenta

Los fertilizantes nitrogenados estabilizados contienen aditivos estabilizadores de nitrógeno. Este aditivo es una sustancia que alarga el tiempo del nitrógeno en las formas Urea-N o nitrógeno amoniacal. Se basan en que algunas formas de nitrógeno van acompañadas de moléculas inhibidoras de procesos de transformación del nitrógeno en el suelo.

Por ejemplo, una fuente de nitrógeno con amonio más una molécula inhibidora de la nitrificación que haría que el proceso de nitrificación (paso de amonio a nitrato) se ralentizara y el nitrógeno permaneciese durante más tiempo en forma de amonio que es retenido por la arcillas del suelo y no es susceptible de ser lixiviado como el nitrato.

Otro ejemplo es el de la ureasa (enzima que degrada la urea a amonio), la efectividad de estos fertilizantes se basa en que se ralentiza la degradación de urea a amonio y así se evitan pérdidas por volatilización (IDAE, 2007).

En la fig. 7 se muestran los mecanismos de fertilizantes estabilizadores sobre el ciclo del nitrógeno.



Las investigaciones sobre el desarrollo de estos abonos alternativos continúan, ya que el problema no está completamente resuelto. La eficiencia de los mismos para optimizar el nitrógeno no ha sido lo suficientemente probada en todos los ámbitos y cultivos y la unidad fertilizante resulta más cara en estos abonos que en los convencionales (IDAE, 2007).

Todas estas actuaciones se pueden complementar con políticas orientadas al desarrollo de sistemas de información de suelo para monitorear y prever los cambios del suelo y apoyar un desarrollo sostenible a nivel local, regional e internacional.

Caracterización de precursores químicos correspondientes al grupo de ácido y base

Debido al origen incierto de los químicos que son empleados para la obtención de sulfato de amonio es necesario la caracterización de los mismos, que permita conocer la concentración a la cual se encuentran los reactivos, de manera que se pueda estimar la factibilidad de reacción para formación del fertilizante deseado masi como asegurar la calidad del producto final obtenido.

Por tratarse de un ácido y una base de los métodos empleados corresponden a métodos volumétricos de titulación ya que se mediante indicadores colorimétricos o por mediciones de conductividad como en este caso.

2.7 Determinación de la concentración del ácido sulfúrico.

La volumetría es un método analítico cuantitativo que permite medir la cantidad de volumen de reactivo que reacciona con el analito y puede estar basada en cualquier reacción química mientras esta sea completa y rápida.

La valoración ácido – base usada para determinar la concentración de varios tipos de especies orgánicas, inorgánicas y biológicas. Este método emplea dos tipos de puntos finales: el punto final visual (indicadores) y el punto final de potenciométrico.

De acuerdo con el INEN (1986), en la norma 1444 para la caracterización de ácido sulfúrico para análisis de laboratorio se debe emplear como base el hidróxido de sodio y como indicador el anaranjado de metilo

En otras referencias como guía de manejo seguro y eliminación de químicos peligrosos se recomienda que la neutralización de ácido sulfúrico se lo haga con hidróxido de sodio en solución.

2.8 Determinación de la concentración del hidróxido de amonio

El método elegido para la determinación de la concentración del hidróxido de amonio es volumetría conductométrica, dado que las reacciones de tipo neutralización permiten una buena lectura del punto final gracias a que los iones hidronios e hidroxilos poseen una conductancia mayor que el resto de las sustancias presentes en la reacción, existe una linealidad entre conductancia y volumen añadido lo cual permite definir fácilmente el punto final, es un método versátil que permite leer con buena precisión soluciones muy diluidas hasta de un orden de $1 \cdot 10^{-4}$.

Esta propiedad puede crecer o decrecer dependiendo de la movilidad equivalente de los iones presentes lo cual se plasma en un gráfico de conductancia versus volumen de solución valorante añadida, en donde se puede determinar el punto final mediante el punto de intersección de los segmentos de rectas formadas.

El aumento o disminución de la conductancia de una solución cuando se añade un ácido base se debe a que los iones hidroxilos serán reemplazados por el ion ácido (menor movilidad) por lo cual la conductancia decrecerá hasta que todos los hidroxilos desaparezcan entonces al añadir más ácido la conductancia aumentará por la presencia de iones hidrógeno libres. El punto final de los gráficos obtenidos representa el volumen exacto de valorante necesarios para neutralizar, en dicho punto no existe exceso ni ácido ni de base.

2.8.1 Sulfato de amonio, obtención y usos

Es un compuesto químico también conocido como sulfato amoniac, cuya fórmula es $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. Sus cristales puros presentan coloración blanca, aunque su presentación comercial puede ser ligeramente amarilla.

En este puro no presenta una alta higroscopicidad a menos que exista azufre libre presente. Es muy soluble en agua y su solubilidad aumenta con la temperatura.

Propiedades del sulfato amonio

Propiedad	Valor
Peso molecular (g/mol)	132.14
Densidad g/cm ³	1.77
Densidad aparente g/cm ³	0.8-1.1
Higroscopicidad (a 30°C)	20

Estas propiedades se utilizan para los balances de materia que se realizan en el diseño de proceso de obtención de sulfato de amonio a partir de ácido sulfúrico e hidróxido de amonio.

2.8.2 Obtención de sulfato de amonio

A nivel industrial el sulfato de amonio en la mayoría de los casos implica un subproducto de otros procesos como por ejemplo: obtención de compuestos cianurados e incluso de una planta de ácido para procesos de decapado de metales. Existen dos métodos que se aplican a nivel industrial para su obtención, el primero consiste en la reacción entre ácido sulfúrico al 30 a 50% y amoniac gaseoso.

Neutralización

2.8.3 Reacciones de neutralización

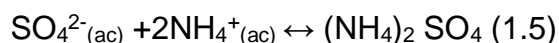
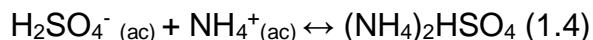
La neutralización es un término aplicado a la reacción entre un ácido y una base del cual se obtiene como producto una sal y agua, aunque la formación de agua puede verse condicionada a que la base fuerte, de hecho si un ácido reacciona con una base como amoniaco no forma agua pero sigue siendo una reacción de neutralización.

La sal formada contiene el catión proveniente de la base y el anión que viene del ácido. Mediante estas reacciones las propiedades de ácidos y base son neutralizadas.

La teoría de Bronsted- Lowry es la que mejor describe el comportamiento de ácidos y base en solución acuosa, en ese caso un ácido se define como una sustancia donadora de protones H^+ y su base conjugada, mientras que una base sería una sustancia receptora de protones.

Pero un ácido no podrá donar su protón o protones mientras no exista otra sustancia que lo recepte, es entonces cuando el agua juega su papel ya que presenta propiedades básicas, es por ello que al disolverse en agua el ácido sulfúrico se disocia de acuerdo a las ecuaciones (1.4) y 1.5) y puede combinarse de estas dos maneras con el amoniaco.

Sin embargo los posibles productos pueden ser tanto el sulfato de amonio que es el interés de esta tesis, así como el bisulfato de amonio que sería una reacción paralela dentro del proceso de obtención, por este motivo se necesita una comparación del producto con respecto a sulfato de amonio grado reactivo.



