

**DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE PML
PARA LA EMPRESA QUIMICAMPO LTDA**

**ING. JUAN FERNANDO CAMARGO POSADA
ING. IVÁN CAMILO MONCADA RASMUSSEN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2.008**

**DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE PML
PARA LA EMPRESA QUIMICAMPO LTDA**

**ING. JUAN FERNANDO CAMARGO POSADA
ING. IVÁN CAMILO MONCADA RASMUSSEN**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
ING. JORGE MENESES G.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2.008**

Ni la Universidad Industrial de Santander, los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

*Damos gracias a Dios
Por haber hecho posible
El alcanzar una meta mas en.
Nuestras vidas, a nuestros padres por
Su apoyo incondicional*

*Juan Fernando Camargo P.
Iván Camilo Moncada R.*

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A QUIMICAMPO, por su apoyo en la ejecución de este proyecto en cuanto a información y recursos.

Ing. Jorge Meneses G, Director de este proyecto por su colaboración y guía para la elaboración de este trabajo.

A todos nuestros compañeros de trabajo que hicieron posible esta odisea.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3. METODOLOGIA.....	6
4. GENERALIDADES.....	8
4.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PRODUCCIÓN DE SULFATOS	8
4.1.1 Grados de hidratación.....	8
4.1.2 Solubilidad en agua	8
4.1.3 Cristalización	9
4.2 SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO.....	10
4.2.1 Propiedades físicas y químicas.....	11
4.2.2 Especificaciones	12
4.2.3 Riesgos por su manipulación.....	12
4.2.4 Protección personal.....	12
4.2.5 Aplicaciones del sulfato de cobre.....	13
4.2.6 Productos sustitutos del sulfato de cobre.....	14
4.2.7 Procesos de obtención	15
4.2.7 Materias primas	20
4.3 GENERALIDADES SOBRE SULFATO DE CINC	25
4.3.1 Formas hidratadas y anhidra.....	25
4.3.2 Obtención	26
4.3.3 Usos	26
4.4 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA	27
4.4.1 Beneficios de la implementación de mejores prácticas como las de la producción más limpia.	27
4.4.2 Otras definiciones de producción más limpia.....	28
5. DIAGNOSTICO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.....	31
5.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	31
5.1.1 COMPONENTES MEDIOAMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS	34
5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS.....	35
5.2.1 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	35
5.2.2 EQUIPOS DEL PROCESO	36
5.2.3 CARACTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS.....	37
5.3 SULFOXIDO DE CINC.....	45
5.4 SULFATO DE CINC	46
5.5 SULFATO DE COBRE	48
5.6 BALANCES DE MASA	50
5.6.1 SULFOXIDO DE CINC.....	50
5.6.2 SULFATO DE CINC	52
5.6.3 BALANCE DE PRODUCCIÓN DE SULFATO DE COBRE.....	56
5.7 CONSUMOS ENERGETICOS.....	62

5.7 IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS CONTAMINANTES, APROVECHAMIENTO DE RECURSOS E INEFICIENCIAS ENERGETICAS.....	63
6. DESARROLLO DE PRODUCCION MAS LIMPIA.....	65
6.1 MANEJO DE FINOS EN EL MOLINO.....	65
6.2 CONSUMOS ENERGETICOS GAS NATURAL.....	70
6.2.1 Temperatura máxima de los gases de combustión	71
6.2.2 Calor disponible y eficiencia del proceso.....	73
6.2.3 Concentraciones de los productos de combustión.....	76
6.3 ANALISIS DE CONSUMO DE GAS DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS	80
6.4 AHORRO RECURSO HIDRICO Y APROVECHAMIENTO AGUA LLUVIA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN SULFATO COBRE Y ZINC	87
6.4.1 Captación de aguas lluvias	87
6.4.2 METODOLOGÍA APLICADA:	88
6.4.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS:	90
6.4.5 DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN	154
6.4.6 INVERSIÓN.....	154
6.4.6 INVERSIÓN.....	155
7. CONCLUSIONES.....	156
8. BIBLIOGRAFIA.....	158
ANEXOS.....	161

LISTA DE TABLAS

1 grados de hidratación - concentración del elemento g/ lt sln	25
2. Propiedades físicas y químicas del sulfato de cobre	27
3. Especificaciones del sulfato de cobre agrícola	29
4. Productos sustitutos de sulfato de cobre	31
5. Propiedades físicas y químicas del ácido sulfúrico	37
6. Propiedades físicas y químicas del cobre	39
7. propiedades físicas y químicas del ácido nítrico	39
8. Muestreo de producto en bolsas	54
9. Balance total del proceso de molienda de sulfuro de cinc	69
10. Balances de masa para la producción de sulfato de cinc	70
11. Balance de molienda de sulfato de cinc.	72
12 Balance de masa para el proceso de obtención de sulfato de cobre	76
13. Consumos energéticos mensuales de los procesos de quimicampo	78
14 Consumos de gas natural mensuales de los procesos de quimicampo	79
15 identificación de flujos contaminantes	80
16. Perdidas mensuales de finos en el molino	82
17. Costos y beneficios de la operación mensual del colector de polvos	86
18. Temperatura Vs tiempo de duración de la concentración de la solución de sulfato de cobre.	96
19. Temperatura Vs Tiempo de duración del secado de sulfato de cinc	97
20. Composición Promedio del gas Natural	99
21 Costos y beneficios de la implementación de nuevos quemadores	102
22 Promedios de precipitación mensual-Municipio Soacha	105
23 Promedios de precipitación mensual-Municipio Soacha	105
24 .Consumos y ahorros de agua (m ³ H ₂ O y (\$))-Municipio Soacha	106
25 Valor de suministro	111

LISTA DE FIGURAS

1. Ciclo de cristalización de los hidratos superiores	25
2. Diagrama de cristalización de sulfatos monohidratados	26
3. Obtención de sulfato de cobre por disolución de cobre en ácido sulfúrico	32
4. Obtención de sulfato de cobre por acción de ácido sulfúrico y oxidación	33
5. Proceso a partir de ácido sulfuroso y vapor de agua	34
6. Proceso a partir de minerales ricos en sulfato de cobre	35
7. Diagrama de producción de sulfato de cinc	41
8. Plano del municipio de Soacha	49
9. Área de influencia de la empresa	50
10. Patrón de muestreo	55
11. Diagrama de flujo del muestreo	56
12. Diagrama de tiempo y operaciones para sulfoxido de cinc	62
13. Diagrama de tiempo y operaciones para sulfato de cinc	64
14. Diagrama de tiempo y operaciones para sulfato de cobre	66
15. Balance de masa proceso de obtención de sulfoxido de cinc	67
16. Balance de masa para el proceso de obtención de sulfato de cinc	71
17. Balance de masa para la producción mensual de sulfato de cobre	77
18. Vista frontal del sistema actual de molienda	83
19. Diseño de colector de finos para el molino	84
20. Temperatura de llama Vs exceso de aire	88
21. Porcentaje de calor disponible respecto al poder calorífico	90
22. Eficiencia de combustión Vs temperatura de productos	91
23. Concentración en base seca Vs temperatura de productos para 0% de exceso	93
24. Concentración en base seca Vs temperatura de productos para 10% de exceso	94
25. Concentración en base seca Vs temperatura de productos para 15% de exceso	95
26. Concentración en base seca Vs temperatura de productos para 25% de exceso	95
27. Temperatura vs duración de la concentración de la solución de sulfato de cobre	97
28. Temperatura Vs Tiempo de duración del secado de sulfato de cinc	98
29. Consolidado histórico de precipitación anual –Municipio de Soacha	104
30. Oferta y demanda de Agua	108
31. Comparativo de Costos	109

GLOSARIO

ENTREGA: cantidad de material transferido de una vez.

FERTILIZANTE: sustancia o mezcla química natural o sintética utilizada para enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal.

HIDRATO SUPERIOR: compuestos con mas de 2 moléculas de agua enlazadas a sus estructura principal.

INCREMENTO: cantidad representativa de material tomado de una unidad de muestreo.

LOTE O PORCIÓN DE MUESTRA: es la cantidad total de material supuestamente con las mismas características a la porción que va ser muestreada usando un plan de muestreo particular.

MUESTRA AGREGADA: combinación de todos los incrementos del lote.

MUESTRA REDUCIDA: una parte representativa de la muestra agregada, obtenida mediante un proceso de reducción, de tal manera que la masa se aproxima a la de las muestras finales (de laboratorio).

MUESTRA FINAL: una parte representativa de la muestra reducida o, cuando no se requiere reducción intermedia, de la muestra agregada.

UNIDAD DE MUESTREO: cantidad definida de material con un limite que puede ser físico, por ejemplo, un contenedor; o hipotético, por ejemplo, un tiempo particular o un intervalo de tiempo, en el caso de un flujo de material.

SULFATO DE COBRE: es la sal más importante del cobre, se utiliza principalmente como pesticida agrícola y para corrección de deficiencia de cobre en los suelos.

SULFATO DE CINC: forma soluble del cinc , presenta varios hidratos de los cuales depende su concentración, empleada como enmienda de suelos en cultivos de arroz.

SULFOXIDO DE CINC: Es una mezcla física de sustancias ricas en cinc entre las que se encuentra este metal en forma de oxido o de sal principalmente, formas en las cuales el cinc es asimilable por las plantas

RESUMEN

TITULO:

DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE PML PARA LA EMPRESA QUIMICAMPO LTDA

Autor: CAMARGO POSADA, Juan Fernando Y MONCADA RASMUSSEN, Iván Camilo

Palabras Claves: Diagnóstico del proceso productivo, producción más limpia, diseño de alternativas de control, ahorro y eficiencia energética, eliminación de flujos contaminantes, sulfatos de cobre, sulfatos de cinc, sulfóxidos de cinc.

Quimicampo, ha establecido dentro de sus políticas ambientales, la reducción de los consumos energéticos, que finalmente se ven traducidos, no solamente en beneficios ambientales por la reducción de los contaminantes de los procesos productivos, si no en beneficios financieros y reducción de los costos operativos.

En este proyecto se realizó un diagnóstico de los procesos productivos de Quimicampo, para la fabricación de los sulfatos de cobre, cinc y el sulfoxido de cinc. A partir de este diagnóstico en donde se analizaron aspectos como: Balance de Masa, consumos energéticos y a través de la herramienta técnica de Producción Más Limpia se identificaron los principales flujos contaminantes, objeto de priorización de intervención. Se plantearon, analizaron y evaluaron: técnicamente, económicamente y ambientalmente, tres alternativas que finalmente dieron como resultado:

Alternativa uno (1): Manejo de finos en el molino

Alternativa dos (2): Ahorro del recurso hídrico a través del aprovechamiento del agua lluvia.

Alternativa tres (3): Reducción de los consumos energéticos de gas.

Como resultado de este análisis se obtuvo que en conjunto las alternativas reducen significativamente los costos operativos, aumentan la eficiencia de los procesos productivos, reducen de manera importante la pérdida de finos en los procesos de mezcla del sulfoxido de cinc, reducen los consumos de agua de acueducto que demandan los procesos y a través de una reconversión tecnológica en los quemadores de gas, una reducción considerable en emisiones y consumos energéticos.

* Tesis

** Escuela de Ingeniería de Química – Especialidad en Ingeniería Ambiental – Director: Jorge Meneses G.

SUMMARY

TITLE: *

**DIAGNOSIS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE PROGRAM OF PML FOR THE COMPANY
*QUIMICAMPO LTDA**

Author: CAMARGO POSADA, Juan Fernando Y MONCADA RASMUSSEN, Iván Camilo**

Key words: Diagnosis of the production process, cleaner production, the design of alternatives of control, energy savings and efficiency, elimination of flows pollutants, sulphates copper sulphate, zinc, sulfoxides zinc.

Quimicampo, has established within their environmental policies, the reduction of the energy consumption, which finally are translated, not only in environmental benefits for the reduction of pollutants of the production processes, if not in financial benefits and reduction of operating costs.

In this project was carried out a diagnosis of production processes of Quimicampo, for the manufacture of sulfates copper, zinc and the sulphoxide zinc. From this diagnosis in where they discussed aspects such as: Mass Balance, energy consumption and through the technical tool of Cleaner Production identified the main flows pollutants, the subject of prioritization of intervention. Questions were raised, analyzed and evaluated: technically, economically and environmentally three alternatives which finally were resulted in:

One Alternative (1): Handling of fine in the mill

Alternative two (2): Saving water resource management through the use of rainwater.

Alternative three (3): a lowering of the energy consumption of gas.

As a result of this analysis was that global alternatives reduce significantly the operational costs, increase the efficiency of productive processes, reduce significantly the loss of fine in the process of mixture of sulphoxide zinc, reduce the consumption of water from aqueduct that require the processes and through a conversion technology in the burners of gas, a substantial reduction in emissions and energy consumption.

* **Thesis**

** School of Chemical Engineering. Expertise in Environmental Engineering. Director Jorge Meneses G.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta hace pocos años, los esfuerzos para enfrentar la contaminación generada por las industrias se habían enfocado en el tratamiento “al final del proceso” el cual se concentra en que hacer con los residuos una vez que ya han sido creados. Los métodos de tratamiento “al final del proceso” pueden dar buenos resultados pero son generalmente muy costosos, sobre todo para empresas urbanas que carecen de espacio para la instalación de sistemas de tratamiento de baja tecnología, tal como las lagunas anaeróbicas o las lagunas de oxidación (aeróbicas).

La prevención de la contaminación desvía la atención de las operaciones de tratamiento, y en su lugar se concentra en alcanzar el uso mas eficiente de materias primas e insumos para lograr la eliminación o reducción de los subproductos indeseados, generados por los procesos de producción. La experiencia internacional ha demostrado que, a largo plazo, la prevención de la contaminación es mas efectiva desde un punto de vista económico, y mas sensata desde un punto de vista ambiental, que los métodos tradicionales de control y tratamiento "a final de proceso". Las técnicas de prevención de la contaminación pueden aplicarse a cualquier proceso de manufactura, y abarcan desde cambios operacionales relativamente fáciles de ejecutar, hasta cambios más extensos, como la substitución de insumos tóxicos o el uso de tecnologías más limpias y eficientes.

Al contrario de la inversión en sistemas de tratamientos, la cual representa solamente un costo a la empresa, la inversión en la prevención de la contaminación puede aportar beneficios económicos al lograr una mayor eficiencia en los procesos productivos. Además, la prevención de la contaminación generalmente resulta en una reducción de los costos de tratamiento o de disposición de los desechos generados, y puede facilitar el cumplimiento con las normas ambientales vigentes.

Un programa de prevención de la contaminación requiere un análisis detallado del proceso de producción y de las operaciones auxiliares de la planta, la cuantificación y caracterización de las entradas y salidas de cada proceso unitario, la evaluación de las causas de los flujos de desechos, la generación y evaluación de opciones de prevención, y la implementación y monitoreo de las opciones factibles.

Durante los últimos años, las empresas han visto como la energía ha pasado de representar un factor marginal en su estructura de costos a ser un rubro importante en la misma. Debido al fuerte incremento en el costo de la energía, las empresas se han visto en la necesidad de disminuir sus facturas energéticas o por lo menos mantenerlas a un mismo nivel. Para lograr este objetivo, cada empresa debe caracterizar y cuantificar la energía que utiliza en cada una de las actividades de su planta, y determinar las acciones pertinentes para reducir los costos energéticos sin afectar la calidad ni los niveles de su producción.

La experiencia en la aplicación de programas de ahorro de energía ha demostrado que con el incremento de la eficiencia energética se obtienen beneficios adicionales al costo de los energéticos ahorrados. Estos beneficios pueden incluir la posibilidad de incrementar la producción, la disminución de las emisiones contaminantes, y la reducción del consumo de materias primas e insumos.

El desarrollo del diagnóstico ambiental e industrial de los procesos que actualmente desarrolla "QuimiCampo" enfocados a la generación de alternativas conducentes a diseñar un programa de ahorro de energía y por ende de prevención de la contaminación desde la óptica de la producción más limpia tiene como objetivos los siguientes:

El uso o transformación de la energía en una industria impacta directa e indirectamente al medio ambiente. Los impactos directos resultan de las emisiones atmosféricas generadas por el uso de combustibles fósiles en la planta eléctrica local, que supe energéticamente a la industria, o en la industria misma (calderas, secadores, hornos). Los impactos indirectos, resultan generalmente de

las operaciones auxiliares que soportan el uso o transformación de la energía (tratamiento de agua de calderas, mantenimiento de las calderas, etc.).

El consumo de energía en una industria está fuertemente vinculado al proceso de manufactura que transforma la materia prima en productos terminados. De hecho, la mayoría de los procesos industriales requieren del uso de ambas, materia prima y energía, y generan, como resultado de ineficiencias del proceso, un flujo de residuos no deseados que contienen parte de la materia prima y la energía originalmente aplicadas al proceso. Cualquier cambio aplicado a estos procesos afectará simultáneamente los consumos de materias primas y energía así como la composición de los desechos.

Dada la interrelación entre energía y desechos generados en los procesos industriales, es generalmente difícil evaluar plenamente el impacto de una medida de ahorro de energía, o de prevención de la contaminación, sin tomar en cuenta el efecto que tendrá esta medida sobre el rendimiento ambiental y energético del proceso. Es por lo tanto beneficioso combinar los objetivos de prevención de la contaminación con los de eficiencia energética en un mismo programa, que estará enfocado a **“INCREMENTAR LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS”**.

Este programa, o programa de producción más limpia como se le llama posteriormente, utiliza una misma metodología para analizar procesos y opciones, y para generar, seleccionar e implementar medidas efectivas de prevención de la contaminación y eficiencia energética.

El ahorro de energía y el uso eficiente de materias primas no pueden llevarse a cabo si no se conoce dónde y cómo se están utilizando. En la mayoría de los casos, la definición de este punto de partida requiere de un análisis detallado, o diagnóstico, de los procesos de la planta, y de los consumos y pérdidas de energía o materias primas.

El diagnóstico de producción más limpia es una herramienta técnica utilizada para evaluar el uso de recursos por parte de la empresa y desarrollar medidas para mejorar su eficiencia. Sin embargo, el diagnóstico es una intervención temporal y no puede alcanzar ahorros significativos sin el respaldo de un programa de producción más limpia, el cual implica un compromiso y organización permanente y a largo plazo dentro de la empresa. El diagnóstico proporcionará a “QuimiCampo” la creación de un programa de implementación de las medidas de control que como resultado asegura la infraestructura técnica, administrativa y financiera para llevar a cabo con éxito las medidas de ahorro de energía y prevención de la contaminación identificadas en el diagnóstico.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y plantear las alternativas de producción más limpia de mejora en los procesos con base en el diagnostico Ambiental de Quimicampo Ltda.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar las condiciones actuales de operación de la empresa.
- Identificar deficiencias en el aprovechamiento de la energía dentro de los procesos productivos y plantear alternativas de control.
- Optimizar el consumo de materias primas.
- Plantear alternativas que optimicen el manejo de los residuos sólidos, vertimientos y emisiones atmosféricas.
- Motivar y orientar a la empresa para que establezca un programa de manejo energético que conduzca a la racionalización de consumos a ahorros y a buenas practicas

3. METODOLOGIA

INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA



Objetivos de la prevención de la contaminación por medio de la PML, como una herramienta de gestión Ambiental.



ETAPAS Y PASOS DEL DIAGNOSTICO DESDE LA PERSPECTIVA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (PML)



Etapa 1: Creación de la base de diagnostico _

Paso 1. Obtener el compromiso de la gerencia y la colaboración de los empleados.

Paso 2. Organizar el comité de PML.

Paso 3. Identificar y proponer soluciones a los obstáculos al diagnostico y mejoramiento de los procesos desde la perspectiva de la PML



Etapa 2: Actividades preparatorias de diagnóstico

Paso 4. Recopilar información sobre los procesos.

Paso 5. Definir y evaluar el proceso de producción.

Paso 6. Definir el enfoque del diagnóstico



Etapa 3: Diagnóstico - Análisis de las operaciones prioritarias_

Paso 7. Elaboración de balances de materiales y de energía para las operaciones unitarias prioritarias.

Paso 8. Definir las causas de los flujos de contaminantes y de las ineficiencias energéticas.

Paso 9. Desarrollar opciones de PML.

Paso 10. Pre-seleccionar las opciones generadas



Etapa 4: Diagnóstico - Estudios técnicos y económicos

Paso 11. Evaluación preliminar

Paso 12. Evaluación técnica

Paso 13. Evaluación económica

Paso 14. Evaluación ambiental.

Paso 15. Selección y presentación de las opciones factibles



Etapa 5: Desarrollo de alternativas de control

Paso 16. Plantear las alternativas de control y su viabilidad de implementación en "QuimiCampo".

4. GENERALIDADES

4.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PRODUCCIÓN DE SULFATOS

Las características más importantes de los sulfatos, que son aprovechadas en los procesos de obtención, son aquellas que tienen que ver con sus grados de hidratación, solubilidad y cristalización. A continuación se explican brevemente cada una de estas propiedades.

4.1.1 Grados de hidratación. Los sulfatos poseen grados de hidratación variables entre 0 y 10 lo cual condiciona la concentración del elemento de interés, disminuyendo a medida que aumenta el grado de hidratación. La Tabla 1 muestra las concentraciones de los elementos de interés en los sulfatos según el grado de hidratación de los mismos.