Solución amortiguadora

Cuando al añadir pequeñas cantidades de ácido o base a una solución y esta presenta Resistencia a los cambios de pH entonces se habla de una solución amortiguadora. Este fenómeno se debe al efecto del ion común gracias al cual un electrolito débil recibe de otra forma inhibe su ionización. Como ejemplo de este tipo de soluciones se puede citar:

-Acido débil y la sal del ácido débil: ácido acético y acetato de sodio.

- Base débil y la sal de la base débil: amoniaco y cloruro de amoniaco (Hein y Arena, 2005, pp.417,418,419; Whitten et al. 2008, pp.742,743).

2.8.4 Calor de reacción

La energía calorífica que entrega o absorbe el sistema para evitar que su temperatura cambie durante la transformación de reactivos a productos es conocida como calor de reacción.

En este caso de la formación de sulfato de amonio a partir de ácido sulfúrico e hidróxido de amonio, al considerar los calores de formación para la estimación de la cantidad de energía desprendida en la reacción se puede estimar con la ecuación (1.6).

$$\Delta H_{fRX} = \sum n_{\text{productos}} \cdot H^{\circ}_{f \text{ productos}} - \sum n_{\text{reactivos}} \cdot H^{\circ}_{f \text{ reactivos}} \quad (1.6)$$

Donde:

ΔH_{fRX} : Calor de reacción.

$n_{\text{productos}}$: Coeficientes estequiométricos de los productos.

$H^{\circ}_{f \text{ productos}}$: Entalpia de formación estándar de los productos.

$n_{\text{reactivos}}$: Coeficientes estequiométricos de los reactivos.

$H^{\circ}_{f \text{ reactivos}}$: Entalpía de formación estándar de los reactivos.

De acuerdo con la reacción presentada en la ecuación (1.7) y los datos de las entalpias de formación de las especies implicadas que se pueden ver en la tabla (1.3) se puede estimar el calor reacción con la ecuación (1.6).

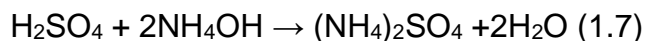


TABLA 1.3 Entalpías de formación estándar

Especie	Entalpía de formación (kJ/mol)
Ácido sulfúrico	-814,00
Hidróxido de amonio	-366,12
Sulfato de amonio	-12002,40
Agua	-258.78
Calor de reacción estimado	-11027.27

El calor estimado de reacción sería de -11027,72 kJ/mol y fue calculado con la ecuación (1.6), la importancia de este parámetro sobre la necesidad de garantizar un proceso seguro y manejable para los operadores del proceso, pues el carácter exotérmico de una reacción puede expresarse en un incremento brusco en la temperatura lo cual puede generar un riesgo físico.

Evaporación, cristalización y secado.

2.8.5 Evaporación

Una vez mezclado los reactivos en solución se procede a las siguientes etapas del proceso y entre ellas la siguiente es la evaporación. La evaporación es una operación unitaria mediante la cual se separa el solvente volátil del soluto no volátil de una solución, dicho solvente generalmente es el agua, el objetivo es obtener como producto final una solución de mayor concentración a la inicial. (McCabe, Smith y Harriot, 2002, p. 511).

2.8.6 Variación del punto de ebullición

Un suceso comúnmente observado en el proceso de evaporación es la elevación en el punto de ebullición de la solución, ya que debido a la presencia de un soluto no volátil el sistema hierve a una temperatura mayor a la del solvente puro. Esta variación en la temperatura de ebullición de la solución y el solvente a una presión determinada se conoce como BPE (boiling point elevation) (McCabe, et al, 2002, p. 519; Maron y Prutton, 2002, p. 323).

En soluciones concentradas puede depender de la naturaleza del soluto, pero en general dependerá de la naturaleza del solvente y la concentración de soluto. La presión de vapor de la solución será siempre menor a la del solvente puro, se puede ver que para alcanzar una misma presión de vapor es necesario llegar a una mayor temperatura (Maron y Prutton, 2002, p. 323, 324).

Capítulo 3

3.1 Riqueza o concentración de los abonos o fertilizantes NPK

Se entiende como riqueza graduación, análisis o concentraciones de un abono la cantidad de elemento nutrición asimilable que contiene por unidad de peso de producto.

La determinación del contenido de elemento asimilable que define la riqueza del fertilizante obedece a unas normas concretas de análisis para cada tipo de fertilizante en particular que, de algún modo, se estima que refleja la cantidad de elemento que puede participar activamente en las reacciones del sistema suelo-planta. Al analizar las propiedades específicas de los principales fertilizantes, se examinará el valor agronómico del contenido fertilizante en cada caso.

En el caso de los fertilizantes simples, la riqueza o unidad fertilizante corresponde a la cantidad del único elemento nutritivo que contiene, expresada en porcentaje o lo que es igual, en Kg. de elemento por cada 100 Kg. de producto. Las unidades empleadas en España para expresar la riqueza de elementos nutritivos, son:

N para el nitrógeno

P2O5 para el fósforo

K2O para el potasio

CaO, para el calcio.

MgO, para el magnesio.

SO3, para el azufre.

B, para el boro.

Cl, para el cloro.

Co, para el cobalto.

Cu, para el cobre.

Fe, para el hierro.

Mn, para el manganeso.

Mo, para el molibdeno.

Zn, para el cinc.

En los demás nutrientes se utiliza el propio elemento, con la excepción del calcio (CaO) y el magnesio (MgO), en que se utilizan igualmente los óxidos correspondientes. En muchos países se viene utilizando ya el elemento como unidad en todos los casos.

La relación existente entre las unidades indicadas y el elemento correspondiente que permite calcular las cantidades o riquezas equivalentes, es decir, el factor de conversión en cada caso, es:

Fósforo: $P_2O_5 = P \times 2,3$

Potasio: $K_2O = K \times 1,2$

Calcio: $CaO = Ca \times 1,4$

Magnesio: $MgO = Mg \times 1,7$

Por lo tanto, la riqueza de un fertilizante fosfatado se puede expresar, tanto en P_2O_5 como en P, bastando para pasar de una a otra, multiplicar o dividir por el factor de conversión correspondiente. Así, un fertilizante con 46% de riqueza en P_2O_5 equivale a un contenido en P de 20% aproximadamente.

En los fertilizantes compuestos es necesario indicar la riqueza de todos los elementos que entran a formar parte de su composición y, en particular, de los tres elementos principales N-P-K. Para definir el fertilizante compuesto basta indicar tres cifras que corresponden a las riquezas de los elementos precisamente en el orden N-P-K. Así, un abono compuesto 8-24-16, contiene 8% de N, 24% de P_2O_5 y 16% de K_2O . Cuando el abono compuesto tiene, además, otros elementos, se expresan a continuación, pero con indicación del elemento específico. Por ejemplo, el compuesto 8-24-16-2MgO,2B, contiene además 2% de MgO y 0,2% de Boro.

En la mayoría de los países se han establecido unas cantidades mínimas para poder considerar que un determinado producto contiene el elemento en cuestión. En España, los contenidos mínimos establecidos son los siguientes:

Hierro (Fe) 0,1%

Zinc (Zn) 0,05%

Boro (B) 0,02%

Molibdeno (Mo) 5 ppm

Manganeso (Mn) 0,05%

Cloro (Cl) 0,1%

Cobre (Cu) 0,05%

Concentración

En los fertilizantes compuestos o complejos la suma de la riqueza de los tres elementos principales determina la cantidad total de contenido útil del abono y se denomina concentración total.

Mediante este concepto que en los abonos simples equivale a la riqueza, se puede calificar a los fertilizantes por su contenido relativo de elementos fertilizantes. De este modo, y un tanto arbitrariamente se clasifican los fertilizantes, según su nivel de riqueza como de baja o alta concentración. En el caso particular de los abonos compuestos, se suele considerar el 35% como frontera entre ambos tipos.

Esto es, son abonos compuestos de alta graduación los que tienen 35% o más, de concentración total.

Equilibrio

Este es un concepto exclusivo de los fertilizantes compuestos o complejos, ya que se refiere a la relación que existe entre los tres elementos componentes de este tipo de abonos. Generalmente, para calcular la relación de equilibrio se toma como referencia el nitrógeno, obteniéndose por tanto dicha relación, dividiendo cada riqueza de la fórmula del complejo o compuesto N-P-K por la riqueza en nitrógeno.

Estado físico

El estado físico en que se presenta un abono, que puede ser sólido, líquido y gaseoso. Juega un papel importante en las condiciones de utilización y la eficacia del abono, ya que tanto la homogeneidad de la distribución como su integración más o menos completa en el suelo, van a depender de dicha presentación.

Los abonos sólidos son los de mayor uso en España y suelen presentarse en las siguientes formas:

a) Abonos en polvo, con grado de finura variable según el tipo de fertilizante. Normalmente no son aconsejables, ya que su manejo resulta molesto, entorpecen el funcionamiento de las máquinas y sufren pérdidas en la manipulación. Sin embargo, esta forma sin puede ser apropiada cuando la solubilidad en agua es escasa o nula, y resulta idónea en los casos en los que el abono se mezcla íntimamente con el suelo.

b) Abonos granulados. Aquéllos en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de 1-4 mm. Esta presentación permite un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento de las abonadoras, una dosificación más exacta y una distribución sobre el terreno más uniforme.

c) Abonos cristalinos, que facilitan la manipulación y distribución.

d) Abonos perlados (prill). Mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño muy uniforme, al solidificarse las gotas durante la caída.

e) Abonos macrogranulados. Constituidos por grandes gránulos, de 1-3 cm de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos.

Dentro de los **fertilizantes líquidos**, los tipos más característicos son los siguientes:

a) Suspensiones. Gracias a la utilización de arcillas dispersas en el agua pueden mantenerse soluciones sobresaturadas de alguna sal (generalmente cloruro potásico) para alcanzar concentraciones totales elevadas en forma líquida. Para mantener las suspensiones se requiere una agitación periódica.

b) Soluciones con presión: soluciones acuosas de nitrógeno en las que participa como componente el amoníaco anhidro con concentración superior a la que se mantiene en equilibrio con la presión atmosférica. Para su aplicación se requieren equipos especiales que soporten la presión adecuada.

c) Soluciones normales o claras sin presión: soluciones acuosas que contienen uno o varios elementos nutritivos disueltos en agua.

Los bonos líquidos ofrecen las siguientes ventajas respecto a los líquidos:

-Su manejo es totalmente mecanizable.

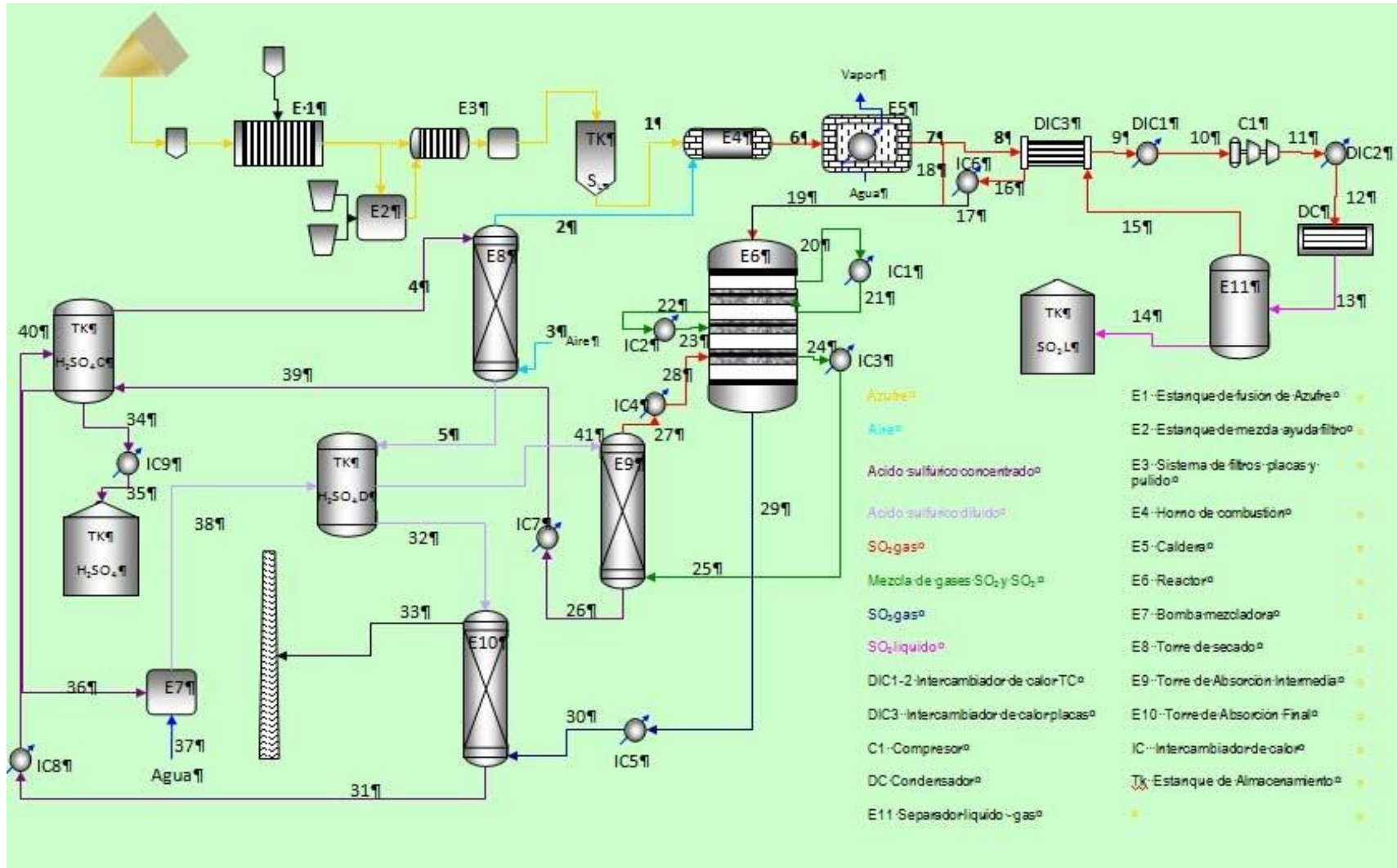
-Se alcanza un gran rendimiento en la aplicación.

-Se consigue una gran uniformidad en la distribución del terreno.