Tabla 1 grados de hidratación - concentración del elemento g/ lt sln

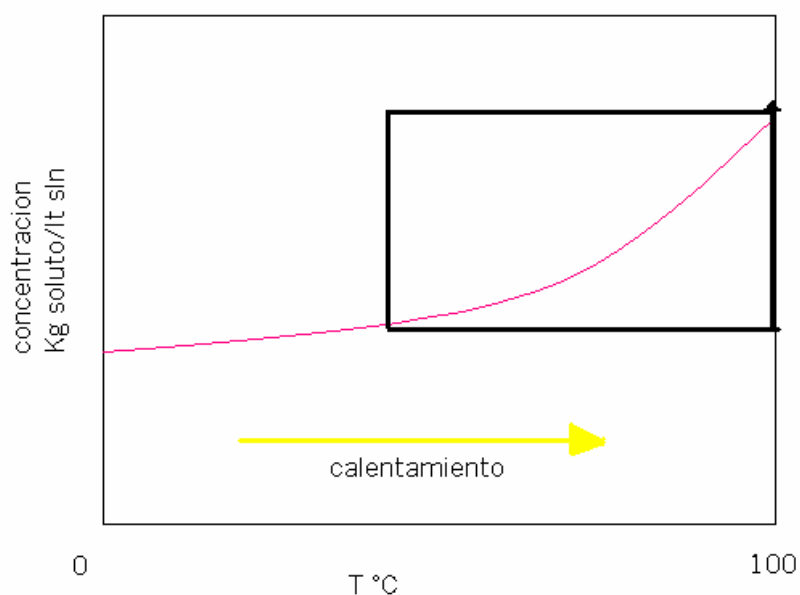
G.H	10	7	6	5	4	2	1	1/2	0
CuSO ₄	S	S	S	25,43	S	S	35,78	S	39,83
ZnSO ₄	S	22,27	24,27	S	S	S	36,4	S	40,51
FeSO ₄	S	20,10	S	S	S	S	32,88	S	36,77

Fuente: Enciclopedia de tecnología química Kirk
S: el hidrato no esta reportado.

4.1.2 Solubilidad en agua. Todos los sulfatos son ampliamente solubles en agua, a excepción del sulfato de calcio que presenta solubilidad restringida. Por lo general, la solubilidad aumenta con la temperatura, cuando esto sucede se dice que el sulfato tiene una curva de solubilidad normal. Esta ley no se cumple en algunos casos como en el sulfato de sodio anhídrido, el sulfato de manganeso monohidratado y el sulfato de zinc monohidratado en los cuales, a partir de la temperatura a la cual empiezan a ser estables dichas fases frente a la solución acuosa saturada, su solubilidad empieza a disminuir con la temperatura, este fenómeno debe ser muy tenido en cuenta en la obtención de estos sulfatos.

4.1.3 Cristalización. Normalmente los hidratos superiores* se obtienen a partir de sus soluciones mediante un ciclo de calentamiento – concentración – enfriamiento – cristalización. Este ciclo se presenta en la Figura 1 .

Figura 1 Ciclo de cristalización de los hidratos superiores



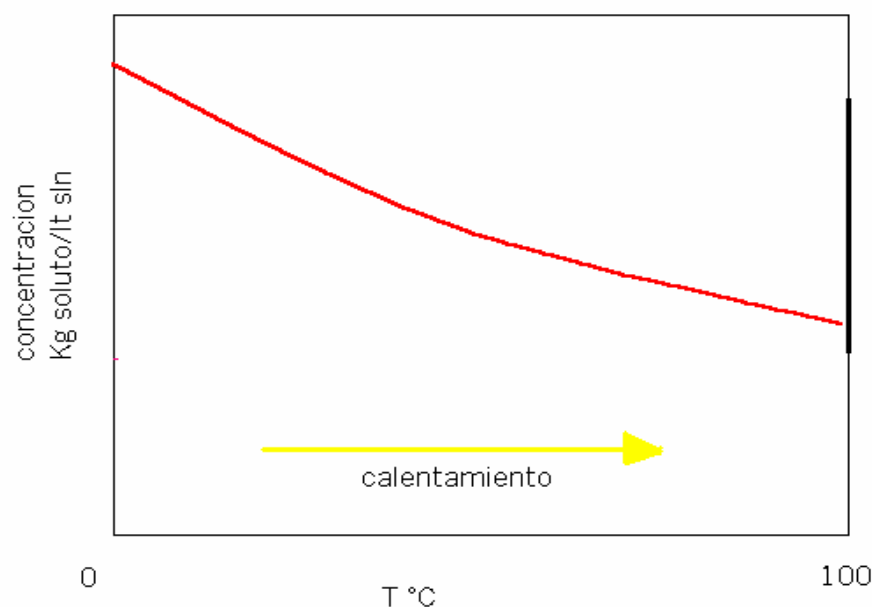
Fuente: Enciclopedia de tecnología química Kirk

Cuando la curva presenta una o varias fases invertidas no se pueden obtener hidratos superiores mediante este ciclo, de hecho, los sulfatos que presentan este tipo de curvas de concentración se obtienen en formas de monohidratos por medio del ciclo representado en la Figura 2.

Como norma general se debe señalar que la transferencia de calor a través de una interfase, ya sean, superficies metálicas o de otra naturaleza hacia soluciones saturadas que contengan fases de solubilidad invertidas a la temperatura de trabajo, genera un encostramiento sobre la superficie de transferencia, lo cual, disminuye el flujo de calor hasta llegar al punto de hacer ineficiente el proceso.

* Hidratos Superiores: Compuestos con mas de 2 moléculas de agua enlazadas a sus estructura principal.

Figura 2 Diagrama de cristalización de sulfatos monohidratados



Fuente: Enciclopedia de tecnología química Kirk

La mayoría de los sulfatos retienen la última molécula de agua en cristalización hasta una temperatura en general muy por encima de la temperatura de ebullición de la solución saturada.

Los sulfatos de cobre, hierro y zinc forman monohidratos simples y pierden su última molécula de agua entre 200 y 300 °C. Esta es la razón por la que el secado de sulfatos nunca se realiza hasta el anhídrido ya que las necesidades calóricas para eliminar la última molécula de agua no son sólo las de evaporación sino las de la ruptura del enlace.

4.2 SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO

El sulfato de cobre es la sal más importante del cobre. Es estable e incompatible con agentes reductores fuertes como la hidroxilamina. Comercialmente el sulfato de cobre debe cumplir con ciertas características físicas y químicas de las cuales dependerá el rendimiento que éste alcance en sus diferentes aplicaciones.

4.2.1 Propiedades físicas y químicas. Las principales propiedades del sulfato de cobre se encuentran especificadas en las fichas internacionales de seguridad para la manipulación de sustancias químicas. La tabla 2 muestra las propiedades fundamentales que se manejan a nivel internacional para la caracterización del sulfato de cobre.

- Estados de oxidación: normalmente, el cobre forma compuestos en los estados de oxidación +1 y +2 (el cobre trivalente sobrevive no más que unos segundos en una solución acuosa). Por estos dos estados de oxidación del cobre se pueden obtener dos tipos de sulfatos de éste: el sulfato azul cristalino cúprico (CuSO_4), en el cual el cobre tiene la valencia +2. y también el sulfato cúprico (Cu_2SO_4), en que el cobre tiene la valencia +1.
- Solubilidad: es soluble en agua, pero insoluble en alcohol. Por lo general se cristaliza como un compuesto pentahidratado, es decir, que contiene cinco moléculas de agua ($\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y es conocido en el comercio como el vitriolo azul.
- Color azul del sulfato de cobre: entre los numerosos ejemplos de complejos fuertemente coloreados se encuentra el catión tetra cobre (II), que es el responsable del color azul del sulfato de cobre.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del sulfato de cobre.

Estado Físico	Cristales azules inoloros
Punto de fusión	110 °C
Punto de ebullición	653 °C
Gravedad Especifica	2,28
Solubilidad en Agua	Soluble (hidratado) 3,6 (anhídrido)
pH	3,7-4,5 (5% sol)
Densidad de Vapor	8,6
Estabilidad	Estable bajo condiciones ordinarias

Fuente: Fichas internacionales de seguridad

- **Grados de hidratación y cristalización:** un hidrato es una sustancia que se ha combinado con una proporción definida de moléculas de agua; Cuando algunos compuestos se disuelven en agua y la disolución se deja evaporar lentamente, el compuesto disuelto precipita en forma de cristales que contienen cantidades definidas de agua. Los hidratos no son sustancias más o menos humedecidas sino compuestos definidos, porque su composición es constante. Pueden perder su agua de hidratación por calentamiento y se pueden volver a formar por reacción de la sustancia anhidra con el agua. Esto demuestra que las fuerzas que mantienen unidas a las moléculas de agua en los hidratos no son muy fuertes. El agua mantiene prácticamente invariable su estructura molecular en el hidrato, al estar unida al compuesto anhidro mediante enlaces covalentes coordinados a través de uno de los pares de electrones solitarios del oxígeno y, a veces, mediante enlaces de hidrógeno.

4.2.2 Especificaciones. Para la comercialización del sulfato de cobre se deben garantizar las especificaciones consignadas en la

Tabla 3. .

4.2.3 Riesgos por su manipulación. Perjudicial por inhalación e ingestión. Las cenizas pueden ulcerar las membranas. Si se tiene exposición prolongada puede causar dermatitis. Posible irritación en los ojos. Muy tóxico para los organismos acuáticos.

4.2.4 Protección personal. Debido a los riesgos que presenta la manipulación del sulfato de cobre se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones al entrar en contacto este producto:

No aspirar el sulfato de cobre.

Utilizar elementos de protección corporal como guantes de caucho, gafas y tapabocas

Tabla 3 Especificaciones del sulfato de cobre agrícola.

Sulfato de Cobre	
Cobre	> 20%
Pureza	> 98%
Hierro	0,04% típico
Zinc	0,01% típico
Calcio	0,0% típico
Plomo	0,003% típico
Aluminio	0,01% típico
Arsénico	0,0% típico
Cromo	0,0% típico
Cadmio	0,0% típico
Color	Azul
Presentación	Tamaño de cristales: Grande: + 12mm Mediano: -12mm+6mm Pequeño: -6mm+1mm Nieve: -1mm Fino: -0,4mm

Fuente: ARJOQUIM

4.2.5 Aplicaciones del sulfato de cobre. Las aplicaciones de este producto son variadas, siendo las principales: agricultura, zootecnia, industria química, textil y metalúrgica. A continuación se mencionan los usos más importantes dentro de estas aplicaciones.

- Pesticida agrícola, producción de fungicida cúprico.
- Corrección de deficiencia de cobre en suelos.
- Nutriente de plantas (fertilizante foliar)
- Control de algas en estanques, reservorios y piscinas.
- Complemento nutritivo en alimentación de animales de granja.
- Estimulante de crecimiento para el engorde de porcinos y pollos de granja.
- Desinfectante y preventivo de bacterias en animales de granja.

- Tratamiento químico de aguas.
- Antiséptico y germicida en infecciones por hongos.
- Micro nutriente mineral y catalizador cúprico en la producción de productos farmacéuticos.
- En solución para baños galvánicos.
- En la producción de colorantes y pigmentos.
- En la producción de preservantes de madera.
- En la producción de vidrios y espejos.
- En la industria metalúrgica (flotación de plomo y zinc).
- En la producción de circuitos impresos de cobre.

De las aplicaciones mencionadas anteriormente la más importante es la de la agroindustria ya que los sulfatos son productos constituyentes de microelementos que las plantas consumen en pequeña cantidad, pero tanto unos como otros son necesarios para éstas. Los suelos contienen estos elementos en suficiente cantidad pero debido a su uso estos constituyentes se hacen escasos presentándose la aparición de algunos síntomas de deficiencia en las plantas, haciéndose necesaria la adición a los suelos de fertilizantes que contengan estos microelementos como el cobre en forma de sulfato.

La misión del cobre en la fisiología de la planta es importante puesto que forma parte de algunos complejos enzimáticos, además incide favorablemente en la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas. Las extracciones de cobre por parte de la planta son muy pequeñas por lo que no suelen presentarse carencias, cuando éstas se producen son debidas a las siguientes causas:

- Suelos arenosos pobres en este elemento
- Exceso de cal que impide la asimilación del cobre.

4.2.6 Productos sustitutos del sulfato de cobre. En la Tabla 4 se muestran compuestos que pueden reemplazar el sulfato de cobre según su uso.

Tabla 4. Productos sustitutos del sulfato de cobre.

Uso del Sulfato de Cobre	Sustituto
Producción del Ion cúprico para dar color azul al vidrio.	Óxidos de cobalto y cobre
Germicida en tratamiento de aguas	Hipoclorito de calcio y sodio.
Preservante de madera.	Cloruro de zinc.
Producción de cuproamonio celulosa	Otras sales de cobre.
Producción de colorantes	Hiposulfito de sodio
Fungicidas cúpricos	Oxiclورو de cobre.
Procesos galvánicos	Fosfato de cobre.

Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química Kirk Tomo V y VII.

4.2.7 Procesos de obtención. Según la materia prima utilizada se tienen los siguientes procesos de fabricación.

Las pequeñas industrias productoras de sulfato utilizan tecnologías tales como la disolución de materias primas en ácido sulfúrico dentro de tanques de gres, plástico o acero inoxidable en algunos casos. Después se realiza una filtración de la solución para la posterior cristalización del material; en algunas empresas se utilizan secadores de bandejas para preparar el material para la molienda y por último se empaca.

Las empresas de mayor tamaño utilizan evaporadores de calefacción con tubos por los cuales circula el vapor y cristalizan la solución con enfriadores refrigerados por agua para obtener una cristalización suelta. La pasta obtenida es centrifugada posteriormente para retirar la mayor cantidad de humedad posible evitando así el proceso de secado y molienda.

A gran escala los procesos de obtención de sulfato de cobre son los siguientes:

- Disolución de cobre en ácido sulfúrico concentrado o diluido al 50%. La chatarra de cobre se somete a un proceso de acondicionamiento. Esta se alimenta al reactor en donde se tratará con ácido sulfúrico a una temperatura superior a

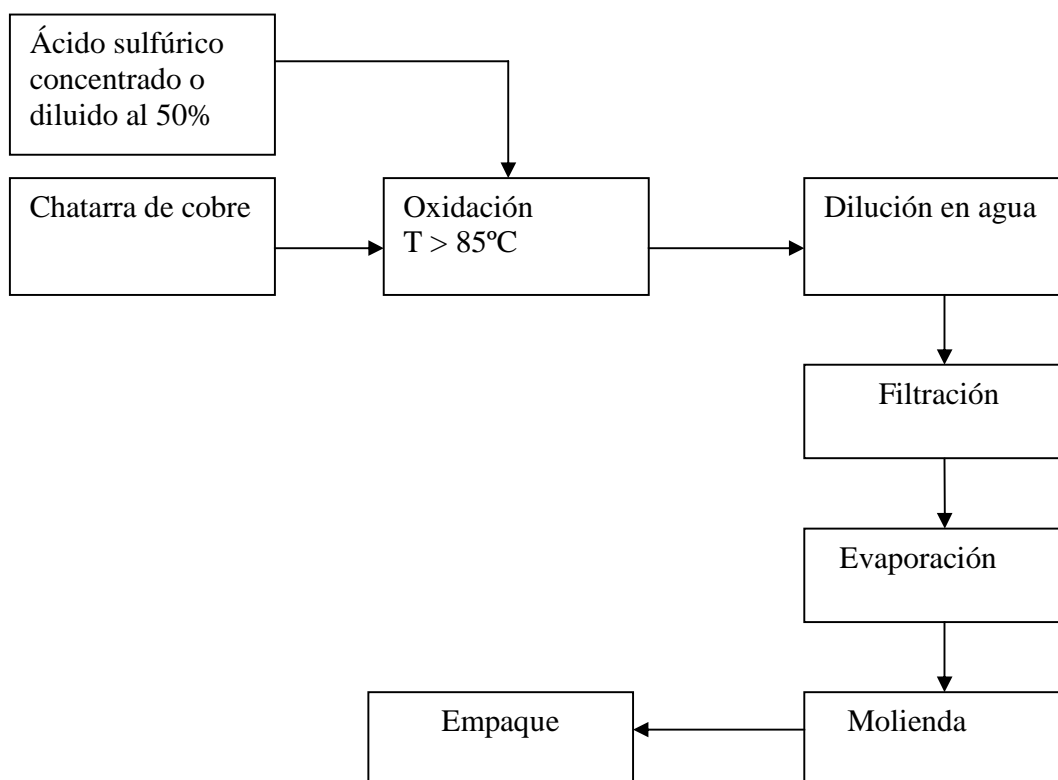
85 °C. La oxidación del cobre se sigue a expensas de una parte del ácido de la reacción.

La reacción general que describe este proceso es:



Debido a la acción del ácido se forma inicialmente un precipitado café claro de sulfuro de cobre (Cu_2S) el cual pronto pasa a negro y se convierte en $2\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuO}$ y finalmente en $\text{CuS} \cdot \text{CuO}$. La figura 3 presenta el diagrama de bloques de este proceso.

Figura 3. Obtención de sulfato de cobre por disolución de cobre en ácido sulfúrico concentrado o diluido.



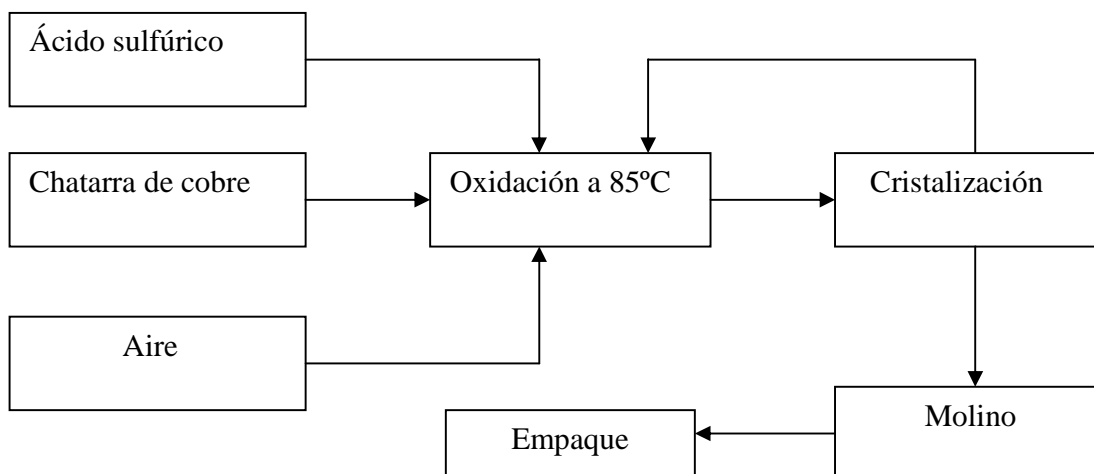
Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química Kirk Tomo V y VII.

Posteriormente este precipitado se diluye en agua, se filtra y se calienta, se deja cristalizar el filtrado evaporado que contiene el sulfato de cobre. Para este proceso se debe contar con chatarra de cobre de alta pureza, trabajar con un exceso de

ácido sulfúrico del 10% y aun así el proceso de oxidación del cobre es poco eficiente.

Cuando se ha disuelto la totalidad del cobre es conveniente hacer pasar la solución por los tanques de cristalización donde las dos terceras partes de esta se van a cristalizar y la restante se puede reutilizar en un proceso posterior previamente enriquecida con ácido. La Figura 4 muestra el diagrama de bloques del proceso mencionado anteriormente.

Figura 4. Obtención de sulfato de cobre por acción de ácido sulfúrico diluido y oxidación

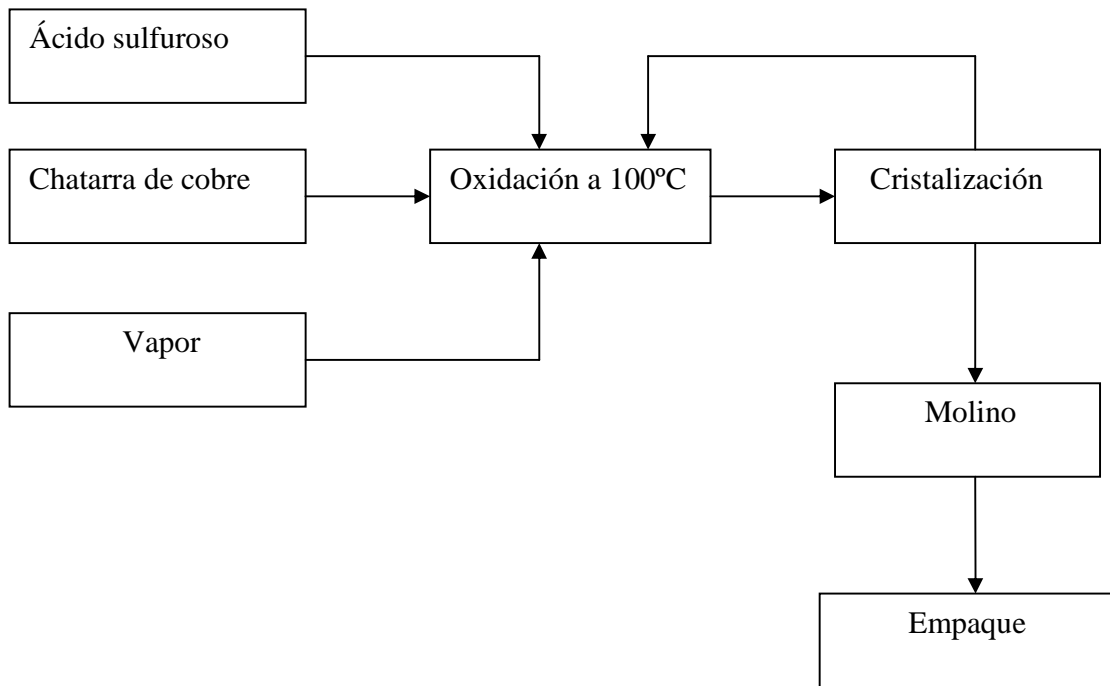


Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química Kirk Tomo V y VII.