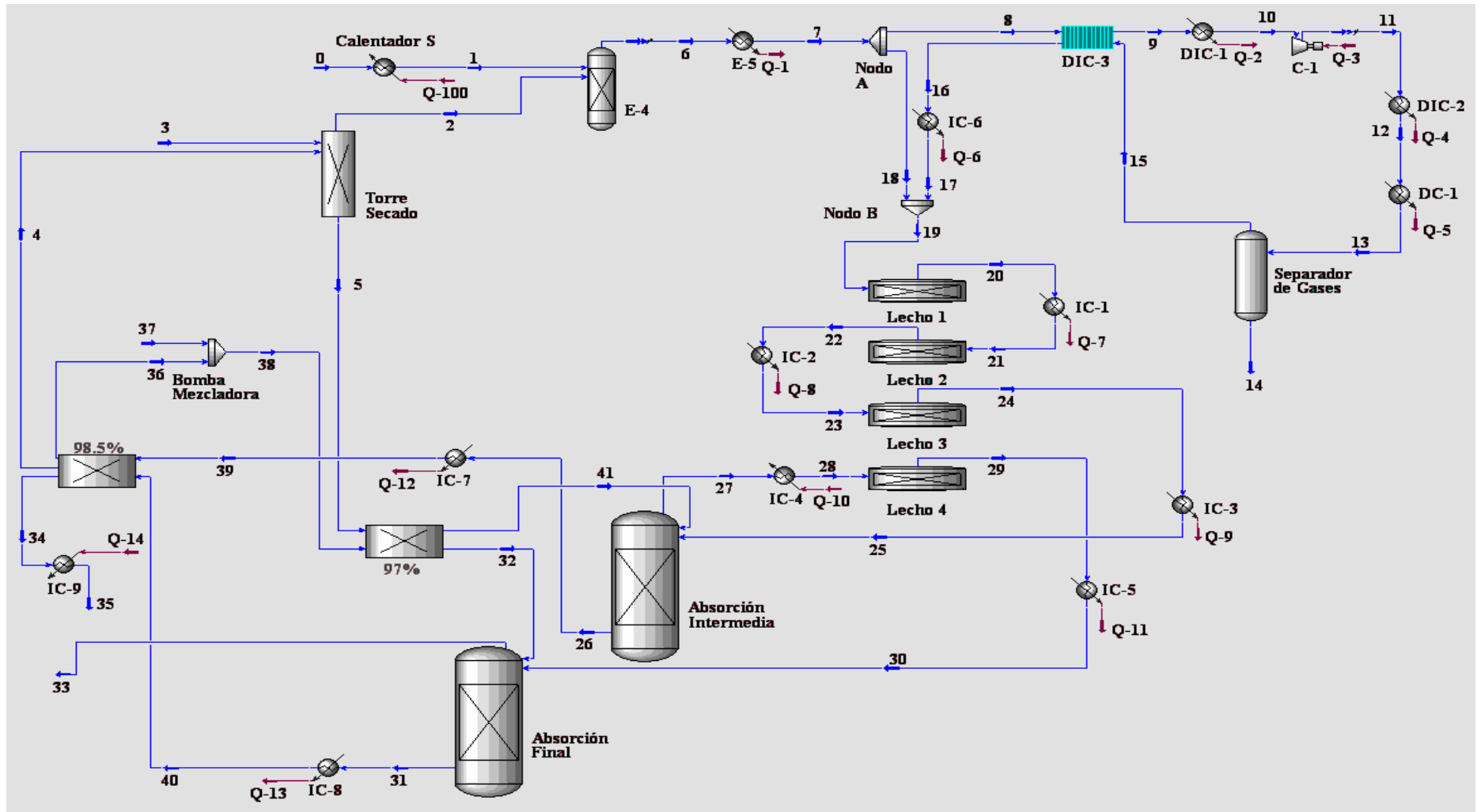
Entre los abonos gaseosos únicamente se emplea el amoníaco anhidro, que es un gas a la temperatura y presión normal. Para que pase ha estado líquido y facilitar el almacenaje y el transporte, se comprime y vuelve a transformarse en gas cuando se inyecta en el suelo.

Capítulo 4

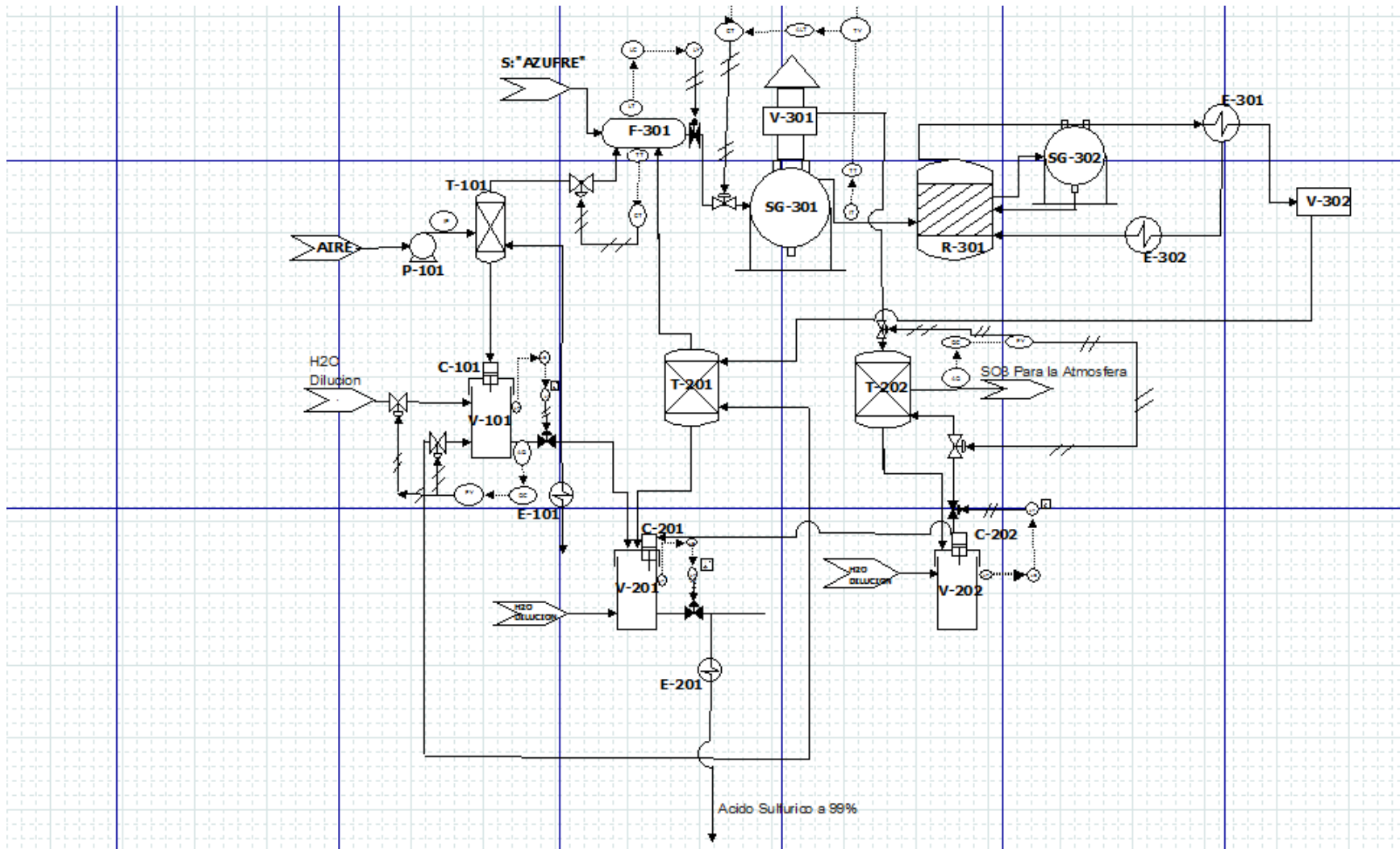
4.1 Descripción General del Proceso



4.2 Diagrama de Flujo de procesos (DFP)



4.5 Diagrama de tuberías e instrumentación (DTI)



4.6 Balance de masa y energía

En este capítulo se presentan los resultados del balance de masa y energía del proceso, incluyendo los balances de la etapa de producción de ácido sulfúrico, licuefacción de dióxido de azufre y los balances del circuito de agua y vapor.

Las condiciones en que se basan los balances son en una producción anual de 600 toneladas al año de ácido sulfúrico, 33 toneladas de dióxido de azufre, y 355 días de año de producción.

Propiedades del proceso

	1	2	3	4	5	6	7
T(°C)	150	32	19	85	85	1.006	470
P(BAR)	1.2	1.2	1	1.2	1.2	1.2	1.2
S(Kg/hr)	24.68 4	0	0	0	0	0	0
SO ₂ (kg/hr)	0	0	0	0	0	0	49.318
SO ₃ (kg/hr)	0	0	0	0	0	49.318	0
O ₂ (Kg/hr)	0	47.339	47.339	0	0	0	22.705
N ₂ (Kg/hr)	0	156.39 0	156.30	0	0	22.705	156.39 0
H ₂ O (Kg/hr)	0	0	2.506	4.937	4.937	0	0
H ₂ SO ₄ (Kg/hr)	0	0	0	159.61 5	159.61 5	0	0
Total	24.68 4	203.72 8	206.23 4	162.04 5	164.55 1	228.41 2	228.41 2
S(%m)	100 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SO ₂ (%m)	0%	0%	0%	0%	0%	21.6%	21.6%
SO ₃ (%m)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
O ₂ (%m)	0%	23.2%	23.0%	0%	0%	9.9%	9.9%
N ₂ (%m)	0%	76.8%	75.8%	0%	0%	68.5%	68.5%
H ₂ O (%m)	0%	0%	1.2%	1.5%	3%	0%	0%
H ₂ SO ₄ (%m)	0%	0%	0%	98.5	97	0%	0%
	8	9	10	11	12	13	14
T [°C]	470	230	100	347	70	-15	-15
P [BAR]	1,2	1,2	1,2	10,0	10,0	10,0	10,0
S [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
SO ₂ [kg/h]	12.911	12.911	12.911	12.911	12.911	12.911	3.873
SO ₃ [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0

O ₂ [kg/h]	5.944	5.944	5.944	5.944	5.944	5.944	6
N ₂ [kg/h]	40.941	40.941	40.941	40.941	40.941	40.941	36
H ₂ O [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ SO ₄ [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL [kg/h]	59.796	59.796	59.796	59.796	59.796	59.796	3.915
S [%m]	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO ₂ [%m]	21,6%	21,6%	21,6%	21,6%	21,6%	21,6%	98,9%
SO ₃ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
O ₂ [%m]	9,9%	9,9%	9,9%	9,9%	9,9%	9,9%	0,1%
N ₂ [%m]	68,5%	68,5%	68,5%	68,5%	68,5%	68,5%	0,9%
H ₂ O [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%
H ₂ S O ₄ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%

	15	16	17	18	19	20	21
T [°C]	-15	250	265	470	419	597	440
P [BAR]	10,0	10,0	10,0	1,2	1,2	1,2	1,2
S [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
SO ₂ [kg/h]	9.038	9.038	9.038	36.407	45.444	18.178	18.178
SO ₃ [kg/h]	0	0	0	0	0	34.076	34.076
O ₂ [kg/h]	5.938	5.938	5.938	16.761	22.699	15.889	15.889
N ₂ [kg/h]	40.905	40.905	40.905	115.449	156.354	156.354	156.354
H ₂ O [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ SO ₄ [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL [kg/h]	55.881	55.881	55.881	168.616	224.497	224.497	224.497
S [%m]	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO ₂ [%m]	16,2%	16,2%	16,2%	21,6%	20,2%	8,1%	8,1%
SO ₃ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	15,2%	15,2%
O ₂ [%m]	10,6%	10,6%	10,6%	9,9%	10,1%	7,1%	7,1%
N ₂ [%m]	73,2%	73,2%	73,2%	68,5%	69,6%	69,6%	69,6%
H ₂ O [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%
H ₂ SO ₄ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%	0,0%	0,0%

	22	23	24	25	26	27	28
T [°C]	514	430	454	180	132	96	410
P [BAR]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
S [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
SO ₂ [kg/h]	6.817	6.817	3.181	3.181	0	3.181	3.181
SO ₃ [kg/h]	48.275	48.275	52.818	52.818	0	0	0
O ₂ [kg/h]	13.052	13.052	12.144	12.144	0	12.144	12.144
N ₂ [kg/h]	156.354	156.354	156.354	156.354	0	156.354	156.354
H ₂ O [kg/h]	0	0	0	0	13.473	0	0
H ₂ SO ₄ [kg/h]	0	0	0	0	884.591	0	0
TOTAL [kg/h]	224.497	224.497	224.497	224.497	898.064	171.679	171.679
S [%m]	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO ₂ [%m]	3,0%	3,0%	1,4%	1,4%	0,0%	1,9%	1,9%
SO ₃ [%m]	21,5%	21,5%	23,5%	23,5%	0,0%	0,0%	0,0%
O ₂ [%m]	5,8%	5,8%	5,4%	5,4%	0,0%	7,1%	7,1%
N ₂ [%m]	69,6%	69,6%	69,6%	69,6%	0,0%	91,1%	91,1%
H ₂ O [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2%	0,0%	0,0%
H ₂ SO ₄ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	98%	0,0%	0,0%

	29	30	31	32	33	34	35
T [°C]	435	140	105	85	97	85	60
P [BAR]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
S [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0
SO ₂ [kg/h]	136	136	0	0	136	0	0
SO ₃ [kg/h]	3.805	3.805	0	0	0	0	0
O ₂ [kg/h]	11.383	11.383	0	0	11.383	0	0
N ₂ [kg/h]	156.354	156.354	0	0	156.354	0	0
H ₂ O [kg/h]	0	0	970	1.827	0	1.056	1.056
H ₂ SO ₄ [kg/h]	0	0	63.719	59.057	0	69.374	69.374
TOTAL [kg/h]	171.679	171.679	64.689	60.884	167.873	70.431	70.431
S [%m]	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO ₂ [%m]	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
SO ₃ [%m]	2,2%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
O ₂ [%m]	6,6%	6,6%	0,0%	0,0%	6,8%	0,0%	0,0%
N ₂ [%m]	91,1%	91,1%	0,0%	0,0%	93,1%	0,0%	0,0%
H ₂ O [%m]	0,0%	0,0%	1,5%	3%	0%	1,5%	1,5%
H ₂ SO ₄ [%m]	0,0%	0,0%	98,5%	97%	0%	98,5%	98,5%

	36	37	38	39	40	41
T [°C]	85	25	84	85	85	85
P [BAR]	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
S [kg/h]	0	0	0	0	0	0
SO₂ [kg/h]	0	0	0	0	0	0
SO₃ [kg/h]	0	0	0	0	0	0
O₂ [kg/h]	0	0	0	0	0	0
N₂ [kg/h]	0	0	0	0	0	0
H₂O [kg/h]	10.954	11.293	22.247	13.473	970	25.357
H₂SO₄ [kg/h]	719.329	0	719.329	884.591	63.719	819.887
TOTAL [kg/h]	730.284	11.293	741.577	898.064	64.689	845.244
S [%m]	0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO₂ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
SO₃ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
O₂ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
N₂ [%m]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
H₂O [%m]	1,5%	100,0%	3,0%	1,5%	1,5%	3%
H₂SO₄ [%m]	98,5%	0,0%	97,0%	98,5%	98,5%	97,0%

4.7 Tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico concentrado se almacena en tanques de acero al carbono o acero inoxidable 304L. Se pueden usar tanques cilíndricos almacenamiento confiable y seguro depende de: verticales u horizontales.