- Tratamiento de cobre por medio de ácido sulfuroso y vapor de agua. Previamente acondicionada la chatarra, se carga a una torre donde se hace pasar una corriente de ácido sulfuroso (gaseoso producido a partir de pirita), calentando la masa a 100 °C con ayuda de vapor de agua. Posteriormente la solución formada y saturada se va cargando a los cristalizadores donde se forma parte del sulfato y se recuperan las aguas madres del proceso de cristalización,

agregándolas de nuevo a la torre de reacción. En la Figura .5 se muestra el proceso de obtención representado en un diagrama de bloques.

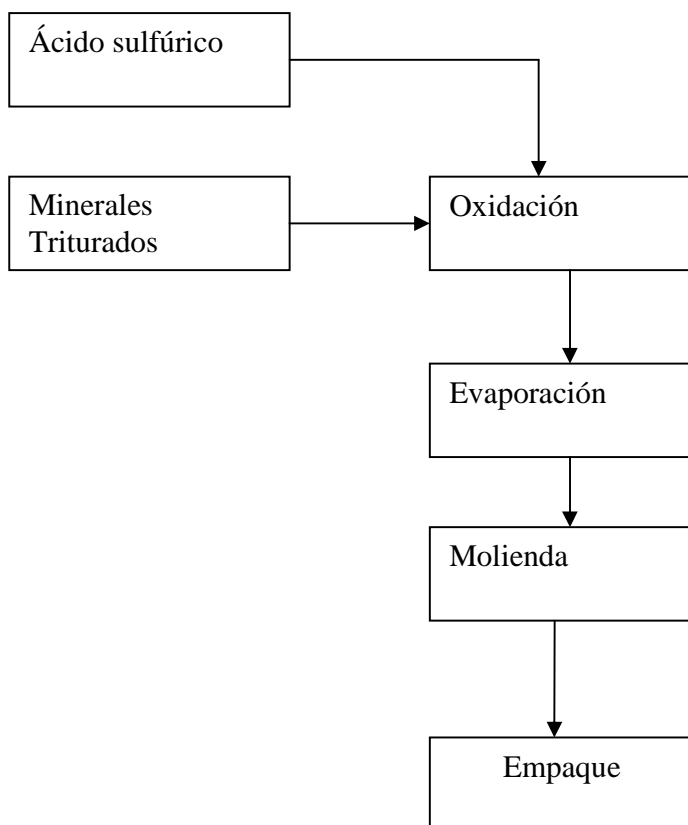
Figura .5 Proceso a partir de ácido sulfuroso y vapor de agua.



Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química Kirk Tomo V y VII.

Tratamiento de los minerales ricos en sulfato de cobre. Los minerales que ya contienen sulfato de cobre como la brochantita y la chalcantita previamente sometidos a un proceso de reducción de tamaño (trituración) se pueden disolver en ácido sulfúrico diluido y evaporar hasta alcanzar la cristalización del sulfato.

Figura 6 Proceso a partir de minerales ricos en sulfato de cobre.



Fuente: Enciclopedia de Tecnología Química Kirk Tomo V y VII.

- Obtención mediante oxidación de un sulfuro. Este es un material de minería en estado natural, para llevar a cabo el proceso hay necesidad de efectuar una molienda y una calcinación en sitio lo cual implica una inversión bastante alta en caso de encontrar un yacimiento. En Colombia existen algunas regiones relativamente ricas en cobre donde se encuentra la calcopirita CuFeS_2 y la bornita Cu_5FeS_4 como lo son los farallones de Medina Cundinamarca. En esta región algunos habitantes han llevado el proceso de oxidación de una forma bastante rústica lo cual da como resultado un sulfato de pésima calidad, ya que no se obvia la contaminación de otros elementos por ser un proceso de minería sin refinación.

El proceso resulta económico ya que el cobre y el azufre están presentes en el mineral.

- Obtención por baños de carbonato de cobre en ácido sulfúrico. El carbonato de cobre es un material de minería que para su tratamiento implica una alta inversión y así mismo una alta tecnología, en este proceso es posible la contaminación con elementos indeseados. Requiere de ácido sulfúrico para su tratamiento y el producto que se obtiene no tiene la calidad que se requiere para su finalidad.
- Sulfatación de óxido de cobre. Al igual que el anterior el óxido de cobre es un material de minería que se encuentra naturalmente. Colombia no posee yacimientos donde pueda ubicarse ampliamente en ese estado. Países ricos en cobre como Perú y Chile no han mostrado interés en exportar este producto que contiene aproximadamente un 77% de cobre, porque este es extraído de tierras donde hay un contenido de metales preciosos como oro y platino, razón por la cual han preferido tratar directamente estas tierras y obtener así un mayor beneficio.

4.2.7 Materias primas. En todos los procesos industriales conocidos para la obtención del sulfato de cobre se tienen como común denominador las siguientes materias primas.

- Ácido sulfúrico. Constituyente de los productos intermedios más importantes, en la industria química inorgánica es materia prima para la elaboración de más de 32.000 productos químicos. Sus principales características las muestra la tabla 5. En el anexo A se incluye la hoja de seguridad de este compuesto.

Existen varios productores de ácido sulfúrico en Colombia como son: Química Básica de Colombia S.A con planta en Caloto (Cauca) y en Manizales; Productos Químicos Panamericanos (Sibaté) y Monómeros Colombo Venezolanos (Barranquilla).

Se puede encontrar libre en la naturaleza en algunos manantiales de origen volcánico en los cuales se forma por la oxidación de anhídrido sulfuroso disuelto

en las aguas. Existen dos depósitos en Colombia, el río Vinage en Puracé que contiene hasta un 1% de ácido sulfúrico y un manantial en el Páramo del Ruiz.

Tabla 5. Propiedades Físicas y Químicas del Ácido Sulfúrico

Formula	H ₂ SO ₄
Peso Molecular	98,5
Nombre Común	Aceite de Vitriolo o licor de azufre
Densidad	1.840 (98%) Kg./m ³
Punto de Congelación	-1,1°C
Presión de Vapor	< 0.07 Kg/cm ² por debajo de 38°C
Punto de Ebullición	315 a 338°C

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad

Es un ácido diurético y en solución diluida experimenta una ionización primaria casi completa, en tanto que la ionización secundaria es más bien débil

El ácido sulfúrico es utilizado en los siguientes procesos:

- ❖ Industria de abonos químicos: Es de vital importancia en la producción de ácido fosfórico de los fertilizantes fosfatados
- ❖ Refinación del petróleo: Se utiliza para eliminar impurezas de varios productos derivados del petróleo tales como gasolina, Kerosene , disolventes y otros.
- ❖ Fabricación de productos químicos: Obtención de otros ácidos como el clorhídrico , nítrico y para elaborar sulfatos metálicos
- ❖ Otras aplicaciones: Fabricación de colorantes, drogas, pinturas y pigmentos, en la industria metalúrgica y decapado del acero, tejidos, plásticos, explosivos, catalizador de alquilación, baños electro galvanizados hierro y acero.

Para su correcto almacenamiento se recomienda que las áreas donde se va a conservar tengan o posean drenajes e instalaciones para lavar los derrames con agua. Todos los desechos deben neutralizarse antes de botarse. Los depósitos de almacenamiento pueden ser de hormigón o acero. Es importante aclarar que el ácido sulfúrico diluido deteriora el acero al carbón se debe tener medidas de

precaución con esta clase de recipientes. Las estructuras abiertas metálicas deben protegerse con pintura resistente al ácido.

La ventilación natural debe ser suficiente. Se deben alejar del lugar donde se almacena ácido sulfúrico aquellas sustancias o materiales orgánicos que pueden reaccionar violentamente con éste como por ejemplo carburos, cloratos, cromatos, permanganatos, nitratos, fulminantes, ferrosiliceo o materia orgánica oxidable.

Los recipientes no deben almacenarse en lugares altos de donde se puedan caer; o lugares donde estén expuestos a rayos directos del sol o la temperatura supere los 32°C.

En caso de presentarse derrames y fugas se debe recoger el líquido en recipientes adecuados. No absorber en aserrín u otros absorbentes combustibles.

El ácido sulfúrico está clasificado como una sustancia corrosiva peligrosa y altamente tóxica. La inhalación de vapores concentrados provenientes de ácido sulfúrico caliente o de oleum puede provocar inconciencia y graves daños a los tejidos pulmonares. La sensibilidad individual a estos vapores es variable.

Las soluciones concentradas son rápidamente destructoras para cualquier tejido orgánico que se ponga en contacto con éstas. El contacto de soluciones diluidas con la piel puede provocar dermatitis. El ácido sulfúrico en los ojos provoca rápidamente un daño grave que puede derivar en una pérdida total de la visión.

- Cobre. Posee un aspecto rojo, vira a verde por exposición a ambientes húmedos, forma compuestos inestables frente al choque con compuestos acetilénicos y óxido de etileno. La Tabla 6 muestra las principales propiedades de este elemento, en el anexo A se incluye la hoja de seguridad de este elemento.

Reacciona con oxidantes fuertes tales como: cloratos, bromatos e iodatos, originando peligro de explosión.

Tabla 6. Propiedades físicas y químicas del cobre

Formula	Cu
Peso Atómico	63,5
Densidad	8900 kg/m ³
Punto de Fusión	1,083 °C
Punto de Ebullición	2,595 °C

Fuente: Fichas internacionales de seguridad

Cuando se tiene en forma de polvo se debe evitar su dispersión, en caso de derrame la sustancia se debe recoger cuidadosamente y el residuo trasladarlo a continuación a un lugar seguro.

- **Ácido nítrico.** El ácido nítrico es un ácido que varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos. En la Tabla 7 se muestran las propiedades de este compuesto, en el anexo A se incluye la hoja de seguridad de este compuesto.

Tabla 7. Propiedades físicas y químicas del ácido nítrico

Formula	HNO ₃
Peso Molecular	63,0
Densidad	1,410 kg/m ³
Punto de Congelación	- 41°C
Presión de Vapor	6,4 K. Pa (20°C)
Punto de Ebullición	121 °C

Fuente: Fichas internacionales de seguridad

Es soluble en agua generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el proceso de combustión de materiales combustibles y causar ignición. El ácido nítrico se encuentra clasificado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y por la EPA (Environmental Protection Agency) como un agente corrosivo (clase 8).

El ácido nítrico se descompone con cierta facilidad, generando óxidos de nitrógeno, muy tóxicos. Este reacciona con álcalis, óxidos y sustancias básicas, generando sales. Es un oxidante fuerte.

Se han informado reacciones violentas entre el ácido nítrico y anhídrido acético, acetona, acetonitrilo y alcoholes, por lo que no se recomienda para limpiar material de laboratorio que haya estado en contacto con estas sustancias.

El ácido nítrico además reacciona violentamente con 2-aminotiazol, amoníaco, aminas aromáticas, derivados benzotiofeno, pentafluoruro de bromo, butanetriol, celulosa, nitruro de cobre, crotonaldehído, ciclohexilamina, flúor, hidracina, hidrocarburos en general, yoduro de hidrógeno, acetiluros metálicos, salicilatos metálicos, 4- metil ciclohexanona, nitrobenceno, nitrometano, hidruros no metálicos, derivados de fosfina, dióxido de azufre, tioaldehídos, tiocetonas, Triazinas, trementina, madera y otros productos celulósicos, especialmente si están finamente divididos.

El ácido nítrico ataca a la mayoría de los metales, excepto platino y oro, y en el caso del aluminio y cromo, los ataca muy levemente. Algunos metales son convertidos en óxidos, como ocurre con el caso del arsénico, antimonio y estaño, otros son convertidos a nitratos. El ácido nítrico no polimeriza.

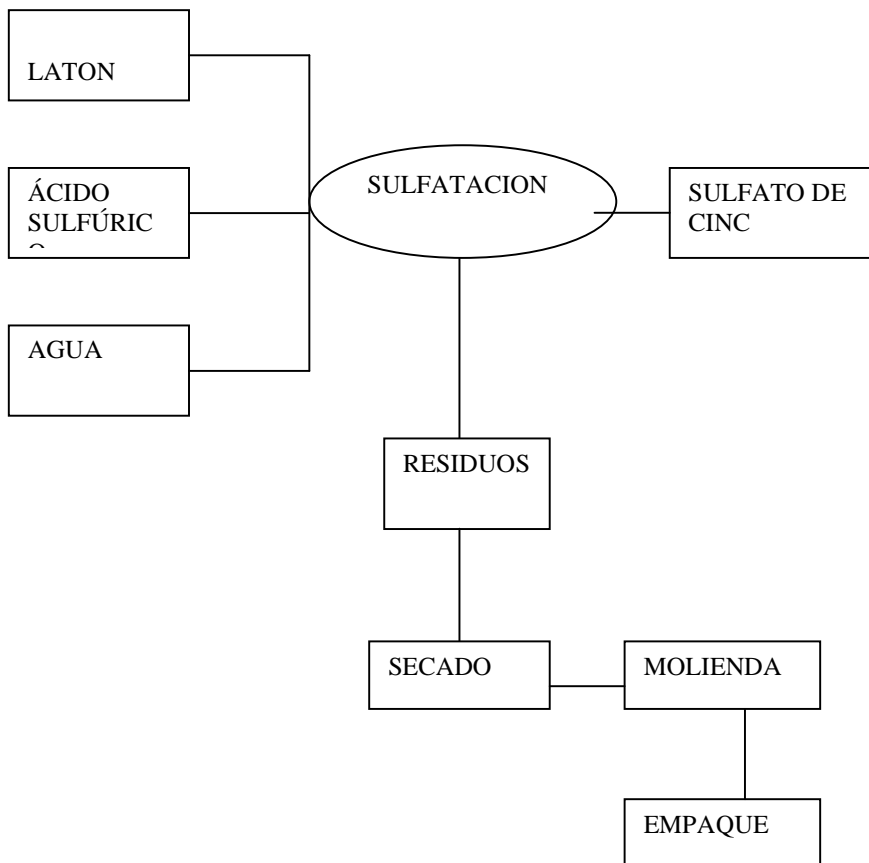
En caso de derrames y fugas se debe evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto, Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes adecuados, neutralizar cuidadosamente el residuo con carbonato sódico y eliminarlo a continuación con agua abundante. No absorber en aserrín u otros absorbentes combustibles.

Se debe almacenar separado de sustancias combustibles y reductoras, bases, compuestos orgánicos alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.

- Residuos de procesos de fundición: Son residuos generados en una importante cantidad en las reacciones de sulfatación, estos se componen de cobre en un porcentaje entre 20 - 50%, zinc entre un 10 a 50%, hierro aproximadamente un 10 %, y el porcentaje restante se compone principalmente de plomo, aluminio, sulfato que no se puede separar, agua y algunos materiales inertes.

4.3 GENERALIDADES SOBRE SULFATO DE CINC

Figura 7. Diagrama de producción de sulfato de cinc.



Fuente: ARJOQUIN LTDA

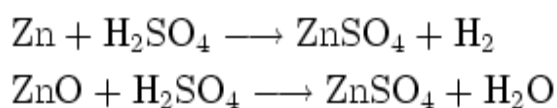
4.3.1 Formas hidratadas y anhidra

Suele presentarse como sal heptahidratada, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. A 30 °C pierde una molécula de agua y se transforma en $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$.² A 70 °C pierde otras cinco

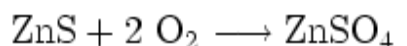
moléculas de agua y se transforma en $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Finalmente, a $280\text{ }^\circ\text{C}$ pierde la última molécula de agua y se transforma en la sal anhidra.³

4.3.2 Obtención

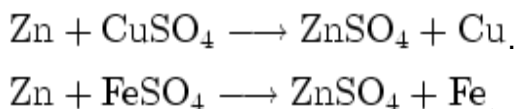
En la naturaleza se presenta formando parte del mineral goslarita (heptahidrato), conocido también como "vitriolo blanco" y de la bianchita (hexahidrato). Puede prepararse por reacción de zinc o del óxido de zinc con ácido sulfúrico en disolución acuosa.



O por oxidación enérgica del sulfuro de zinc, componente de la blenda.



También puede prepararse añadiendo zinc sólido a disoluciones de sulfato de cobre (II) o sulfato de hierro (II).



4.3.3 Usos

Se usa como suplemento de zinc en la alimentación animal, para preparar abonos y sprays agrícolas. $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ se usa en fabricación de litopón (blanco de zinc), y rayón (seda artificial), como conservante de madera, como [[electrolito]]s para plateado con cinc (cincado), como mordiente de coloración, para preservar pieles y cuero, y en Medicina, como astringente y emético.

Una disolución acuosa de sulfato de zinc resulta efectiva para eliminar musgo de los pavimentos y suelos.

Se han referido usos del sulfato de zinc para enmascarar las pruebas y análisis antidroga porque actúa como quelante de las moléculas, retirándolas de la orina.

4.4 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA

La Producción Limpia enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos, productos y servicios, y la eficiencia en el uso de las materias primas e insumos, para identificar mejoras que se orienten a conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar los residuos, antes que estos se generen. La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la Producción Limpia es la práctica más efectiva desde el punto de vista económico, y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”. Las técnicas de Producción Limpia pueden aplicarse a cualquier proceso de producción, y contempla desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores, que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de producción más limpias y eficientes, así como desde el re- diseño de los productos en donde los niveles de desperdicio e ineficiencia en todo el ciclo productivo son críticos.

4.4.1 Beneficios de la implementación de mejores prácticas como las de la producción más limpia.

Financieros:

1. Reducción de costos por optimización del uso de las materias primas.
2. Ahorro, por el adecuado uso de los recursos (agua, energía, etc.)
3. Menores niveles de inversión asociados a tratamiento y/o disposición final de desechos
4. Aumento de las utilidades operacionales.

Operacionales:

1. Optimización de los procesos productivos.
2. Reducción en la generación de los desechos
3. Reducción de los tiempos operacionales e incremento de la productividad.
4. Incremento en la calidad de los productos.

Beneficios Comerciales:

1. Posicionamiento y diversificación de nuevas líneas de productos.
2. Posicionamiento de la imagen corporativa de la empresa “Know How” y “Good Hill”.

4.4.2 Otras definiciones de producción más limpia

La producción más limpia es una estrategia preventiva integrada que se aplica a los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. En cuanto a los procesos, la producción más limpia incluye la conservación de las materias primas, el agua y la energía, la reducción de las materias primas tóxicas así como la reducción de la cantidad, tanto de la toxicidad como de la cantidad de emisiones y de residuos, que van al agua, la atmósfera y al entorno. En cuanto a los productos, la estrategia tiene por objeto reducir todos los impactos durante el ciclo de vida del producto desde la extracción de las materias primas hasta el residuo final; promoviendo diseños amigables acordes a las necesidades de los futuros mercados.

Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial (ONUDI):

La **National Pollution Prevention Roundtable (NPPR)** de los EE.UU. ofrece esta definición sobre Prevención de la Contaminación:

Prevención de la contaminación es la reducción o eliminación de la contaminación desde su punto de origen en vez de al fin del tubo. Prevención de la

contaminación ocurre cuando se usan materias primas, agua, energía, y otros recursos de una forma más eficiente, cuando se substituye sustancias menos peligrosas, y cuando se elimina el uso de sustancias tóxicas en el proceso productivo. Cuando se reduce el uso y la producción de sustancias peligrosas, y cuando se mejora la eficiencia de operaciones, protegemos la salud pública, fortalecemos la economía, y conservamos el medio ambiente

Hasta hace poco tiempo atrás, los temas de contaminación industrial eran enfrentados como un problema de disponibilidad de tecnologías para realizar el tratamiento "al final del proceso", así la pregunta era "que hacer" con los residuos, una vez que ya han sido generados. Esta manera de enfrentar el problema "al final del proceso", puede dar el resultado esperado, pero ha demostrado ser de un alto costo.

La Producción Limpia enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos y la eficiencia en el uso de las materias primas e insumos, para identificar mejoras en los procesos que se orienten a conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar los residuos, antes que estos se generen. La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la Producción Limpia es más efectiva desde el punto de vista económico, y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento "al final del proceso". Las técnicas de Producción Limpia pueden aplicarse a cualquier proceso de producción, y contempla desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores, que impliquen la substitución de materias primas insumos o líneas de producción más limpias y eficientes.

En consecuencia la inversión en sistemas de tratamiento sigue representando un costo para la empresa sin mayores beneficios desde el punto de vista productivo, sin embargo la inversión en Producción Limpia conlleva un importante potencial de beneficios económicos a través de una mayor eficiencia en los procesos

productivos. Por lo tanto una consecuencia inmediata y cuantificable, por la empresa al implementar medidas de Producción Limpia, se pueden obtener a través de una reducción de los costos de tratamiento de los desechos y consumos de materia prima y/o insumos al lograr una reducción de los desechos y las mermas, y facilitando el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.