- Diseño y construcción adecuados.
- Operación bajo limitaciones de servicio adecuadas.
- Inspección regular.
- Mantenimiento programado.

Se recomienda que los tanques tengan cubetos de contención. Los tanques, cañerías, válvulas y bombas deben estar protegidos contra colisiones de vehículos.

No se debe permitir acumulación de agua dentro de la contención, ya que si hay algún derrame se formaría ácido diluido que causa una severa corrosión de las estructuras y el hormigón.

Se adjuntan esquemas y fotos de ambos tipos de tanques.

Para la reparación de los tanques es necesario lavar y neutralizar, ya que hay acumulación de hidrógeno en los mismos, y este gas forma mezclas explosivas con el aire.

Tanques verticales:

-Deben tener un espesor mínimo para las paredes y el fondo de 3/16".

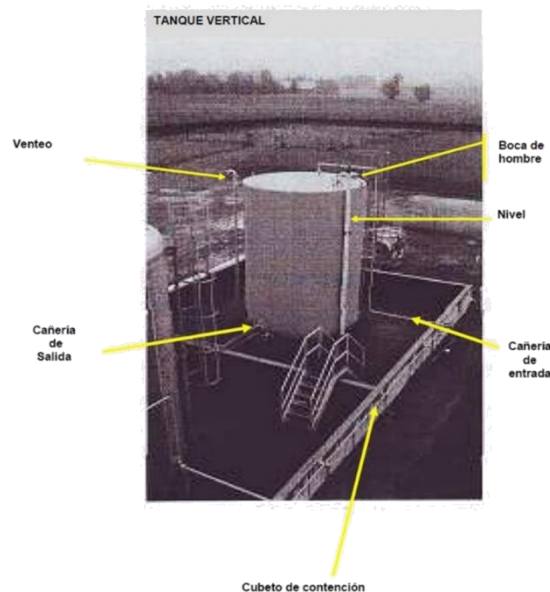
-El techo debe ser autoportante y debe tener un venteo en el centro para prevenir la acumulación de hidrógeno.

-Deben contar con boca de hombre.

-El caño de entrada de ácido debe entrar próximo al centro del techo y tener más de 15 cm por debajo del techo. Puede ser de acero al carbono o acero inoxidable 304L y de diámetro 1 1/2", con un largo máximo de 30 metros y una altura máxima de 10 metros. El extremo para la conexión al camión debe tener un manguito roscado tipo danés de 1 1/2".

-El caño de salida puede ser de acero al carbono o acero inoxidable. Es recomendable el uso de 2 válvulas a la salida de acero inoxidable.

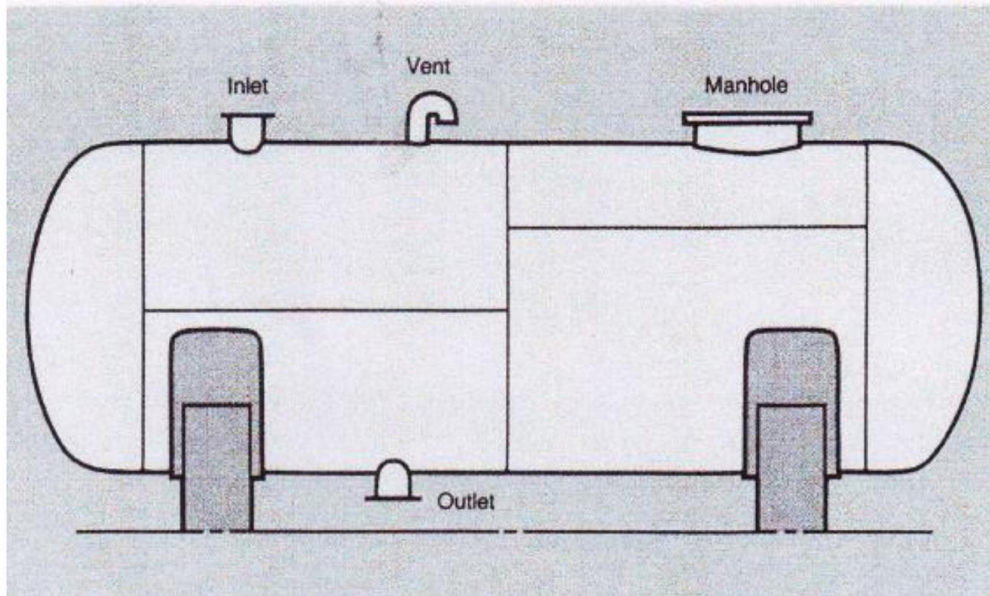
-sistema de nivel recomendado es con flotador o boya en acero inoxidable o polietileno, cuerda de polietileno e indicador externo.



Tanques horizontales:

-Deben tener un espesor mínimo de pared de 3/16". Deben tener una salida en el fondo. Es recomendable el uso de 2 válvulas a la salida en acero inoxidable. Deben tener un tubo de venteo sobre el centro.

-Para la cañería de descarga rigen las mismas condiciones que para los tanques verticales.



4.8 Conclusiones

-Los fertilizantes nitrogenados son necesarios debido a que el nitrógeno es considerado el nutriente más importante para la producción de alimentos de origen vegetal.

-La fertilización nitrogenada incontrolada causa procesos de contaminación de las aguas por nitratos, ya que los nitratos son altamente móviles y son arrastrados por procesos de lixiviación. Por tanto, se debe tener una red de vigilancia adecuada para mantener las concentraciones bajo control. La mayoría de la población no está expuesta a niveles de nitratos y/o nitritos lo suficientemente altos como para experimentar alguna reacción adversa, gracias a los controles que impone la legislación. Sin embargo, en zonas donde las redes de vigilancia no son las adecuadas se puede ver afectada la población más vulnerable (niños lactantes).

-Las personas que participan del proceso de fabricación, transporte, manipulación y aplicación de los fertilizantes nitrogenados deberán cumplir escrupulosamente con los requisitos que marca la legislación, para evitar afecciones derivadas de su utilización.

-Actualmente se están desarrollando nuevos grupos fertilizantes nitrogenados de liberación lenta o los fertilizantes estabilizados para proporcionar un suministro de nitrógeno que evite o minimice los procesos de contaminación.

-Por último, los fertilizantes son un factor más a considerar en la explotación, junto al suelo, variedad, rotación, agua, etc. Del buen manejo de todos los factores, de su adaptación a las condiciones únicas de cada lugar, dependerán qué se obtengan unos buenos resultados tanto económicos como medioambientales.

Anexos

Estas poblaciones de riesgo deberán cumplir escrupulosamente con las normas de manipulación establecidas:

-Reglamento (CE) nº 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 octubre de 2013, relativo a los abonos.

-Ley 31/1995, de prevención de riesgos laborales (BOE, 10/11/1995).

-Real Decreto 39/1997, por el que se aprueba el reglamento de prevención (BOE, 31/01/1997).

-Real Decreto 506/2013, sobre los productos fertilizantes (BOE, 10/07/2013).

-Real Decreto 2016/2004, por el que se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE APQ-8. Almacenamiento fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno (BOE, 23/10/2004).

-Real Decreto 888/2006, por el que se aprueba el reglamento sobre almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con un contenido en nitrógeno igual o inferior al 28% de masa (BOE, 31/08/2006).

Clave de la Norma	Fecha	Descripción
<u>NOM-039-SEMARNAT-1993</u>	22/10/1993	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.
<u>NOM-039-ECOL-1993</u>		
<u>NOM-040-SEMARNAT-2002</u>	18/12/2002 20/04/2004	Protección ambiental - Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera.
<u>Modificación a la Norma 20 abril de 2004</u>	22/10/1993	- Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas provenientes de las fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.
<u>NOM-040-ECOL-1993</u>		

<p>NOM-043- SEMARNAT- 1993</p>	<p>22/10/1993</p>	<p>Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.</p>
<p><u>NOM-043- ECOL-1993</u></p>		
<p><u>NOM-046- SEMARNAT- 1993</u></p>	<p>22/10/1993</p>	<p>Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico, provenientes de ácido dodecilbencensulfónico en fuentes fijas.</p>
<p><u>NOM-046- ECOL-1993</u></p>		
<p>NOM-051- SEMARNAT- 1993</p>	<p>22/10/1993</p>	<p>Que establece el nivel máximo permisible en peso de azufre, en el combustible líquido gasóleo industrial que se consume por las fuentes fijas en la zona metropolitana de la Ciudad de México.</p>
<p><u>NOM-051- ECOL-1993</u> Norma cancelada por nom-86</p>		
<p>NOM-075- SEMARNAT- 1995</p>	<p>26/12/1995</p>	<p>Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.</p>
<p><u>NOM-075- ECOL-1995</u> <u>Norma cancelada mediante aviso publicado el 23 de mayo de 2012</u></p>		
<p>NOM-085- SEMARNAT- 1994</p>	<p>02/12/1994</p>	<p>Contaminación atmosférica-Fuentes fijas- Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de</p>
<p><u>NOM-085- ECOL-1994</u></p>		

		azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.
<u>NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005</u>	30/01/2006 03/10/2006	Contaminación atmosférica-Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.
<u>Modificación</u>		
<u>NOM-086-ECOL-1994</u>		
<u>NOM-092-SEMARNAT-1995</u>	06/09/1995	Que regula la contaminación atmosférica y establece los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.
<u>NOM-092-ECOL-1995</u>		
<u>NOM-093-SEMARNAT-1995</u>	06/09/1995	Que establece el método de prueba para determinar la eficiencia de laboratorio de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo.
<u>NOM-093-ECOL-1995</u>		
<u>NOM-097-SEMARNAT-1995</u>	01/02/1996	Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.
<u>NOM-097-ECOL-1995</u>		
<u>NOM-105-SEMARNAT-1996</u>	02/04/1998	Que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.
<u>NOM-105-ECOL-1996</u>		
<u>NOM-121-SEMARNAT-1997</u>	14/07/1998	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COVs) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y
<u>NOM-121-ECOL-1997</u>		

		utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.
<u>NOM-123-SEMARNAT-1998</u>	14/06/1999	Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.
<u>NOM-123-ECOL-1998</u>		
<u>NOM-137-SEMARNAT-2003</u>	30/05/2003	Contaminación Atmosférica - Plantas desulfuradoras de gas y condensados amargos - control de emisiones de compuestos de azufre.

Norma Oficial Mexicana: NOM-053-STPS-1993. Higiene Industrial - Medio ambiente laboral - Determinación de ácido sulfúrico en aire - Método volumétrico.

Introducción.

Sustancia: Ácido sulfúrico.

Medio ambiente:
Aire.

Nivel máximo de concentración permisible: El establecido en la NOM-010-STPS (véase apéndice). Rango: 0.561 - 2.577 mg./m³.

Precisión: (CV_T): 0.082.

Procedimiento: Recolección por filtro, titulación con perclorato de bario.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento volumétrico para la determinación de ácido sulfúrico en el aire del medio ambiente laboral.

Principio del método.

Un volumen conocido de aire es pasado a través de un filtro de membrana de celulosa para atrapar la substancia particular.

El filtro es transferido a una botella con tapa roscada y tratado con agua destilada y alcohol isopropílico.

El pH de la muestra se ajusta con ácido perclórico diluido.

La solución resultante se titula con perclorato de bario 0.005 M usando "thorin" como indicador. Hay un pequeño cambio de color amarillo a color albaricoque al llegar al punto final.

Rango y sensibilidad.

Este método fue validado en rango de 0.561 - 2.577 mg./m³ a temperatura y presión atmosférica de 295 °K y 101.858 kPa (22 °C y 764 mm. Hg), usando una muestra de 180 L. El rango probable de uso de este método es 0.1 - 3.0 mg./m³ para una muestra de 180 L.

El límite superior del rango del método depende de la eficiencia de recolección del filtro de membrana de celulosa. Si se muestran concentraciones mayores que éstas, debe usarse un volumen de muestra menor. La eficiencia de recolección para el ácido sulfúrico fue determinada con 0.967 ± 0.03 cuando se muestreó por 120 min a una velocidad de 1.5 L/min en una atmósfera de prueba que contenía 2.577 mg./m³.

Interferencias.

Cuando se sospeche que están presentes en el aire cualquier tipo de sulfatos, aparte el ácido sulfúrico, se debe informar acerca de las sospechas de las identidades de éstos, junto con la muestra.

Se pueden eliminar las interferencias de iones metálicos haciendo pasar la solución a través de una resina intercambiadora de cationes.

Si existen concentraciones mayores de iones fosfato que de iones sulfato, causan una interferencia apreciable. Los fosfatos pueden ser removidos por precipitación con carbonato de magnesio.

Precisión y exactitud.

El coeficiente de variación (CV_T) para el método total de análisis y muestreo en el rango de 0.561 - 2.577 mg./m³ es de 0.082 mg./m³ del nivel de concentración establecido en la NOM-010-STPS, (véase apéndice).

La eficiencia de recolección de 0.967 ± 0.030 (esencialmente 1.0) está determinada por medio de recolección. No es necesario aplicar un factor de corrección a la eficiencia de recolección, y esto se asume si no hay interferencia en el transcurso de la toma de muestras. No había desviación aparente en el método analítico y de muestreo, para el cual fue hecha una corrección al método analítico M.R.A. (véase 9.52). El valor del (CV_T) es satisfactorio para la precisión y exactitud del método de muestreo y análisis.

Normatividad de NOM establecidas por PEMEX en la utilización de ácido sulfúrico al 98 por ciento.