Por lo expuesto anteriormente, se entiende que Producción Limpia corresponde al uso de procesos, prácticas o productos que permiten usar eficientemente la energía, el agua, materias primas e insumos, así como reducir o eliminar la generación de sustancias causantes de contaminación en su propia fuente de origen, permitiendo al mismo tiempo proteger la salud y los recursos naturales a través de la conservación y del incremento en la eficiencia. Así la Producción Limpia le permite a las empresas reducir la contaminación en sus fuentes de origen y a utilizar en forma más eficiente la energía y el agua, lo que conduce a su vez, a una reducción en los costos de producción y a mejorar la calidad de sus productos.

5. DIAGNOSTICO DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

5.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

INFORMACION GENERAL

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA
QUIMICAMPO LTDA

REPRESENTANTE LEGAL
JUAN FERNANDO CAMARGO P.

NOMBRE DE LA PERSONA QUE SUMISTRA LA INFORMACION
JUAN FERNANDO CAMARGO P. /GERENTE GENERAL
JORGE MENESES / GERENTE DE PLANTA

TELEFONO
7811593

LOCALIZACION DE LAS INSTALACIONES
CARRERA 11 A # 13^a - 45 SUR . BARRIO SANTA ANA SOACHA
CUNDINAMARCA

PERSONAL
ADMINISTRATIVOS 2
OPERARIOS 7
TOTAL PERSONAL 9

PRODUCTOS Y SERVICIOS GENERADOS POR LA EMPRESA
LINEAS DE PRODUCCION SULFATO DE COBRE
 SULFATO DE CINC
 SULFOXIDO DE CINC

INFORMACION ADICIONAL

ACTIVIDAD

Industria dedicada a la elaboración de sales minerales utilizadas como fuente de elementos menores en la producción de agroquímicos.

MISION

En los próximos 5 años QUIMICAMPO, espera alcanzar un alto nivel de producción que le permita satisfacer las necesidades de sus actuales clientes y ampliar mercados a nivel nacional ofreciendo precios competitivos y variedad de productos.

Con el fin de alcanzar esta meta la empresa espera contar con un clima laboral agradable que le ofrezca estabilidad a sus empleados para de esta forma conseguir el compromiso y lealtad de estos en la consecución de sus objetivos.

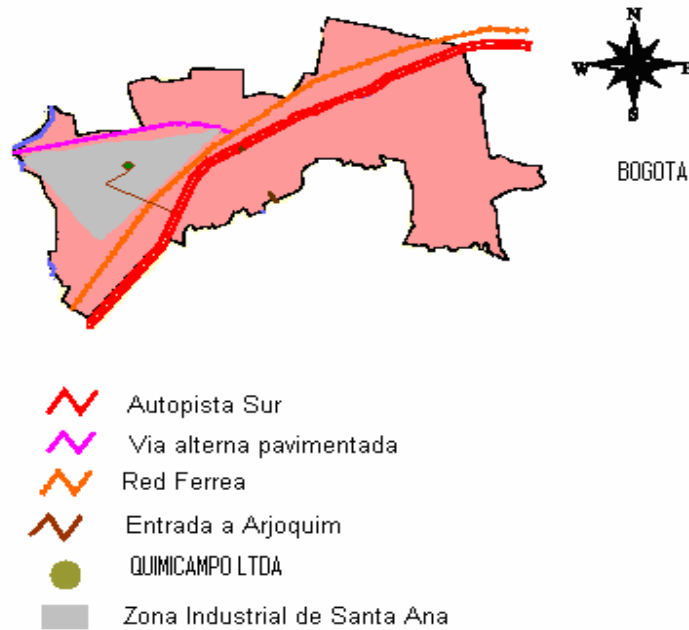
En cuanto a su función social QUIMICAMPO es una empresa muy comprometida con la preservación del medio ambiente sometida a las exigencias de ley y en la búsqueda de una producción limpia. En este sentido la empresa espera a apoyar a los pequeños agricultores dándoles a conocer sus productos por medio de muestras.

VISION

Ser una empresa consolidada en la producción de sulfatos y fertilizantes, posicionados y reconocidos en el mercado nacional. Brindando un alto nivel de calidad que proporcione confianza a sus clientes.

AREAS DE INFLUENCIA DIRECTA Y REMOTA DE LA EMPRESA
MUNICIPIO DE SOACHA
SUR DE LA CIUDAD DE BOGOTA

FIGURA 8. Plano del municipio de Soacha



Fuente: Alcaldía De Soacha.

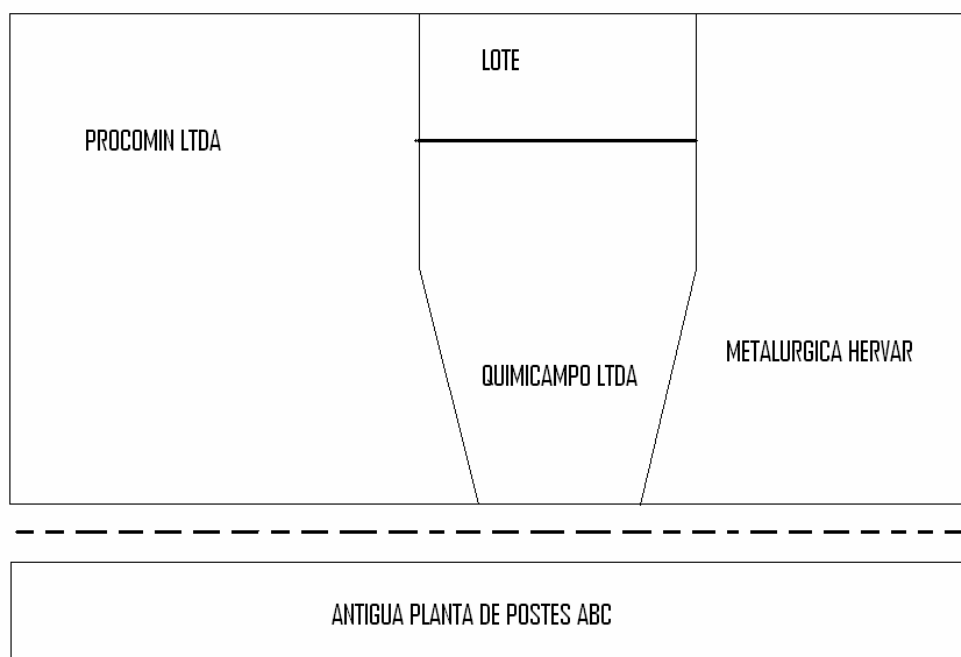
SISTEMA CONFIGURADO POR LA EMPRESA

AREA: 700 m²

ALTITUD: 2500 m.s.n.m

LIMITES GEOGRAFICOS: Norte: metalurgica hervar
Sur: Procomin Ltda.
Este: antigua industria postes ABC
Oeste: Terreno desocupado.

Figura 9. Area de influencia directa de la empresa



Fuente: Los Autores

LIMITES DE LA EMPRESA

Para la obtención de materias primas, la empresa se abastece principalmente de subproductos generados en industrias ubicadas en Bogotá y en Soacha.

Los productos terminados son distribuidos en el municipio de Soacha, la ciudad de Bogotá y algunos sectores del departamento de Boyacá.

Estos son los límites y el área de influencia de la empresa Quimicampo Ltda. y lo que su operación implica para el entorno.

5.1.1 COMPONENTES MEDIOAMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE SER IMPACTADOS

AIRE: El impacto se debe fundamentalmente a las emisiones de SO_x y de NO_x que se generan durante el proceso productivo tanto del sulfato de cinc, como el

sulfato de cobre. Así mismo existe una emisión de material particulado el cual se genera en el proceso de molienda que se efectúa en la empresa para cumplir con las especificaciones del mercado para los productos.

SUELO: Se ve afectado por la producción de residuos sólidos, que son depositados en el y alteran su acidez. Claro esta que esta es afectada solo en la zona de almacenamiento de los mismos dentro de la empresa.

VERTIMIENTOS: Todos los procesos productivos de la empresa se llevan a cabo en fase líquida por lo tanto los subproductos líquidos son utilizados como aguas madres para los siguientes lotes de producción.

La afectación se puede dar en caso de derrames o accidentes que se puedan presentar.

VERIFICACION EN EL P.O.T

Según el plan de ordenamiento territorial del municipio de Soacha, la empresa se encuentra ubicada en el sector de Santa Ana en el cual fungen zonas industriales y de usos mixtos, lo cual permite el funcionamiento de la empresa cumpliendo con los requerimientos y exigencias de la ley.

5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

5.2.1 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.

- CENIZAS DE CINC : materiales con concentraciones superiores en cinc al 50% bien sea como óxido, metal o una combinación de los dos.
- CENIZAS DE LATON: Materiales con que contienen cinc y cobre en concentraciones iniciales cercanas al 30% en cada uno de estos elementos
- ACIDO SULFURICO: se utiliza ácido del 98% de concentración
- AGUA: es suministrada por la empresa local de acueducto.

- ACIDO NITRICO: se utiliza acido del 50 % de concentración

5.2.2 EQUIPOS DEL PROCESO

- REACTOR PARA OBTENCION DE SULFATO DE CINC (RS1) :Tanque agitado construido en acero inoxidable de 800 litros de capacidad que consta de un agitador tipo paletas movilizado por un moto reductor de 3 hp de potencia generando una agitación a 50 r.p.m.
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO (Tks1): Tanque fabricado en fibra de vidrio de capacidad de 5000 litros en el cual se almacena el sulfato de cinc liquido a las condiciones de producción determinadas según las especificaciones del producto.
- TINAS DE SECADO (TS1): Tinajas ubicadas sobre hornillas que funcionan a gas natural en las cuales se realiza el secado de la solución de sulfato de cinc para su posterior molienda
- MOLINO (M1): Equipo de martillos con motor de 6 hp en el cual el sulfato de cinc es llevado a un tamaño de partícula de malla 100.
- MOTOBOMBA (M1): Es utilizada para llevar la solución de sulfato de cinc desde el reactor al tanque de almacenamiento y de este a las tinajas de secado, fabricada en acero inoxidable con motor de 2 hp.
- REACTOR PARA OBTENCION DE SULFATO DE COBRE (RS2): Tanque cerrado agitado de acero inoxidable con 1400 litros de capacidad en el que se lleva a cabo la reacción entre el acido nítrico y los lodos de cobre y posteriormente entre el nitrato de cobre y el acido sulfúrico
- TINA DE CONCENTRACION (TC1): Tina de 2300 litros de capacidad sobre hornillas a gas natural en acero inoxidable en las cuales se evapora el exceso de agua y se incrementa la temperatura y la densidad para iniciar el proceso de cristalización.

- CRISTALIZADOR (CR) tanque de acero inoxidable de 4000 litros de capacidad en el que se baja la temperatura de la solución de sulfato de cobre por medio de agitación y el uso de ventiladores de enfriamiento.
- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SULFATO DE COBRE(TK2): tanque de acero inoxidable con capacidad de 2000 litros para almacenar solución de sulfato de cobre previo paso a la tina de concentración.
- BASCULA: E quipo digital con capacidad para 500 kg en la cual se realiza el pesado de los sacos de materia prima y de producto terminado

5.2.3 CARACTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS

La primera etapa del proceso consiste en realizar una caracterización de los materiales con que se va a trabajar, es decir, realizar análisis de laboratorio para la determinación del contenido de cinc y de cobre presente en las materias primas (cenizas y lodos)

Este procedimiento se realiza de la siguiente manera en el laboratorio de la empresa:

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Un correcto desarrollo del muestreo garantiza la obtención de un material representativo del lote de materia prima y así mismo una mejor aproximación de la composición promedio del material, lo cual es fundamental para los balances de masa del proceso.

Por esta razón se decidió seguir el método de muestreo consignado en la Norma Técnica Colombiana NTC – ISO 8633 editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC el 23 de Julio del 2001 la cual consagra los pasos a seguir en la toma de muestras para lotes pequeños de fertilizantes sólidos.

El objetivo de esta norma es definir el plan de muestreo para el control de fertilizantes sólidos en lotes inferiores a 250 toneladas.

Es necesario aclarar que las cenizas no son un fertilizante como tal sino materia prima para su elaboración que en algunos casos ha iniciado el proceso de transformación en sulfato, el cual si es empleado en la agroindustria, además por la similitud de sus características físicas con los fertilizantes sólidos tales como granulometría, densidad, ángulo de reposo, ángulo de espátula entre otras, se decidió aplicar la normatividad de fertilizante a las materias primas con que se trabaja en la empresa.

Los lotes con los que se trabaja mensualmente en la empresa no superan las 15 toneladas lo que permite la aplicación de la norma citada anteriormente.

Materiales empleados. Es muy importante que los elementos usados en el muestreo no alteren las características del producto que va a ser sujeto del muestreo, por esta razón todos los elementos empleados en la manipulación de los residuos para la realización del muestreo son contruidos en plástico y en acero inoxidable los cuales son materiales totalmente inertes a todo lo que compone las cenizas.

La toma de muestras se realiza de forma manual por esto simplemente se utilizan palas y un tamíz malla 100 (0,147mm) para la selección de una muestra más uniforme.

Método de muestreo. Para iniciar el procedimiento de la toma de muestras es importante aclarar las condiciones en las que se encuentra almacenado el material, es decir, si está empacado o si se encuentra a granel ya que de esto depende el número de unidades de muestreo a tomar según la tabla 8.

Tabla 8. Muestreo de producto en bolsas.

Porción de ensayo	Numero mínimo de U.M *
< 100 bolsas	Todas las bolsas
De 100 a 400 bolsas	10
> 400 bolsas	$\sqrt{\#}$ de bolsas

* U.M unidad de muestreo.

Fuente: N.T.C 8633.

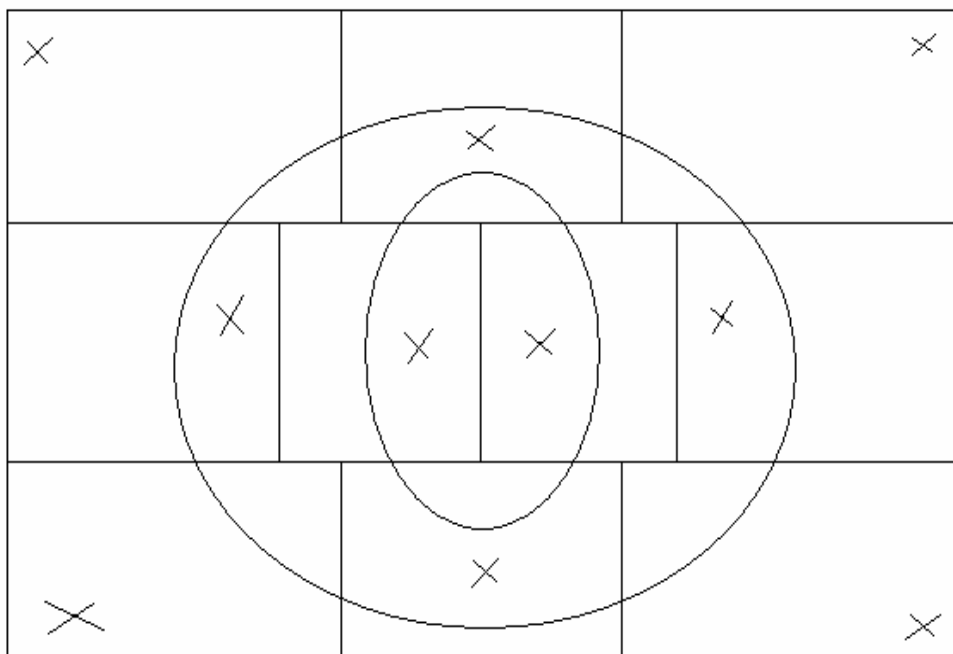
Las cenizas se encuentran almacenadas en en bolsas de 40 a 50 kg lo cual es un peso aceptado por el ICONTEC para el empleo de este método de muestreo.

Como se menciona anteriormente el material esta empacado en sacos con un promedio de 45 kilos lo que determina que el numero de bolsas por tonelada es aproximadamente de 20. De esta manera y de acuerdo con la tabla 1 para la caracterización de 1 tonelada de materias primas se debe tomar muestras de todas las bolsas.

El paso siguiente es vaciar el contenido de las bolsas sobre un área limpia y seca para realizar un mezclado uniforme de todo el material para de este tomar los incrementos.

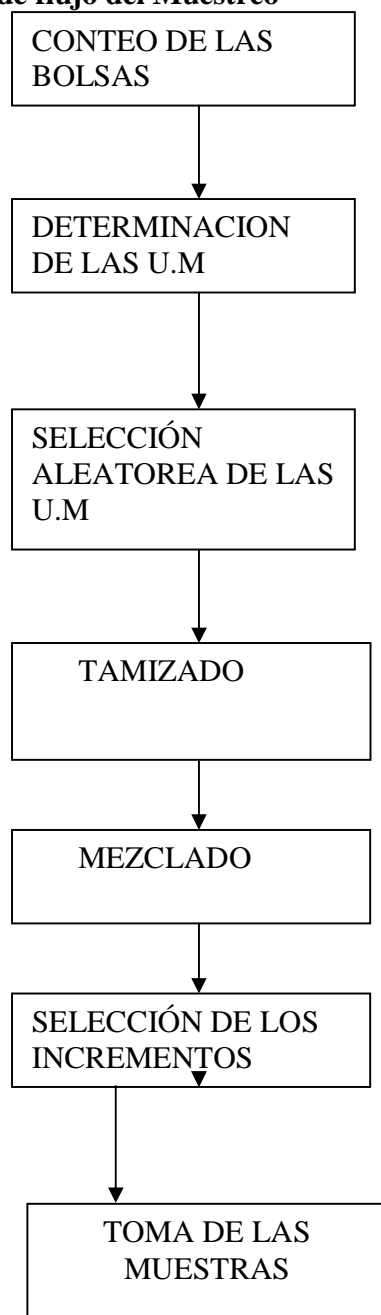
En la figura 10 se presenta el esquema que plantea el ICONTEC para la selección de los incrementos del lote. Los puntos en la grafica indican las zonas de las que se deben tomar los incrementos.

Figura 10. Patrón de muestreo



Fuente: N.T.C 8633

Figura 11. Diagrama de flujo del Muestreo



Fuente: Los Autores

Realizado el muestreo se prosigue con la caracterización de las materias primas por medio de métodos experimentales consignados en las normas técnicas del ICONTEC y en el manual de laboratorio de la empresa Arysta L.S Colombia S.A.

Los procedimientos y los materiales a analizar se seleccionaron teniendo en cuenta la composición con la cual llegan las cenizas a QUIMICAMPO LTDA. Estas cenizas se componen principalmente de cobre y cinc, en menores proporciones de hierro y plomo, también contiene elementos que no reaccionan fácilmente con el ácido sulfúrico como níquel, silicio, fósforo, estaño y arsénico.*

La caracterización de las materias primas se centra en la concentración de cobre, cinc y humedad.

Determinación de cobre. La determinación del contenido de las cenizas se basa en el método consignado en el manual de laboratorio de Arysta L.S colombia S.A. que tiene como objetivo la determinación de cobre total en fertilizantes y materias primas para su elaboración por medio de una valoración con tiosulfato de sodio. Para el desarrollo de este método se emplean los siguientes materiales, equipos y reactivos.

- ❖ Balanza con aproximación de 0,1g.
- ❖ Bureta de 50 ml, con divisiones de 0,1 ml.
- ❖ Placa de calentamiento con regulador de temperatura.
- ❖ Material usual de laboratorio.
- ❖ Ácido nítrico concentrado.
- ❖ Ácido sulfúrico concentrado.
- ❖ Solución de hidróxido de amonio (1:1).

* Los componentes de las cenizas dependen del proceso de elaboración del latón

- ❖ Solución indicador de verde de bromocresol. Se prepara disolviendo 0,1g de tetrabromo-m- cresol sulfonftaleina en 1,5 ml de hidróxido de sodio 0,1 N y diluyendo a 100 ml con agua destilada.
 - ❖ Bifluoruro de amonio (NH_4HF_2), en escamas.
 - ❖ Solución 0.03 N de tiosulfato de sodio. 1 ml de esta solución equivale a 1,906 mg de cobre.
 - ❖ Solución de yoduro de potasio. Se prepara disolviendo 50 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua destilada.
 - ❖ Solución de almidón. Se humedece 1 g de almidón soluble hasta hacer una pasta, se adicionan 100 ml de agua destilada en ebullición y se hierve durante 1 minuto, con agitación constante.
 - ❖ 125 g de la muestra molidos hasta pasar por malla 100 y homogenizados.
- Procedimiento. Se pesan 2g de la muestra*, se transfieren a un vaso de precipitado de 400 ml agregando 10 ml de ácido nítrico concentrado y 7,5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dirige sobre la placa de calentamiento hasta la aparición de vapores blancos. Se enfría, se adiciona 50ml de agua y se hierve durante 1 minuto, posteriormente se deja enfriar hasta temperatura ambiente. Se adicionan 3 gotas de verde de bromocresol y con la solución de hidróxido de amonio (1:1) se ajusta pH a 4,0, evidenciado por el color verde del indicador, se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Si el indicador vira a amarillo, se adiciona solución de hidróxido de amonio gota a gota hasta obtener la coloración verde original, evitando adicionar excesos.

Se agregan 2g de Bifluoruro de amonio (NH_4HF_2), se mezcla perfectamente y se deja reposar durante 5 minutos. Se adicionan 8- 10 gotas de yoduro de potasio, se agita y se titula con la solución valorada de tiosulfato de sodio hasta la aparición de un color amarillo claro. Se adiciona 1 ml de solución de almidón y se continua

* Esta se extrae de la muestra obtenida según la norma técnica colombiana 8633

titulando hasta mantener estable durante 20 minutos la coloración que se obtuvo antes de la adición de yoduro de potasio.

- Cálculos y resultados. El porcentaje de cobre se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cu} = (V * F/P)*100$$

Donde,

V = Volumen de solución 0,03N de tiosulfato de sodio gastado en la titulación (ml).

F = Factor de conversión (1,906mg/ml de solución 0,03N de tiosulfato de sodio).

P = Peso de la muestra (gramos).

Determinación de cinc. El procedimiento utilizado para la determinación del cinc presente en las materias primas es el que se encuentra consignado en la norma técnica NTC 1695 que habla sobre productos químicos utilizados en la agricultura.

Para la realización de este método se utilizaron los siguientes equipos y reactivos

- » Equipo usual de laboratorio.
- » Papel tornasol
- » Amoníaco, solución al 25%.
- » Negro de ericromo T.
- » Naranja de metilo, solución 1%
- » Sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético, solución 0,1 M.

- Procedimiento. Se pesan 0,5g de muestra, en un balón aforado con capacidad de 250 cm³ (V₂), se agrega aproximadamente 100cm³ de agua destilada, se agita hasta su máxima disolución y se lleva a volumen.

Se filtra y se toma una alícuota de 10 cm³ (V₃). Se agrega papel tornasol y se adiciona amoníaco hasta reacción alcalina.

Se lleva a un volumen de 100 cm³ con agua destilada, se agregan aproximadamente 20mg de negro de ericromo T y 5 gotas de naranja de metilo solución al 1%. La solución debe tener una coloración roja.

Posteriormente se titula con sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético solución 0,1 M hasta la coloración verde (V1).

- Cálculos y resultados. El contenido de zinc se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Zn} = V_1 * 0,06537 * V_2 * 100 / (M * V_3)$$

Donde:

V₁ = Volumen de sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético, solución 0,1 M cm³

V₂ = Volumen total en cm³

V₃ = Volumen de la alícuota, en cm³.

M = masa de la muestra en gramos.

Determinación del porcentaje de humedad libre. el material contiene un porcentaje de humedad que merece ser analizado. Para este análisis se utilizó una mufla, balanza y un cronometro.

- Procedimiento. Se tomaron diferentes muestras de material de masa conocida las cuales se sometieron a un proceso de secado que consistió en introducir las muestras a la mufla y diferentes tiempos retirarlas y pesarlas. Las variables que son tenidas en cuenta son : masa inicial, tiempo, masa final. La mufla trabajó a una temperatura de 150°C para todas las muestras para garantizar que la totalidad del agua se evaporara. Este procedimiento se realizó hasta que el peso de la muestra no variara. A continuación se muestra los resultados para cada una de las muestras.

El porcentaje de humedad se calculó de la siguiente manera:

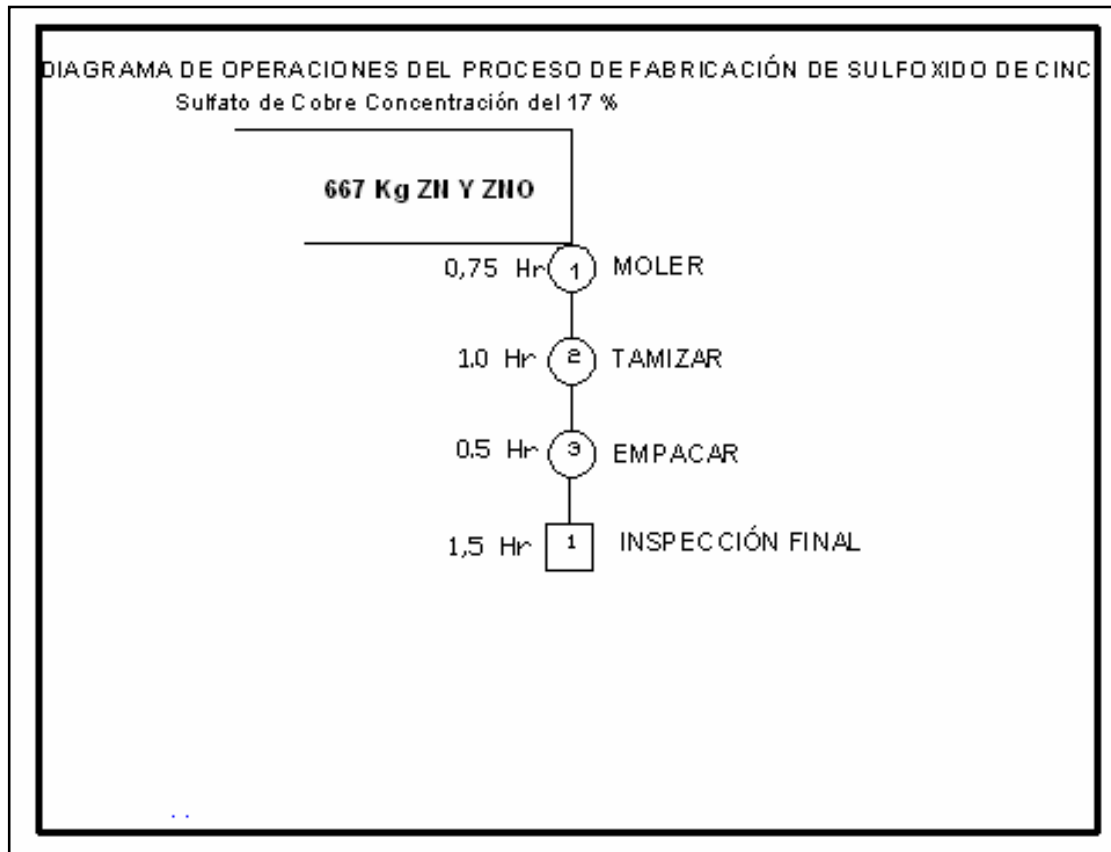
$$\%Humedad = \frac{Masa.Inicial - Masa.Final}{Masa.Inicial} \times 100$$

5.3 SULFOXIDO DE CINC

El sulfoxido de cinc es un producto que quimicampo Ltda obtiene a partir de un proceso de molienda de subproductos de industrias productoras de sales minerales los cuales son llevados a tamaños de partículas adecuados para los procesos de granulado que se emplean en las industrias de agroquímicos. Este sulfoxido es una mezcla de sulfatos y óxidos de cinc y su composición varia entre el 15 y el 23 % de Zn total. En los anexos del presente documento se presenta la ficha técnica del sulfoxido de cinc comercializado por QUIMICAMPO LTDA.

La figura 12 muestra el diagrama de tiempos de operaciones de este proceso

Figura 12 . diagrama de tiempo y operaciones para sulfoxido de cinc



Fuente. Los autores

5.4 SULFATO DE CINCO

El proceso se basa en la reacción del ácido sulfúrico con las cenizas de cinc o de latón en presencia de agua la cual se lleva a cabo en el reactor de sulfatación. el reactor se carga con ácido sulfúrico, agua y cenizas de cinc o de latón en las cantidades establecidas por el balance de masa para el proceso, de acuerdo a la concentración de cinc de las cenizas con las que se trabaje inicialmente. La agitación del reactor mantiene en contacto las partículas de cinc con el ácido sulfúrico lo cual acelera el proceso de sulfatación de las mismas.

Actualmente el proceso tarda alrededor de 7 horas en la producción de 450 litros de solución de sulfato de cinc a una densidad de 1,38gr/l y una concentración de cinc soluble de 164gr/l.

Por medio de un proceso de decantación que se da dentro del mismo reactor de sulfatación se separa la solución de sulfato de los lodos que se generan como residuo del proceso, los cuales se llevan a un proceso de secado el cual será descrito posteriormente y la solución es bombeada como se menciona anteriormente al tanque de almacenamiento. El tiempo de decantación es de aproximadamente 1 hora.

El sulfato de cinc se vende en dos presentaciones:

- En solución de 164gr/l de concentración de Zn.
- Polvo de 28% de concentración de Zn.

El sulfato de cinc en solución se despacha en carrotanques propiedad del cliente bombeando directamente desde el tanque de almacenamiento.

Para el sulfato de cinc en polvo el proceso continua a la etapa de secado, el sulfato de cinc líquido es cargado por medio de la motobomba a las tinas de secado en lotes de 550 litros los cuales equivalen a 300 kilos de sulfato de cinc en polvo del 28% de concentración.

Cada tina de secado trabaja con 2 quemadores de gas natural que consumen 7,5 m³ de gas/hora, Este proceso de secado tarda alrededor de 8 horas por cada tina.

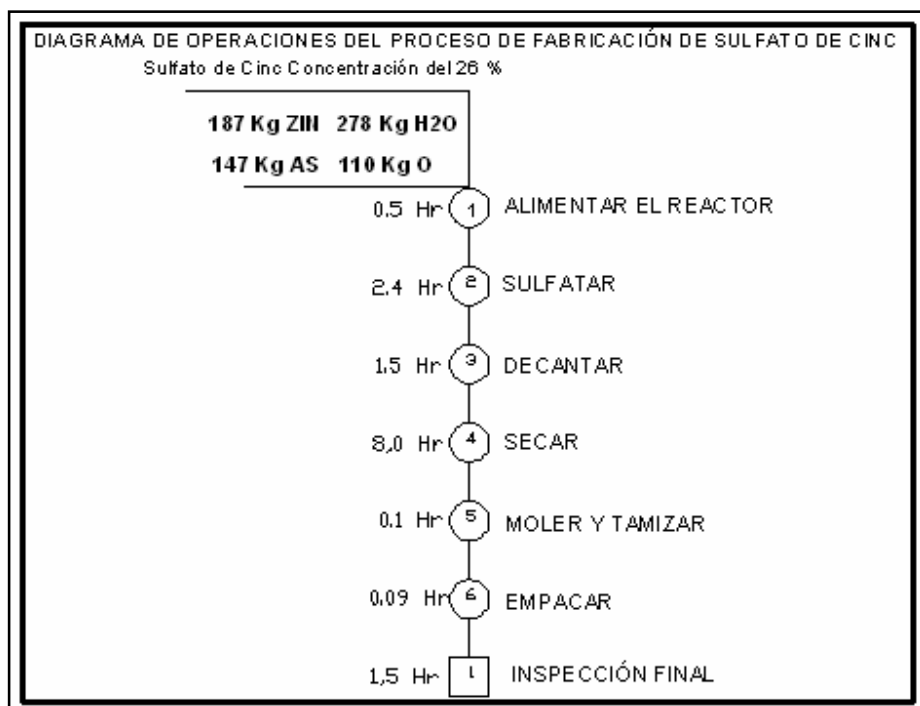
Posteriormente el material es descargado de las tinas manualmente y puesto en la tolva del molino de martillos para el proceso de reducción de tamaño hasta obtener un diámetro de partícula de malla 100, el cual se verifica mediante tamización, el sulfato de cinc que no pasa el tamiz es recirculado al proceso de molienda.

Para finalizar el sulfato de cinc tamizado es empacado en sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno x 50 kilos para ser entregados al mercado.

En los anexos de este documento se presenta la ficha técnica del sulfato de cinc comercializado por QUIMICAMPO LTDA

La figura 13 presenta el diagrama de tiempos de este proceso

Figura 13. diagrama de tiempos del proceso de sulfato de cinc



Fuente: los autores.

5.5 SULFATO DE COBRE

El sulfato de cobre es obtenido por la reacción entre el cobre oxidado y el ácido sulfúrico. El cobre es obtenido de las cenizas de latón, a las cuales previamente se les ha extraído el cinc en el proceso descrito anteriormente

Para el aprovechamiento del cobre presente en los lodos generados en el proceso de fabricación de sulfato de cinc, es necesario oxidar el cobre para su posterior sulfatación, este proceso se describe a continuación:

Oxidación del cobre. Los lodos son enviados a un segundo reactor en donde se alimenta ácido nítrico del 50% y agua. Los balances de masa y energía del proceso se expondrán mas adelante. Esta reacción produce una solución de nitrato de cobre.

Esta reacción genera vapores de NOx que son impulsados por un soplador a través de una tubería a una torre de lavado en donde los gases entran en contacto con agua a contracorriente. El burbujeo del gas en el agua permite que exista una reacción química entre estas fases produciéndose ácido nítrico diluido.

Sulfatación. Una vez concluida la fase de oxidación (producción de nitrato de cobre en solución) se adiciona la cantidad estequiometrica de ácido sulfúrico al 98% y de agua para la producción de solución de sulfato de cobre.

Concentración de la solución: la solución de sulfato de cobre es concentrada en una tina de acero inoxidable la cual es calentada por quemadores de gas natural en la cual se incrementa la temperatura y la densidad hasta el punto de saturación del sulfato

Cristalización. En esta etapa del proceso la solución concentrada y caliente es enfriada hasta que alcanza la temperatura ambiente en donde la solubilidad del sulfato es menor al 16%.

Centrifugado y empaque: En el proceso de enfriamiento el sulfato se precipita y es necesario separar la solución en exceso de la pasta obtenida, esto se hace a través de una centrifuga que separa por acción de la fuerza centrifuga el liquido del sólido.

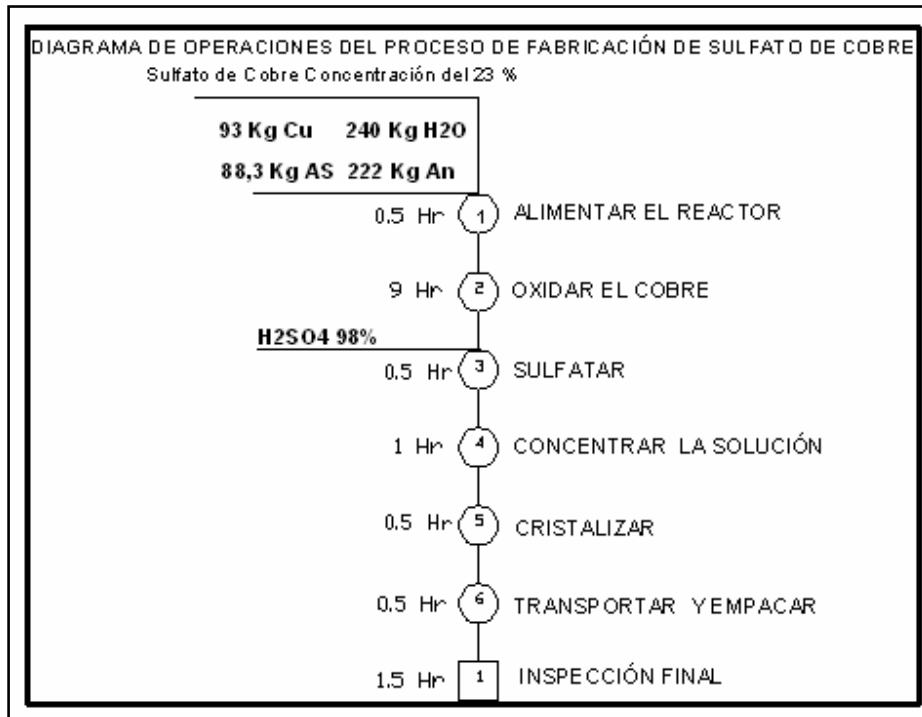
Los líquidos son recirculados como aguas madres mientras que la pasta es tamizada y empacada en sacos * 50 kilos.

La composición del sulfato de cobre varía en contenidos entre el 18 y el 23 % de cobre soluble.

La ficha técnica del sulfato de cobre comercializado por QUIMICAMPO LTDA se presenta en los anexos de este documento.

La figura 14 presenta el diagrama de tiempo de operaciones de este proceso

Figura 14. diagrama de tiempos del proceso de sulfato de cobre



Fuente: Los Autores.

5.6 BALANCES DE MASA

A continuación se presentan los balances de masa para los procesos de obtención de sulfato de cinc y de cobre basados en los mecanismos de reacción y etapas del proceso mencionadas anteriormente

5.6.1 SULFOXIDO DE CINCO

Quimicampo Ltda procesa mensualmente en promedio 20 toneladas de sulfoxido de cinc las cuales llegan a la empresa en sacos x 25 kilos. Estos sacos son

almacenados en la bodega de materias primas para iniciar el proceso de molienda del producto.

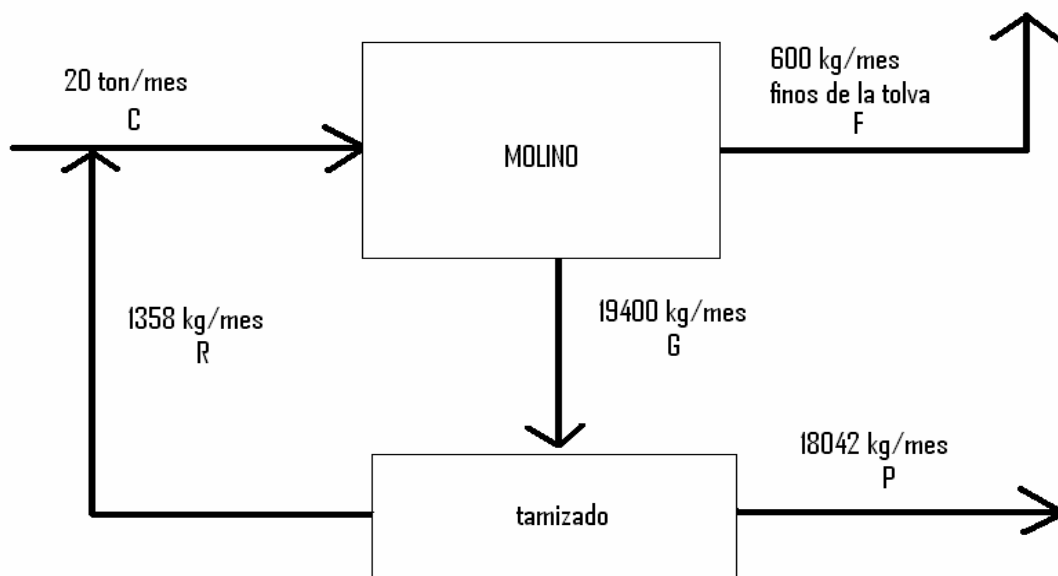
El proceso inicia con el transporte del material hacia la tolva del molino, el cual es realizado por el operario de forma manual.

El molino procesa el material cargado hasta un tamaño de partícula de malla 100 el cual es confirmado por en el proceso de tamización después del cual el 7% del material debe ser reprocesado para alcanzar el tamaño de partícula deseado

Así mismo se ha determinado que la perdida de finos en la tolva del molino esta alrededor del 3% del material alimentado

En base a esta información el balance de masa para la producción promedio mensual de sulfoxido de cinc es de la siguiente manera.

Figura 15. Balance de masa del proceso de obtención de sulfoxido de cinc



Fuente. Los Autores

En donde:

C: carga inicial alimentada al molino.

F: Finos que se pierden de la tolva del molino

G: Material molido entre fino y grueso que se lleva al proceso de tamizado.

P: Producto terminado

R: Recirculación de material grueso al molino.

El balance total de materia para la producción mensual promedio se resume en la tabla 9.

Tabla 9. Balance total para el proceso de molienda y tamización del sulfoxido de cinc.

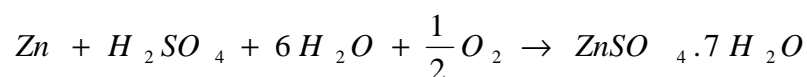
LOTE	C(kilos)	F(kilos)	G(kilos)	P(kilos)	R(kilos)
1	20000,0	600,0	19400,0	18042,0	1358,0
2	1358,0	40,7	1317,3	1225,1	92,2
3	92,2	2,8	89,4	83,2	6,3
4	6,3	0,2	6,1	5,6	0,4

Fuente: los Autores.

Basados en los datos de la tabla anterior se puede definir que los kilos de perdida total por la tolva del molino equivalen a: 644 kg que es igual al 3,22% de la carga total mensual al molino.

5.6.2 SULFATO DE CINCO

La reacción química en la que se basa la producción de sulfato de cinc es la siguiente:



A partir de esta reacción se determinan las cantidades estequiométricas que deben ser alimentadas al reactor de la siguiente manera

- Cantidad de Ácido Sulfúrico

$$kg_{cenizas} \left(\frac{\% Zn}{kg_{cenizas}} \right) \left(\frac{1kg - molZn}{65,38kg} \right) \left(\frac{1kgmolH_2SO_4}{1kgmolZn} \right) \left(\frac{98kgH_2SO_4}{1kgmolH_2SO_4} \right) = kgH_2SO_4$$

Este cálculo depende de la concentración de cinc encontrada en las cenizas.

Así mismo se debe tener en cuenta que la concentración del ácido sulfúrico es del 98% y que por datos experimentales obtenidos a través del tiempo se debe manejar un exceso de ácido mínimo del 5%

- Cantidad de Agua

$$kg_{cenizas} \left(\frac{\% Zn}{kg_{cenizas}} \right) \left(\frac{1kg - molZn}{65,38kg} \right) \left(\frac{6kgmolH_2O}{1kgmolZn} \right) \left(\frac{18kgH_2O}{1kgmolH_2O} \right) = kgH_2O$$

Como en el caso anterior la experiencia indica que el exceso de agua debe ser de un 80% para compensar las pérdidas que existen por evaporación, humedecer la totalidad del material y alcanzar la densidad adecuada en la solución de sulfato de cinc.