NOM-004-SCT-2008. Sistemas de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.

NOM-008-SCFI-2002.

Sistema general de unidades de medida.

NOM-018-STPS-2000.

Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

NMX-K-002-1977.

Ácido Sulfúrico.

NMX-K-071-1981.

Solventes industriales – Gravedad específica – Determinación.

NMX-K-224-1968.

Método de prueba para la determinación del residuo por calcinación en ácido sulfúrico.

NMX-K-225-1968.

Determinación de nitratos en ácido sulfúrico. (Método de brucina).

NMX-K-226-1979.

Ácido sulfúrico - Determinación de acidez total.

NMX-K-227-1968.

Determinación de arsénico en ácido sulfúrico.

NMX-K-228-1968.

Método de prueba para la Determinación de cloruros en ácido sulfúrico.

NMX-K-229-1968.

Determinación de metales pesados en ácido sulfúrico.

NMX-K-230-1968.

Método de muestreo para ácido sulfúrico.

NMX-K-233-1970.

Método de prueba para la determinación de hierro en ácido sulfúrico.

Glosario

Ácido: es aquella sustancia que dona un catión hidrógeno (H^+) a otra sustancia llamada base. Puede existir en estado sólido, líquido o gas, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre, ya sea en estado puro o en disolución.

Aleación: se define como la mezcla de dos o más metales o de metales con no metales, de tal forma que la mezcla resultante presenta características metálicas diferentes a las propiedades del metal que le dan origen; comúnmente estas propiedades son mejoradas o potenciadas.

Cinética química: estudia las velocidades y los mecanismos de las reacciones químicas bajo los que ocurren los procesos químicos.

Compuesto: sustancia que resulta de la unión química de dos o más elementos en proporciones definidas, se combina de tal manera que ya no es posible identificarla por sus propiedades originales e individuales y solamente por medio de una acción química se le puede separar.

Densidad: se refiere a la relación que hay entre la masa y el volumen.

Disolución: es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias puras que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporciones variables.

Ecuación química: es la representación escrita, abreviada y simbólica de una reacción química; nos proporciona un medio para mostrar un cambio químico, los reactivos y los productos, su composición atómica y la relación molecular donde interviene.

Electronegatividad: es una propiedad periódica que indica la tendencia de un átomo para atraer hacia sí a los electrones.

Electrón de valencia: es aquél que se encuentra en orbitales externos a la configuración electrónica del gas noble anterior, el cual siempre terminará con un subnivel np^6 (nótese que está lleno, o sea, tiene 6 electrones), con excepción del helio cuya configuración es $1s^2$.

Energía calorífica: es la que se refiere a la producción, transferencia y uso del calor.

Energía cinética (Ec): es la energía que tiene un cuerpo en movimiento.

Energía de ionización (EI): es aquella energía que debe aplicarse a un átomo de un elemento en estado fundamental para que éste libere un electrón y, en consecuencia, forme un catión con carga de $1+$.

Energía eléctrica: es la que se deriva del movimiento de los electrones que fluyen a través de un conductor.

Estado gaseoso: el gas no tiene forma ni volumen definido, por lo que se almacena en un recipiente cerrado. El gas tiende a ocupar todo el volumen del recipiente que

lo contiene, sus partículas poseen una elevada energía cinética y presentan movimientos desordenados.

Estado líquido: en este estado también ocupa un volumen fijo. El volumen del líquido tomará la forma del recipiente que lo contiene, la movilidad y las fuerzas de cohesión de sus partículas son intermedias.

Estado sólido: en este estado las sustancias ocupan un volumen definido, generalmente tienen forma y firmeza determinada, y la movilidad de sus partículas es casi nula ya que existe gran cohesión entre ellas.

Estado de agregación de la materia: puede ser sólido, líquido, gas y plasma.

Fenómeno químico: ocurre cuando el cambio modifica la naturaleza íntima de la materia; después del cambio se tienen sustancias diferentes con propiedades distintas, por ejemplo: combustión, corrosión, fermentación, fotosíntesis, funcionamiento de un acumulador, digestión, acción de un medicamento, revelado de fotos, etcétera.

Materia: es todo aquello que tiene masa, ocupa un lugar en el espacio y requiere energía para un cambio o transformación.

Óxido metálico: resulta de la unión química del oxígeno (O^{2-}) con un metal (M^+).

Óxido no metálico: resulta de la unión química del oxígeno (O^{2-}) con un metal (M^+).

Punto de fusión: es la temperatura a la cual la estructura de un sólido cambia para adquirir la de un líquido.

Química: es la ciencia que trata de la composición, la estructura, las propiedades y las transformaciones de la materia, así como de las leyes que rigen dichas transformaciones.

Química analítica: estudia los métodos de reconocimiento y determinación de los elementos que conforman a las sustancias; se divide en cualitativa y cuantitativa.

Reacción endotérmica: la absorción del calor por la disminución de la temperatura.

Reacción exotérmica: la liberación de calor por el aumento de temperatura.

Reacción redox: es toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

Sales: son un amplio grupo de sustancias formadas por un catión unido a un anión por un enlace iónico, con amplias aplicaciones, dependientes de su estructura.

Sal ácida: es el resultado de la sustitución parcial de los hidrógenos de un oxiácido por un metal cuando reaccionan con una base.

FICHA TECNICA DE ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362



ACIDO SULFURICO
 Aceite de vitriolo
 H_2SO_4
 Masa molecular: 98.1

Nº	CAS	7664-93-9
	RTECS	WS5600000
	ICSC	0362
	NU	1830

CE 016-020-00-8

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes en caso de incendio.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores, agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.

<ul style="list-style-type: none">• PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua
---	---	--	---

	graves.		Abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, vómitos, colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes y alimentos y piensos (véanse Notas). Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable (véanse Notas).	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)26-30-45 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE:

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0362

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

ACIDO SULFURICO

ICSC: 0362

D A T O S I M P	ESTADO FISICO; ASPECTO	VIAS DE EXPOSICION
	Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.	La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION
	PELIGROS QUIMICOS	La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una
	Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.	

La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es

EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION

La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

O R T A N T E S	<p>corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8</p>	<p>Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>	
NOTAS		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-10B Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-011 ACIDO SULFURICO		
ICSC: 0362	ACIDO SULFURICO	
© CCE, IPCS, 1994		

O R T A N T E S	<p>corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentar se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (óxido de azufre).</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 1 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 3 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).</p>	<p>Corrosiva por ingestión. La inhalación del aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar erosiones dentales.</p>
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8	Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.	
NOTAS		
<p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-10B Código NFPA: H 3; F 0; R 2; W</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-011 ACIDO SULFURICO		
ICSC: 0362	ACIDO SULFURICO	
© CCE, IPCS, 1994		

Bibliografía

Bibliografía

<http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/557/9/RCE9.pdf>

<file:///C:/Users/andre/Documents/SERVICIO%20SOCIAL%20ACIDO%20SULFURICO/art18-06.pdf>

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0362.pdf>

http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/acido_sulfurico.pdf

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2017/05/HDS-Acido-sulfurico-NOM-018-2015-MARY-MEAG-Hoja-de-datos.pdf>

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4795422&fecha=22/10/1993

<http://www.tecnicoagricola.es/riqueza-o-concentracion-de-los-abonos-o-fertilizantes-npk/>