- Cantidad de Oxígeno

$$kg_{cenizas} \left(\frac{\% Zn}{kg_{cenizas}} \right) \left(\frac{1kg - molZn}{65,38 kg} \right) \left(\frac{0,5kgmolO_2}{1kgmolZn} \right) \left(\frac{32 kgO_2}{1kgmolO_2} \right) = kgO_2$$

El oxígeno es tomado del aire con una composición de 21% de Oxígeno y 79% de nitrógeno y se trabaja con un exceso de aire del 1%

- Cantidad de Sulfato de cinc producida.

$$kg_{cenizas} \left(\frac{\% Zn}{kg_{cenizas}} \right) \left(\frac{1kgmolZn}{65,38kg} \right) \left(\frac{1kgmolZnSO_4 \cdot 7H_2O}{1kgmolZn} \right) \left(\frac{287,38kgZnSO_4 \cdot 7H_2O}{1kgmolZnSO_4 \cdot 7H_2O} \right) = kgZnSO_4 \cdot 7H_2O$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones y consideraciones mencionadas en la siguiente tabla se presentan mas cantidades necesarias en función de la

concentración de cinc de las cenizas manejadas comercialmente, así mismo también se tiene en cuenta un rendimiento de reacción del 88 % que es el establecido por la experiencia de la empresa en las actuales condiciones de reacción.

También se toma como base de cálculo 200 kg de cenizas en función del volumen del reactor, esta es la capacidad máxima establecida para evitar daños en el agitador.

Tabla 10. Balances de masa para producción de sulfato de cinc

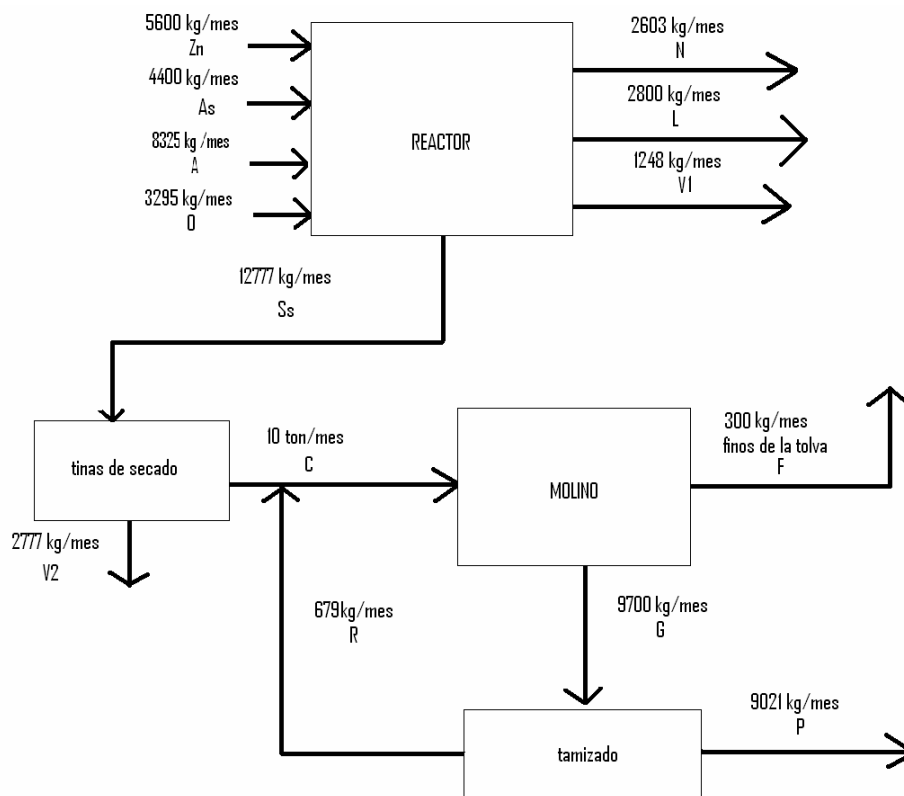
Producción de sulfato de cinc										
%Zn de cenizas	kg de cenizas	Kg de Zn	kg acido sulfúrico		kg agua		kg oxigeno		sulfato producido	
			Teórico	real	teórico	real	teórico	real(aire)	teórico	real
20	200	40	60	61	66	119	10	47	176	155
22	200	44	66	67	73	131	11	51	193	170
24	200	48	72	73	79	143	12	56	211	186
26	200	52	78	80	86	155	13	61	229	201
28	200	56	84	86	93	167	14	65	246	217
30	200	60	90	92	99	178	15	70	264	232
32	200	64	96	98	106	190	16	75	281	248
34	200	68	102	104	112	202	17	79	299	263
36	200	72	108	110	119	214	18	84	316	279
38	200	76	114	116	126	226	19	89	334	294
40	200	80	120	122	132	238	20	93	352	309
42	200	84	126	128	139	250	21	98	369	325
44	200	88	132	135	145	262	22	103	387	340
46	200	92	138	141	152	274	23	107	404	356
48	200	96	144	147	159	285	23	112	422	371
50	200	100	150	153	165	297	24	117	440	387

Fuente: Los Autores.

La empresa esta produciendo un promedio de 400 kg diarios de sulfato de cinc, lo que equivale a 10000 kilos de producto mensual.

En base a esta información se plantea el siguiente modelo para los balances de masa del proceso de producción mensual de sulfato de cinc de la empresa Quimicampo Ltda.

Figura 16. Balance de masa para el proceso de obtención de sulfato de cinc



Fuente: Los Autores.

Donde:

Zn: Carga de cenizas de Zn al reactor del 50% de Zn

As: Carga de ácido sulfúrico al reactor

A: Carga de Agua al reactor

O: Carga de aire al reactor

N: Nitrógeno inerte que sale del reactor

L: Lodos en base seca que salen del reactor

V1: vapor de agua que se genera por la exotermia de la reacción

Ss: Solución de sulfato de cinc producida.

V2: Vapor de agua generado en el proceso de secado del sulfato de cinc

C: carga inicial alimentada al molino.

F: Finos que se pierden de la tolva del molino

G: Material molido entre fino y grueso que se lleva al proceso de tamizado.

P: Producto terminado

R: Recirculación de material grueso al molino.

De la misma manera que sucede en el sulfoxido el proceso de molienda genera perdidas por la emisión de material particulado al ambiente. En la siguiente tabla se presenta el balance del proceso de molienda.

Tabla 11. Balance del proceso de molienda de sulfato de cinc

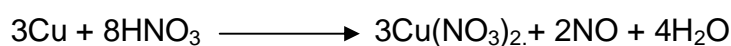
LOTE	C(kilos)	F(kilos)	G(kilos)	P(kilos)	R(kilos)
1	10000,0	300,0	9700,0	9021,0	679,0
2	679,0	20,4	658,6	612,5	46,1
3	46,1	1,4	44,7	41,6	3,1
4	3,1	0,1	3,0	2,8	0,2

Fuente: Los Autores.

En base a este balance se confirma que la perdida por material particulado de sulfato de cinc mensual es de 322 kg.

5.6.3 BALANCE DE PRODUCCIÓN DE SULFATO DE COBRE

La obtención de sulfato de cobre a partir de lodos de latón, se lleva a cavo en dos etapas una inicial de oxidación el la que se genera nitrato de cobre y la de sulfatación en la que el nitrato de cobre es atacado por el acido sulfúrico, estos dos procesos obedecen a los siguientes mecanismos de reacción:



- Cantidad de ácido nítrico requerido

$$kg\text{ lodos} \left(\frac{\% Cu}{kg\text{ lodos}} \right) \left(\frac{1kg - molCu}{63,54kg} \right) \left(\frac{8kgmolHNO_3}{3kgmolCu} \right) \left(\frac{63kgHNO_3}{1kgmolHNO_3} \right) = kgHNO_3$$

El ácido con el que se trabaja es de 50% de concentración en peso además, en base a la literatura consultada se encontró que en la reacciones de nitración se debe trabajar un exceso del 8%

- Cantidad de agua requerida

En esta reacción se necesita un exceso de agua, para asegurar que en la etapa de sulfatación se obtenga una cristalización a temperatura ambiente. se determinó que la saturación de la solución de nitrato es a una densidad de 1.300kg/m³ valor en el cual la solución de nitrato tiene la concentración adecuada para que en la etapa de cristalización no sea necesario trabajar a temperaturas por debajo de las ambientales. Teniendo en cuenta todos estos parámetros la cantidad de agua agregar debe ser 100kg./ lote de producción. Es importante tener en cuenta que el ácido esta diluido y que la reacción genera agua.

- Cantidad de nitrato producida

$$kg\text{ lodos} \left(\frac{\% Cu}{kg\text{ lodos}} \right) \left(\frac{1kg - molCu}{63,54kg} \right) \left(\frac{3kgmolCu(NO_3)}{3kgmolCu} \right) \left(\frac{187,63kgCu(NO_3)}{1kgmolCu(NO_3)_2} \right) = kgCu(NO_3)_2$$

- Cantidad de óxido de nitrógeno producida

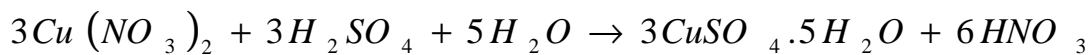
$$kg\text{ lodos} \left(\frac{\% Cu}{kg\text{ lodos}} \right) \left(\frac{1kg - molCu}{63,54kg} \right) \left(\frac{2kgmolNO}{3kgmolCu} \right) \left(\frac{30kgNO}{1kgmolNO} \right) = kgNO$$

- Cantidad de agua producida

$$kg\text{ lodos} \left(\frac{\% Cu}{kg\text{ lodos}} \right) \left(\frac{1kg - molCu}{63,54kg} \right) \left(\frac{4kgmolH_2O}{3kgmolCu} \right) \left(\frac{18kgH_2O}{1kgmolH_2O} \right) = kgH_2O$$

Mecanismo de reacción de la etapa de sulfatación

En esta etapa se alimenta al reactor la solución de nitrato de cobre y ácido sulfúrico en base a la siguiente reacción.



- Cantidad de nitrato de cobre requerida.

La cantidad de nitrato de cobre que entra a esta etapa es la misma que se produjo en la etapa anterior.

- Cantidad de ácido sulfúrico requerida.

$$kgCu(NO_3)_2 \times \left(\frac{1kgmolCu(NO_3)_2}{187,63kgCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{3kgmolH_2SO_4}{3kgmolCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{98kgH_2SO_4}{kgmolH_2SO_4} \right) = kgH_2SO_4$$

- Cantidad de agua requerida

$$kgCu(NO_3)_2 \times \left(\frac{1kgmolCu(NO_3)_2}{187,63kgCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{5kgmolH_2O}{3kgmolCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{18kgH_2O}{kgmolH_2O} \right) = kgH_2O$$

- Cantidad de sulfato de cobre producido.

$$kgCu(NO_3)_2 \times \left(\frac{1kgmolCu(NO_3)_2}{187,63kgCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{3kgmolCuSO_4 \cdot 5H_2O}{3kgmolCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{249,71kgCuSO_4 \cdot 5H_2O}{kgmolCuSO_4 \cdot 5H_2O} \right) = kgCuSO_4 \cdot 5H_2O$$

- Cantidad de ácido nítrico producido

$$kgCu(NO_3)_2 \times \left(\frac{1kgmolCu(NO_3)_2}{187,63kgCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{6kgmolHNO_3}{3kgmolCu(NO_3)_2} \right) \left(\frac{63kgHNO}{kgmolHNO} \right) = kgHNO$$

Balance de la etapa de cristalización y centrifugación

Una vez obtenida la solución de sulfato de cobre es llevada a una concentración de saturación por medio de la evaporación del exceso de agua presente en ella posteriormente la solución de sulfato de cobre va a ser enfriada hasta 17°C temperatura a la cual la solubilidad del sulfato de es del 16%, por debajo de esta temperatura no se obtiene un sulfato en pasta si no un producto con una geometría cristalina que dificulta su solubilidad y genera incrustación en los equipos. El sulfato que no cristaliza será devuelto en las aguas madres al igual que el ácido nítrico producido. La centrifuga que actualmente opera en la empresa entrega el 90% de la pasta cargada en forma de cristales.

En la tabla 12 se presentan las cantidades de materias primas y productos generados en función de la concentración de cobre de los lodos que se manejan en la empresa así como de la concentración de los ácidos y los rendimientos reales establecidos por la empresa para cada reacción.

Tabla 12. Balance de masa para el proceso de obtención de sulfato de cobre

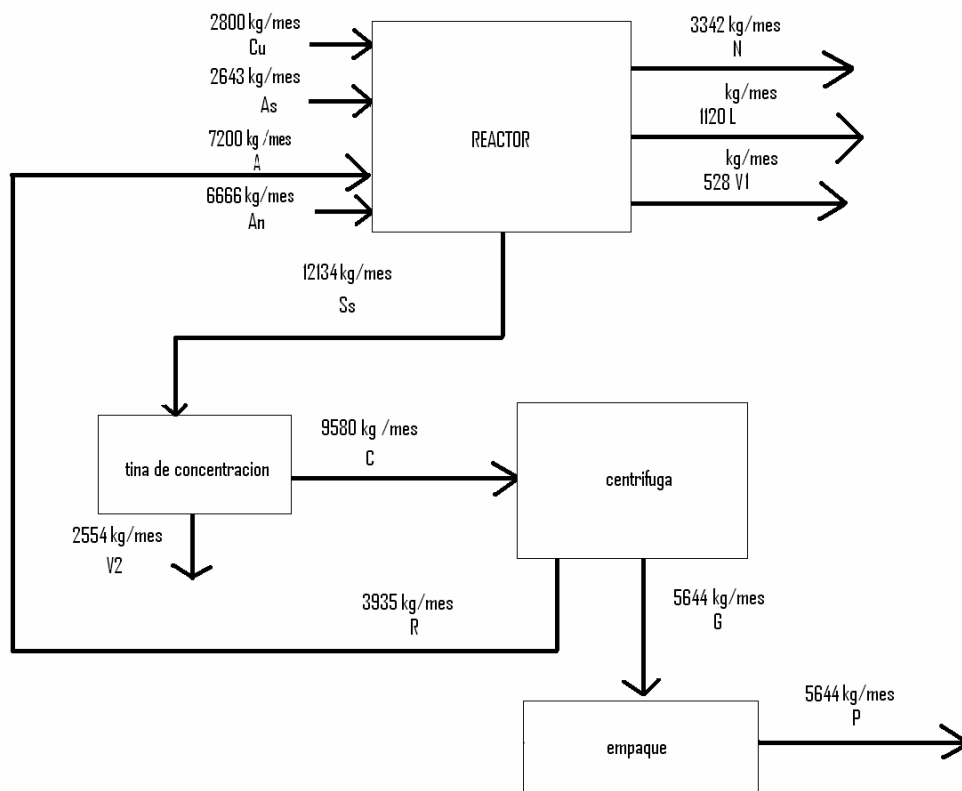
Producción de sulfato de cobre																
%Cu de lodos	kg de lodos	Kg de Cu	kg de ácido nítrico		kg agua		nitrato producido		Kg No generados		kg de ácido sulfúrico		nítrico generado		kg sulfato de cobre	
			Teórico	real	Teórico	real	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	real	Teórico	real	Teórico	Real
20	150	30	79	119	100	100	89	73	9	8	38	39	49	46	97	92
22	150	33	87	131	100	100	97	80	10	9	42	43	54	51	106	101
24	150	36	95	143	100	100	106	87	11	9	46	46	59	56	116	110
26	150	39	103	155	100	100	115	94	12	10	49	50	63	60	126	119
28	150	42	111	167	100	100	124	102	13	11	53	54	68	65	135	129
30	150	45	119	179	100	100	133	109	14	12	57	58	73	70	145	138
32	150	48	127	190	100	100	142	116	15	12	61	62	78	74	155	147
34	150	51	135	202	100	100	151	123	16	13	65	66	83	79	164	156
36	150	54	143	214	100	100	159	131	17	14	68	70	88	83	174	165
38	150	57	151	226	100	100	168	138	18	15	72	74	93	88	184	174
40	150	60	159	238	100	100	177	145	19	15	76	77	98	93	193	184
42	150	63	167	250	100	100	186	153	20	16	80	81	102	97	203	193
44	150	66	175	262	100	100	195	160	21	17	83	85	107	102	213	202
46	150	69	183	274	100	100	204	167	22	18	87	89	112	107	222	211
48	150	72	190	286	100	100	213	174	23	19	91	93	117	111	232	220
50	150	75	198	298	100	100	221	182	24	19	95	97	122	116	242	230

Fuente: Los Autores.

El cobre disponible para la producción mensual de sulfato de cobre agrícola es el que se obtiene en los lodos. De acuerdo a la caracterización de las cenizas el promedio de cobre es del 30% de esta manera el cobre disponible mensual son 1680 kg lo que permite una producción mensual de 6700 kilos de sulfato de cobre del 25% de concentración.

En base a esa información se plantea el siguiente de masa mensual

Figura 17. Balance de masa para producción mensual de sulfato de cobre



Fuente: Los Autores.

Donde:

Zn: Carga de lodos de Cu al reactor del 60% de Cu

As: Carga de ácido sulfúrico al reactor

A: Carga de Agua al reactor

An: Carga de ácido nítrico al reactor

N: Acido nítrico generado en la sulfatación

L: Lodos en base seca que salen del reactor

V1: Vapores de NOx generados en el proceso de nitración

Ss: Solución de sulfato de cobre producida.

V2: Vapor de agua generado en el proceso de concentración de la solución de sulfato de cobre.

C: carga de pasta de sulfato cargada a la centrifuga.

G: Sulfato de cobre centrifugado que se lleva al proceso de empaque.

P: Producto terminado

R: Recirculación de aguas madres con sulfato de cobre.

5.7 CONSUMOS ENERGETICOS

La energía consumida por los procesos de Quimicampo Ltda esta distribuida en consumos de gas natural y energía eléctrica.

La energía eléctrica esta representada por los consumos de los motores que tienen los equipos del proceso.

En la siguiente tabla se hace una descripción de estos equipos y la parte del proceso en la que intervienen para la producción mensual promedio establecida en los balances de masa.

En la tabla 13 se presentan los consumos de energía eléctrica de los procesos productivos de quimicampo Ltda.

Tabla 13 Consumos energéticos mensuales de los procesos de quimicampo Ltda

PRODUCTO	EQUIPO	UNIDADES	HP MOTOR	HR MES	KW - HR	\$/KW-H	COSTO OPERACIÓN
Sulfoxido de cinc	molino	1	12	30	268,56	\$ 245	\$ 65.875
sulfato de cinc	Reactor	2	3	240	1074,24	\$ 245	\$ 263.500
sulfato de cinc	motobomba	1	3	6,5	14,547	\$ 245	\$ 3.568
sulfato de cinc	molino	1	12	15	134,28	\$ 245	\$ 32.938
sulfato de cobre	Reactor	1	2,5	336	626,64	\$ 245	\$ 153.709
sulfato de cobre	motobomba	1	3	4	8,952	\$ 245	\$ 2.196
sulfato de cobre	cristalizador	2	1,5	96	214,848	\$ 245	\$ 52.700
sulfato de cobre	centrifuga	1	3	16	35,808	\$ 245	\$ 8.783

Fuente: Los Autores.

Tanto las reacciones para producir sulfato de cinc como las de la obtención de sulfato de cobre son exotérmicas debido a la fuerte disociación de los ácidos que intervienen en ellas, sin embargo para la concentración y secado de las soluciones se necesita agregar calor a los procesos.

El combustible utilizado es el gas natural escogido por razones ambientales, económicas de disponibilidad y seguridad.

De la misma manera el consumo de gas natural de los procesos esta resumido en la tabla 14.

Tabla 14. Consumos de Gas natural mensuales de los procesos de quimicampo Ltda

PRODUCTO	EQUIPO	QUEMADORES	HR MES	M3 /HR	\$/M3	COSTO OPERACIÓN
sulfoxido de cinc	0	0	0	0	\$ -	\$ -
sulfato de cinc	Tina de secado	4	117	7	\$ 690	\$ 2.254.000
sulfato de cobre	tina de concentración	2	149	7	\$ 690	\$ 1.442.560

Fuente: Los Autores.

5.7 IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS CONTAMINANTES, APROVECHAMIENTO DE RECURSOS E INEFICIENCIAS ENERGÉTICAS

Como se determino en los balances de masa de los procesos productivos de quimicampo Ltda se presentan los siguientes flujos contaminantes

En la tabla 15 se presentan los flujos contaminantes de cada uno de los procesos descritos anteriormente.

Tabla 15 identificación de flujos contaminantes

PROCESO	FLUJO	TIPO	afectación
sulfoxido de cinc	finos del molino	material particulado	aire
sulfato de cinc	vapores de Sox	gases efecto invernadero	aire
sulfato de cinc	residuos de proceso	lodos con metales pesados	suelo
sulfato de cinc	solución de sulfato	vertimientos	agua
sulfato de cinc	finos del molino	material particulado	aire
sulfato de cobre	Vapores de Nox	gases efecto invernadero	aire
sulfato de cobre	residuos de proceso	lodos con metales pesados	suelo
sulfato de cobre	solución de sulfato	vertimientos	agua

Fuente: los autores

Manejo de material particulado: este material lo componen los finos que se generan del proceso de molienda del sulfato de cinc y del sulfoxido de cinc Actualmente se controlan por medio de unas carpas que cubren el molino, esta solución es poco eficiente pues no se logra una recuperación de más del 30 % del material fino que se escapa por la tolva.

En el siguiente capitulo se planteara una alternativa para la implementación de un sistema de colector de polvos que solucione el problema ambiental y así mismo sea rentable gracias a la recuperaron de material.

Manejo de gases de efecto invernadero: Actualmente quimicampo cuenta con dos sistemas de control de gases invernadero que funcionan de la siguiente manera

Por medio de campanas de captación fabricadas en fibra de vidrio y unos extractores en acero inoxidable los vapores generados en los reactores tanto de SOx como de NOx son transportados por ductos hacia una torre de lavado empacada de gases, los cuales son lavados a contracorriente con agua pasándolos por cuatro platos empacados con añillos de cerámica.

El agua acida es recirculada a los reactores para aprovechar el acido que se genera en el proceso.

El aire que sale por la purga de la torre se lleva a un tanque donde se hace burbujear para terminar el proceso de absorción de los gases de efecto invernadero

De esta manera se realiza el control de las emisiones generadas en los reactores de sulfatación y nitración.

Vertimientos: tanto las reacciones de sulfatación como las de nitración se realizan en fase acuosa por lo tanto todas las aguas que se generan en la centrifugación son recirculadas a los reactores para aprovechar el ácido libre y el contenido de metal y sulfato presente en ellas. Esto se hace por cumplir con los parámetros ambientales y porque estas aguas tienen contenidos importantes de materias primas y productos terminados que se van recuperando a medida que estas soluciones son saturadas.

Lodos con metales pesados: Estos materiales son los subproductos de los procesos de sulfatación tanto de cobre como de cinc.

Los lodos que se generan en al producir sulfato de cinc son los que alimentan el proceso de obtención de sulfato de cobre, así se aprovechan todos los lodos generados en este proceso.

Los lodos que se generan en el proceso de obtención de sulfato de cobre tienen pequeños contenidos de sulfato de cobre, de cinc, así como nitratos y óxidos de los mismos metales. Estos materiales mal dispuestos generan serios inconvenientes ambientales, pero pueden ser aprovechados como fuente de estos materiales para la fabricación de fertilizantes radicales.

Quimicampo actualmente después de tener caracterizados estos lodos los enriquece mezclándolos con óxidos, y sulfatos para darles características comerciales y así disponer de ellos como un producto más de la empresa.

6. DESARROLLO DE PRODUCCION MAS LIMPIA

6.1 MANEJO DE FINOS EN EL MOLINO

Uno de los puntos críticos dentro de los procesos productivos de quimicampo es el manejo de los finos en el molino, debido no solo a la emisión de material particulado a la atmósfera sino a las pérdidas económicas que esto implica para la empresa.

En la tabla 16 se presentan las cantidades de material perdido en el proceso de molienda y los costos que esto implica en base a los balances de masa y a los precios de venta de los productos.

Tabla 16. Pérdidas mensuales por finos en el molino

PRODUCTO	PERDIDA MENSUAL	COSTO PRODUCCION /KILO	PRECIO DE VENTA/KILO	PERDIDA MENSUAL	UTILIDAD PERDIDA
SULFOXIDO DE CINC	644KG	\$ 600	\$ 1.050	\$386400	\$ 289.800
SULFATO DE CINC	321KG	\$ 1.840	\$ 2.400	\$590640	\$ 179.760

FUENTE: Los Autores.

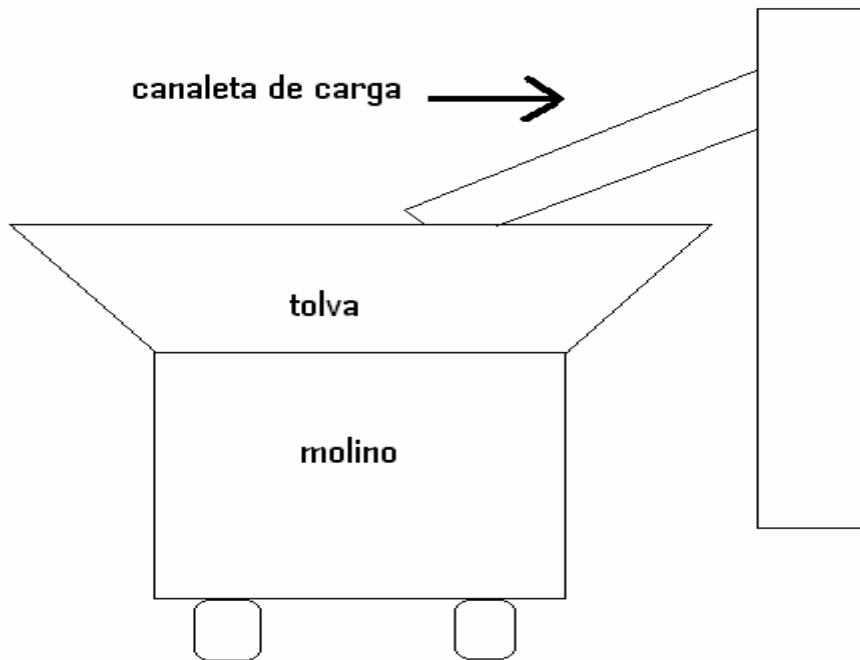
En base a los datos de la tabla anterior se puede determinar que a Quimicampo Ltda la pérdida de finos le representa **\$977.000** en costos de producción y de **\$469.500** en utilidad dejada de recibir para un total de **\$1,446.000** mensuales.

Estas pérdidas hacen necesario tomar medidas para la reducción de la emisión de finos a la atmósfera, no solo por el compromiso ambiental sino por hacer más rentables los procesos.

La implementación de un colector de polvos es una buena alternativa a un bajo costo, en comparación con los costos de las pérdidas de material previamente establecidos

La figura 18 muestra una vista frontal de la situación actual del molino

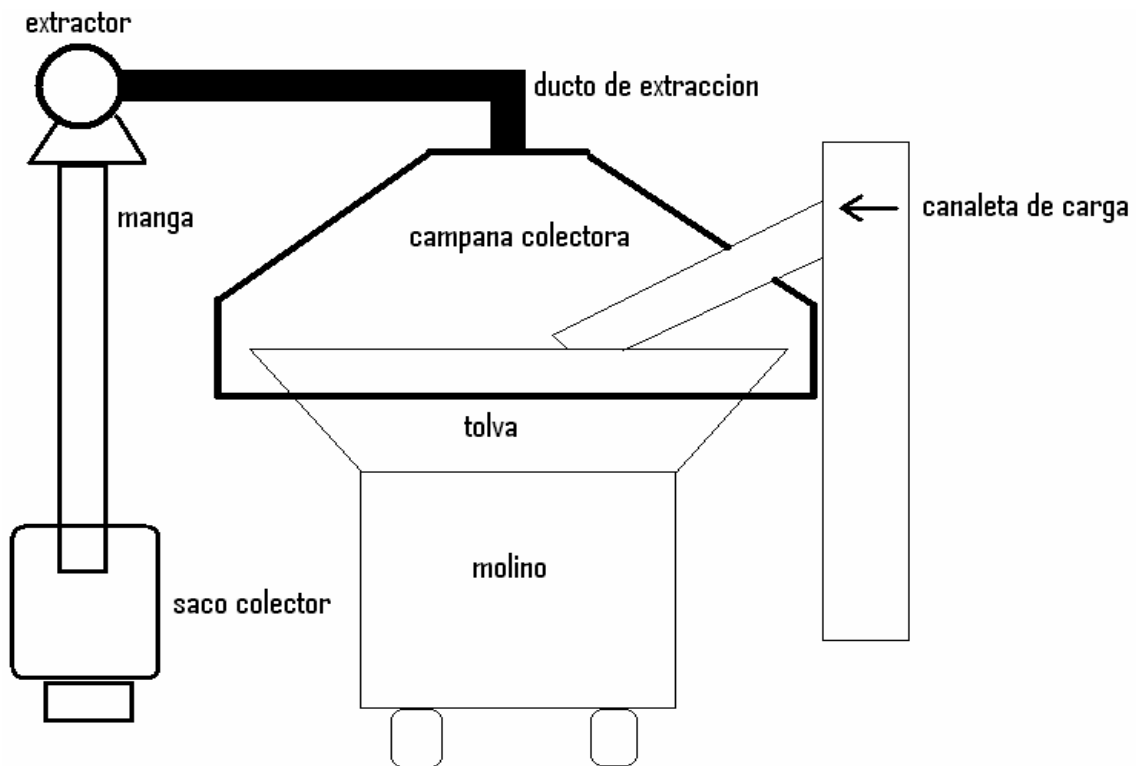
Figura 18. Vista Frontal del sistema actual de molienda



Fuente: Los Autores.

En la figura 19 se presenta el diseño de un sistema colector de polvos propuesto para el molino de la empresa quimicampo Ltda

Figura 19. Diseño de colector de finos para el molino.



Fuente: Los Autores.

El colector consiste en una campana que cubre toda la tolva del molino , la cual esta conectada por medio de un ducto a un extractor el cual retira los materiales finos llevándolos por medio de una manga a un saco colector en donde se recupera el material.

El material que el extractor no capta vuelve a la tolva del molino.

Los equipos necesarios para el montaje y sus costos son los siguientes.

Campana: construida en lamina de 1/8 en hierro para resistir los golpes de los materiales gruesos \$275000

Ducto de extracción: Tubería de P.V.C de 4 pulgadas de diámetro para aire con accesorios (codos, uniones), \$ 70000

Extractor: Equipo fabricado en hierro con álavos de aluminio y un motor de ½ caballo que genere la corriente de aire para captar los finos impalpables que se generan en el proceso de molienda \$ 780.000

Manga: tubería de PVC de 4 pulgadas para aire recubierta de fibra de polietileno. \$ 26000

En base a esta información el costo total del montaje es de **\$1,151.000**

Comparando esta inversión contra los costos de producción mensuales que implica la pérdida de los finos la inversión se recupera en el segundo mes de operación, teniendo en cuenta que más del 90% de los finos van a ser captados por el colector

El único costo de operación del equipo es la energía eléctrica que consume el motor del extractor la cual puede ser calculada de la siguiente manera

El extractor debe trabajar las mismas horas que trabaja el molino mensualmente es decir 270 hr , para un motor de 0,5 hp el consumo en kWh es igual a:

$$\text{KW-H} = 270 * 0,5 * 0,746 = 100,71 \text{ kw H /mes}$$

Lo que indica que el costo mensual de operación del extractor es de

$$\$/\text{mes} = 100,71 \text{ kw H} * \$245/\text{kwh} = \mathbf{\$24700}$$

La tabla 17 presenta la comparación entre los costos de montaje y la recuperación mensual de material

Tabla 17. Costos y Beneficios de la operación mensual del colector de polvos.

mes	inversión / costos op	recuperación	utilidad del equipo acumulada	Recuperación de material mensual
1	\$ 1.151.000	\$ -	\$ -1.151.000	\$ -1.151.000
2	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ -296.364	\$ -296.364
3	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 558.272	\$ 558.272
4	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 1.412.908	\$ 854.636
5	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 2.267.544	\$ 854.636
6	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 3.122.180	\$ 854.636
7	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 3.976.816	\$ 854.636
8	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 4.831.452	\$ 854.636
9	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 5.686.088	\$ 854.636
10	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 6.540.724	\$ 854.636
11	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 7.395.360	\$ 854.636
12	\$ 24.700	\$ 879.336	\$ 8.249.996	\$ 854.636

Fuente : Los Autores.

La tabla anterior muestra que al tercer mes de operación el equipo ya genera utilidad y al final del primer año el montaje del colector le ha representado a la empresa un ahorro de **\$8,249.996** en costos de operación, así como una reducción del 90% en las emisiones de material particulado a la atmósfera.

6.2 CONSUMOS ENERGÉTICOS GAS NATURAL

El panorama energético nacional e internacional en los años recientes esta afrontando un gran desafío debido a las restricciones ambientales en el uso de combustibles fósiles y a las constantes alzas en los precios de los derivados del petróleo. Consecuentemente, el uso del gas natural como combustible limpio y los precios competitivos ha venido en aumento en los sectores industrial, comercial, domestico y vehicular.

Ante tal panorama, el pleno conocimiento sobre el fenómeno de combustión del gas natural y en particular de los quemadores de gas, constituye una herramienta fundamental para el perfeccionamiento de la explotación y el diseño de los mismos, bajo criterios ambientales, técnicos, económicos y legales.

En el diagnostico de producción mas limpia es de vital importancia el aprovechamiento eficiente de los combustibles, en este caso el gas natural,

para ello un aspecto fundamental es el diseño de los quemadores en los cuales se debe lograr aprovechar el máximo del poder calorífico por cada metro cúbico de gas que ingrese.

Esto tiene implicaciones tanto económicas como ambientales ya que una mejor combustión conlleva a una menor emisión de monóxido de carbono así como un mayor aprovechamiento energético lo que deriva en un menor consumo por lote de producción.

Los parámetros influyentes en el proceso de combustión como la temperatura máxima de la llama, el calor disponible en los gases de combustión y las emisiones contaminantes como función del exceso de aire (relación aire-combustible), la temperatura de los reactantes y los gases de combustión, deben ser las herramientas técnicas para dar fundamento a los análisis económicos y ambientales en el diseño y selección de los quemadores.

6.2.1 Temperatura máxima de los gases de combustión

Los modelos utilizados para el análisis de la combustión se basan en el metano, que es el principal componente del gas natural, y como agente oxidante el aire, constituido por oxígeno y nitrógeno fundamentalmente, en estos modelos se desprecia la presencia del argón y trazas de otros constituyentes. Las condiciones de los reactantes son 15 C y 1 atm de presión.

La temperatura máxima que pueden alcanzar los gases de combustión es la temperatura adiabática de llama. Es la temperatura que se obtiene si todo el calor desarrollado durante el proceso se utiliza integralmente para calentar los productos. El procedimiento de cálculo de la temperatura de llama adiabática, considerando los fenómenos de disociación se lleva a cabo por la interacción de la temperatura de los productos hasta que se cumpla la siguiente expresión:

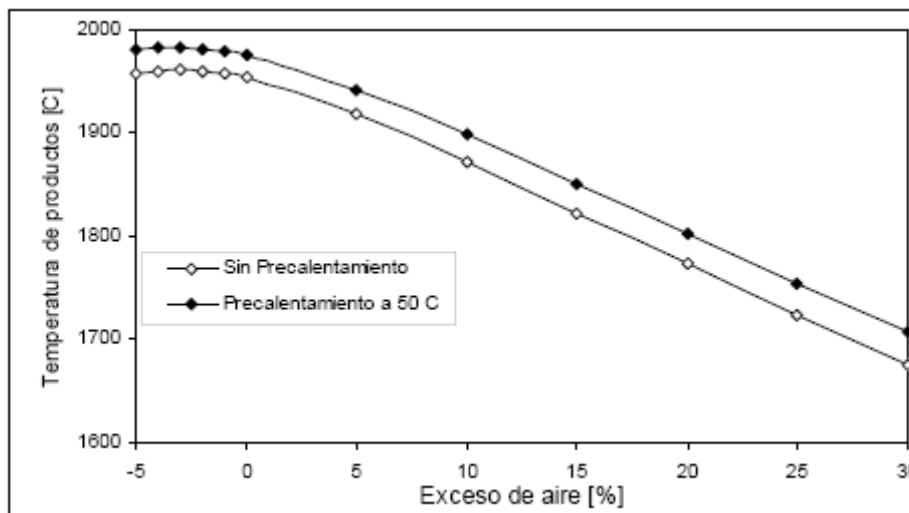
$$H_{\text{reactantes}} = H_{\text{productos}}$$

En donde $H_{\text{reactantes}}$ representa la entalpía del combustible y del aire que hacen parte del proceso de combustión. Cuando toda la energía es empleada para

elevar la temperatura de los humos de combustión, sin pérdidas de calor hacia el medio, los productos alcanzan una entalpía $H_{\text{productos}}$ igual a la de los productos reactantes y por ende obtendrán su máxima temperatura.

En la siguiente figura se presenta la variación de la temperatura máxima de los productos de combustión en función del exceso de aire de la combustión. Se observa que la máxima temperatura ocurre para una condición de mezcla rica o defecto de aire de 3%. Aunque comúnmente se asocia la temperatura adiabática de llama a la condición estequiométrica o de 0 exceso de aire, para la condición real de disociación de especies mayores (CO_2 , H_2O , O_2 , N_2) y la formación de especies menores (CO , HO , NO , NO_2 , entre otras). La máxima temperatura adiabática ocurre en una mezcla ligeramente rica porque el calor específico de los productos se reduce permitiendo el incremento de la temperatura.

Figura 20. Temperatura de llama Vs exceso de aire



Fuente .Análisis teórico de la combustión, Ing Juan carlos Serrano

El pre calentamiento del aire de combustión ejerce una influencia importante en la temperatura máxima. Cuando el aire ingresa no a 25 C sino a 50 C , las

temperaturas de llama se incrementan, lo que redundará en mayor calor adicionado a la carga y a la reducción de consumos energéticos del proceso. No menos importante es el control en el exceso de aire debido a que un incremento desmesurado de este ocasiona una caída drástica en la temperatura de la llama.

6.2.2 Calor disponible y eficiencia del proceso

Los productos de combustión poseen una energía térmica de acuerdo a su temperatura. Esta energía o calor disponible $Q_{disponible}$ entendido como la cantidad de energía que puede ser convertida en energía útil, es tanto mayor entre mas fríos salen los gases de combustión del proceso de calentamiento de una carga, lo que indica un aprovechamiento notable de la energía térmica, el calor disponible esta definido por:

$$Q_{disp} = PCS - Q_{gases}$$

Donde:

PCS : es el poder calorífico superior del combustible

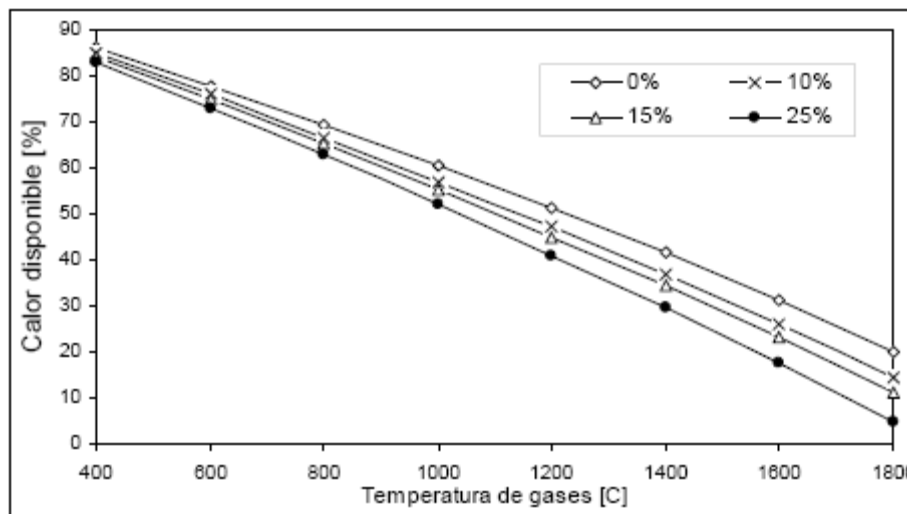
Q_{gases} : es la energía contenida en los gases de combustión, igual a la entalpía de productos a la temperatura de interés $H_{productos}$ menos la entalpía de los productos a 298 K

El gas natural caracterizado como metano CH_4 y tiene un poder calorífico superior a 55528 KJ/kg. La siguiente figura muestra cual es la relación entre el exceso de aire en el quemador y la temperatura de los gases de combustión sobre el calor disponible del proceso de calentamiento, este ultimo como porcentaje del poder calorífico superior que seria la máxima energía útil. Se puede notar que para un exceso de aire fijo el calor disminuye a medida que la temperatura de los gases aumenta, lo que indica que no se le esta extrayendo toda la energía útil a los humos y esta quedando un remanente importante y susceptible de aprovechamiento. Si se considera constante la temperatura de los humos, se nota la clara influencia negativa del exceso de aire, puesto que el

calor disponible disminuye debido a que el aire que adicionalmente ingresa a la combustión consume parte de la energía química transformada.

Una consideración importante para disminuir la temperatura de los productos, y de esta manera incrementar el calor disponible es la instalación de recuperadores de calor. Generalmente los recuperadores de calor constituyen alternativas con buena viabilidad técnico-económica. La limitación para reducir la temperatura de los humos es la formación de ácido sulfúrico, pero con el gas natural este inconveniente no tiene importancia.

Figura 21. Porcentaje de calor disponible respecto al poder calorífico



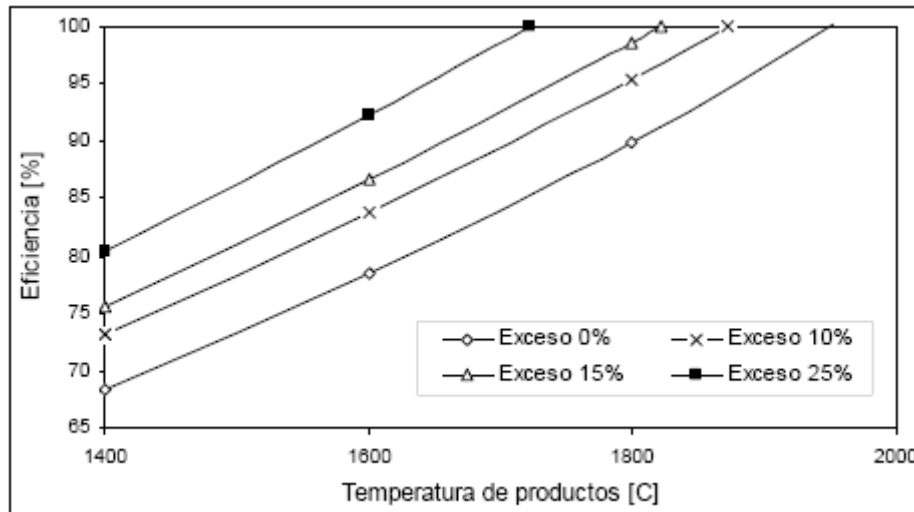
Fuente: Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

La eficiencia de los quemadores esta asociada a la energía química que es posible transformar en el calentamiento de los productos de combustión, y es el 100% si toda la energía química almacenada en el combustible es convertida en calor disponible para el proceso. Si se conoce la temperatura de los reactantes y su entalpía H_{react} y la temperatura de los productos de combustión inmediatamente a la salida del quemador y su energía contenida H_{prod} se puede definir la eficiencia como:

$$D_{comb} = (PCS - (H_{produ} - H_{react})/PCS) * 100\%$$

La figura 20 muestra el comportamiento de la eficiencia de combustión de acuerdo a la temperatura que poseen los gases a la salida del quemador.

Figura 22 Eficiencia de combustión vs temperatura de productos y exceso de aire



Fuente: Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

Para un exceso de aire definido, la eficiencia se incrementa a medida que la temperatura de los gases se eleva. Esto quiere decir que una alta temperatura de los gases de combustión, directamente en la salida del quemador constituye un indicativo del menor impacto de las pérdidas caloríficas debido a la formación de vapor de agua, a la disociación de especies a través de reacciones que son endotérmicas y a las pérdidas de calor en la llama radiante.

Cuando se comparan a una misma temperatura de productos, las combustiones para diferentes consumos de aire, la interpretación es la siguiente.

Una combustión sin exceso cuyos productos estén a la misma temperatura de combustión con exceso y bajo la misma adición acalórica por unidad de combustible PCS, indica que el quemador es más eficiente. Y esto es claro porque el exceso de aire es una carga térmica que igualmente necesita ser calentada.

Se espera que para quemadores en las mismas condiciones de operación y con el mismo combustible se debe ver que el más eficiente sea el que trabaje con la menor cantidad de exceso de aire. Así mismo las combustiones con excesos no desarrollan niveles de temperatura tan altos como las combustiones estequiométricas.

Los quemadores industriales trabajan normalmente con un exceso de aire del 15 % con el fin de minimizar los riesgos ante posibles gases inquemados. Utilizar mayores excesos sería desfavorable energéticamente y tener excesos muy bajos conllevaría a tener mezclas poco íntimas de aire y combustible con la consecuencia de la generación de inquemados y los posibles riesgos asociados a los inquemados combustibles.

6.2.3 Concentraciones de los productos de combustión

En las pruebas de combustión suelen ser relevantes las mediciones de CO_2 , O_2 , CO y NO_x . Tanto el dióxido de carbono como el oxígeno están relacionados con la eficiencia de combustión junto con la temperatura de los gases.

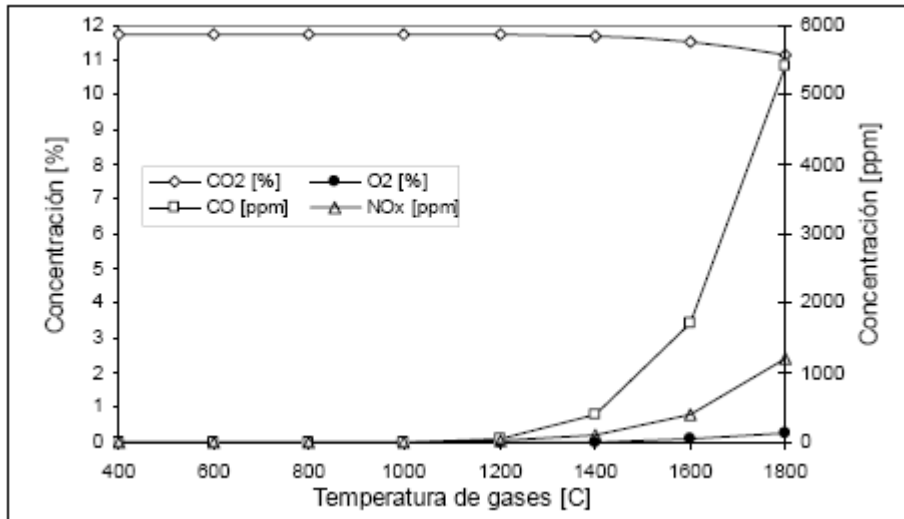
La presencia de monóxido de carbono es un indicativo de la pérdida de eficiencia (la reacción para la generación de monóxido es endotérmica), pero se prefiere su significado en relación con la toxicidad y el riesgo de inflamabilidad. El monóxido de carbono es muy peligroso en cuanto que es imposible de detectar sin instrumentos de medición y las consecuencias de su concentración pueden ser desde ligeros dolores de cabeza hasta la muerte.

Los óxidos de nitrógeno son responsables de la generación de ácidos en la atmósfera contribuyendo a la formación de lluvia ácida y ha constituido uno de los principales desarrollos tecnológicos en los equipos de combustión.

En la siguiente figura se presenta la concentración de especies para un exceso de aire de 0%. Los niveles de CO_2 se mantienen alrededor del 12% disminuyendo levemente a partir de los 1200 C y empezando la generación de CO , como consecuencia de los efectos de la disociación. Esta concentración

de gases de combustión a elevadas temperaturas constituiría un serio problema ambiental debido a que los niveles de CO se deben mantener en 400 ppm de acuerdo con las reglamentaciones de la EPA.

Figura 23. Concentración en base seca vs temperatura de productos para un exceso de 0%

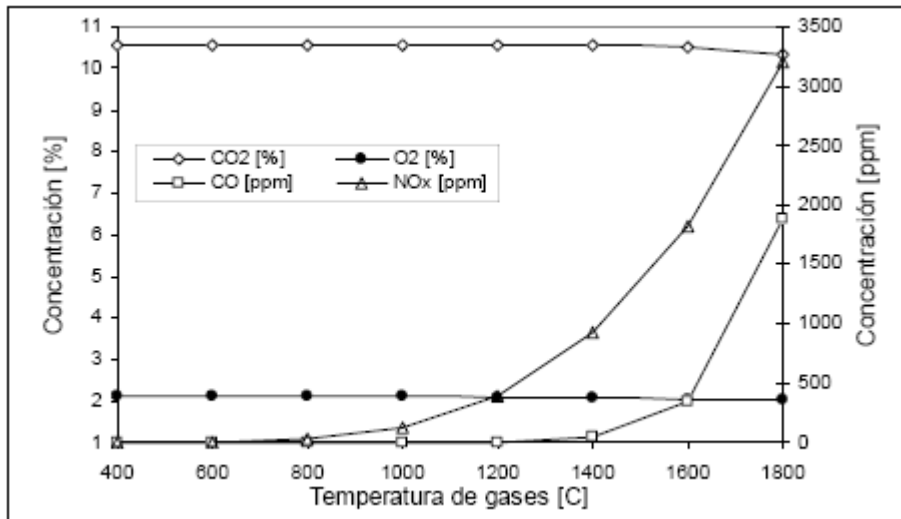


Fuente: Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

Los niveles de NO_x también se incrementan con la disociación generada por la elevación de la temperatura de los gases. Los niveles de NO_x deben mantenerse por debajo de 40 ppm también según la reglamentación de la EPA.

En la siguiente figura se empiezan a evidenciar los efectos del exceso de aire. Se destaca la reducción de los niveles de CO mejorando las condiciones ambientales en lo que a este contaminante se refiere pero se nota un incremento considerable en los óxidos de nitrógeno respecto al modelo en el que no hay exceso de aire. Debido al exceso se nota una concentración de oxígeno cercana al 2 % la cual disminuye levemente a medida que aumenta la de NO_x y la temperatura.

Figura 24 Concentración en base seca vs temperatura de productos para un exceso de 10% de aire

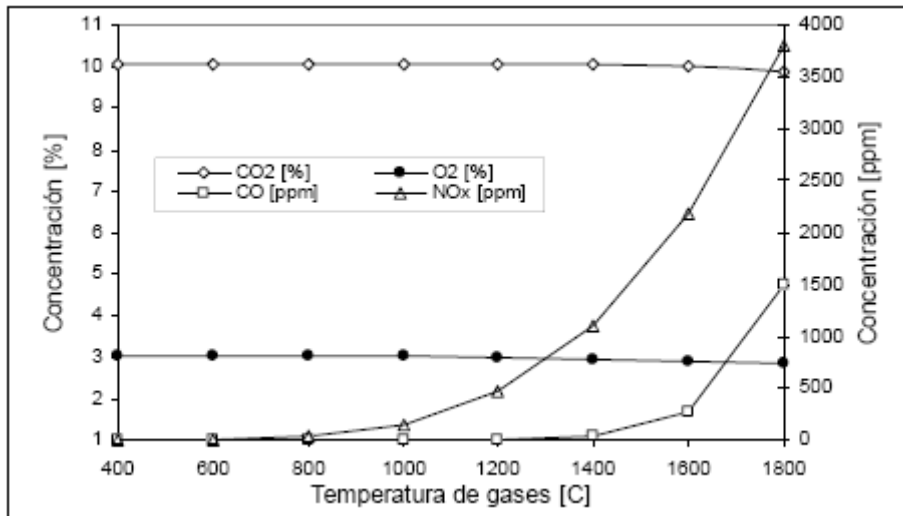


Fuente: Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

La siguiente figura da una referencia para el diseño de quemadores de gas natural. Todo esto debido a que los fabricantes recomiendan operar con excesos de aire del 15%. Cuando un equipo es operado bajo esta recomendación, se deberían obtener concentraciones en base seca de CO_2 alrededor del 10%, las de O_2 cerca del 3% y las de CO y NO_x variables con la temperatura de los productos de combustión. Se debe resaltar nuevamente el efecto negativo de la generación de gases de combustión a temperaturas elevadas debido a las altas concentraciones de los gases contaminantes mencionados anteriormente.

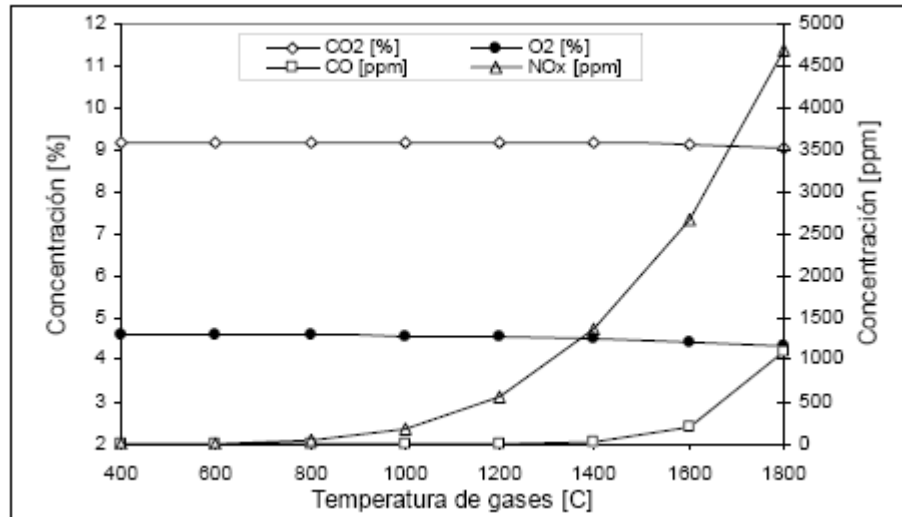
Los excesos de aire elevados constituyen un decremento considerable en la eficiencia térmica del proceso como consecuencia por la energía absorbida por el exceso de aire y así mismo las concentraciones de NO_x se hacen mas notables.

. Figura 25. Concentración en base seca vs temperatura de gases para exceso de 15%



Fuente: : Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

Figura 26 Concentración en base seca vs temperatura para un exceso de 25% de aire



Fuente: Análisis teórico de la combustión de gas natural. Ing Juan Carlos Serrano

6.3 ANALISIS DE CONSUMO DE GAS DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

Dentro de los procesos productivos de Quimicampo Ltda. se presenta consumo de gas en el proceso de concentración de la solución de sulfato de cobre para lograr la cristalización del material .

Esta etapa del proceso se realiza en una tina de acero inoxidable donde la solución de sulfato es calentada por medio de 2 quemadores de gas natural, esta operación se basa en la concentración de la solución debida a la evaporación del exceso de agua hasta llevarla a la concentración de saturación para iniciar la etapa de la cristalización.

En base a datos experimentales se ha determinado que el tiempo de duración de la etapa de concentración de la solución depende de la temperatura que se alcance en la solución

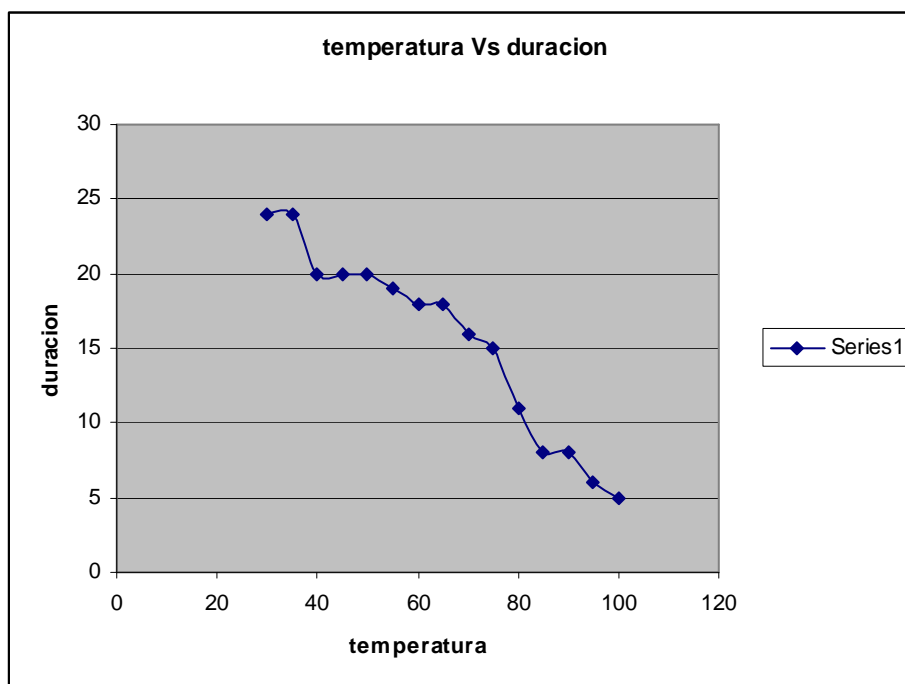
En la siguiente tabla y grafica se presentan la relación entre las variables mencionadas.

Tabla 18. Temperatura Vs tiempo de duración de la concentración de la solución de sulfato de cobre

temperatura C	tiempo duración (hr)
30	24
35	24
40	20
45	20
50	20
55	19
60	18
65	18
70	16
75	15
80	11
85	8
90	8
95	6
100	5

Fuente QUIMICAMPO LTDA

Figura 27. Temperatura vs duración de la concentración de la solución de sulfato de cobre



FUENTE LOS AUTORES

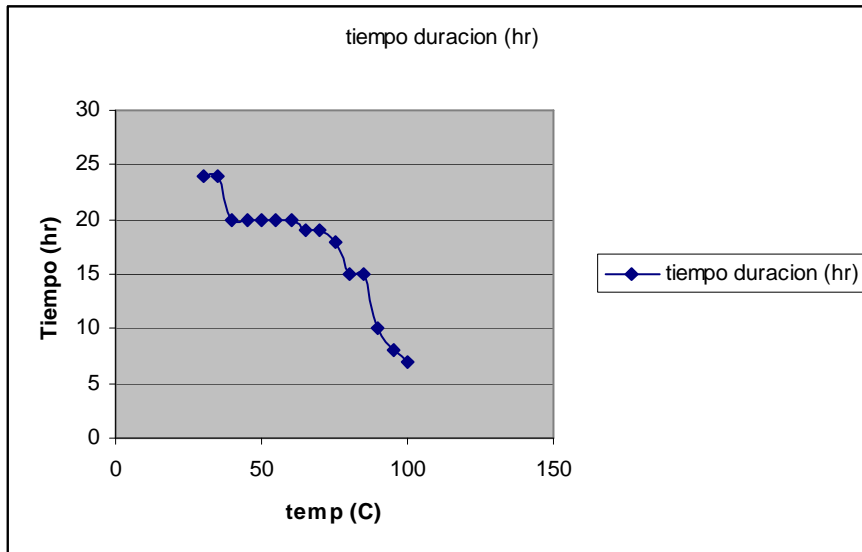
Para el proceso de secado de sulfato de cinc se presenta una relación similar entre la temperatura de la llama y el tiempo de duración del secado, los cuales se presentan en la siguiente tabla y grafica.

Tabla 19 Temperatura Vs Tiempo de duración del secado de sulfato de cinc.

Temperatura C	tiempo duración (hr)
30	24
35	24
40	20
45	20
50	20
55	20
60	20
65	19
70	19
75	18
80	15
85	15
90	10
95	8
100	7

Fuente: Los Autores.

Figura 28. Temperatura Vs tiempo de secado de sulfato de cinc



Fuente: Los Autores.

Así mismo el diseño y selección de los quemadores es el factor fundamental para hacer mas eficiente el consumo de gas y poder aprovechar la mayor cantidad de BTU /m³.

El gas natural del que se dispone en Soacha presenta las siguientes especificaciones:

Presión.

Mínima: 1.654,32 kPa (240 psi)

Máxima: 2757,2 kPa (400 psi).

Temperatura: 15,6 C (60 F)

Poder Calórico:

Superior: 43,05 KJ (1150,1 BTU/ft³)

Inferior: 38,99 KJ (1130,5 BTU/ft³)

Peso Molecular: 20,89 Kg/mol (Lb/mol)

Factor de compresibilidad: 0,99

Calor específico a P constante: 0,401 Cal/m³C

Calor específico a V constante: 0,317 Cal/m³C

En la siguiente tabla se presenta la composición promedio del gas natural

Tabla 20. Composición Promedio del gas Natural

composición típica del gas natural	
Metano	70 – 90 %
Etano	
Propano	
Butano	0 - 20 %
Dióxido de carbono	0 - 8 %
Oxígeno	0 - 0,2 %
Nitrógeno	0 - 5 %
Sulfuro de Hidrogeno	0 - 5 %
Gases raros	Trazas

Fuente: Gas Natural S.A ESP

De acuerdo a esta información se puede determinar el consumo en BTU/ m³ de cada quemador en la forma que esta operando actualmente en la empresa y así mismo determinar la ineficiencia energética del proceso.

Consumo teórico actual de cada quemador.

$$\text{BTU /m}^3 * \text{Hr} = 7\text{m}^3 * 1 \text{ Hr} * 1246,71 \text{ BTU/m}^3 = \mathbf{8727 \text{ BTU*hr}}$$

De acuerdo a las tablas de diseño de los quemadores para un consumo de 8727 BTU la temperatura que se debería estar alcanzado en la solución de sulfato de cobre es de 106 C y en el secado de sulfato de cinc 115 C.

Actualmente la solución de sulfato de cobre esta siendo concentrada a una temperatura promedio de 85 C lo que según las tablas de saturación de sulfato de cobre equivale a 6998,09 BTU *hr.

Así mismo para el caso del secado de sulfato de cinc se esta trabajando a una temperatura de 100 C que equivale a 7588,72 BTU * hr

Basados en esta información se establece la pérdida de gas en cada quemador de la siguiente manera:

Consumo teórico – consumo real = BTU desperdiciados por cada quemador

Para Sulfato de cinc

$$8727 \text{ BTU} - 7588,72 \text{ BTU} = \mathbf{1138,309 \text{ BTU hr}}$$

Estos BTU equivalen a:

$$1138,309 \text{ BTU/hr} / 1246 \text{ BTU/m}^3 = \mathbf{0,91 \text{ m}^3 \text{ Hr de gas natural /quemador}}$$

Teniendo en cuenta que para el secado de sulfato de cinc se utilizan 4 quemadores que trabajan 117 horas al mes, la pérdida de gas mensual en metros cúbicos es:

$$\text{M}^3 \text{ de gas / mes} = 427 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

Así mismo el costo de la ineficiencia del secado de sulfato de cinc equivale a **\$294840 /mes.**

De la misma manera se realiza el cálculo para determinar la pérdida mensual de gas natural para el proceso de concertación de sulfato de cobre.

$$\text{BTU hr} = \mathbf{1728 \text{ BTU /hr}}$$

$$\text{Gas natural perdido: } \mathbf{1,38 \text{ m}^3 / \text{hr}}$$

$$\text{Pérdida mensual: } \mathbf{413 \text{ m}^3 / \text{mes}}$$

$$\text{Costos de ineficiencia mensual: } \mathbf{\$285.100}$$

El consolidado mensual de pérdida por ineficiencia en los procesos donde interviene el gas natural es de **\$580.000**

De esta forma se hace evidente e indispensable buscar la manera de economizar y hacer mas eficiente el uso del gas natural.

La inversión en unos quemadores mas eficientes no solo permite utilizar todo el poder calorífico del gas natural, hacer una quema mas eficiente la que evita la formación de monóxido de carbono sino disminuir el tiempo de operación y el consumo de gas, lo cual reduce los costos de operación también generando un ahorro importante para la empresa

En los anexos se presentan las fichas técnicas de los quemadores que pueden ser utilizados para reemplazar los existentes de acuerdo a los BTU/hr consumidos por la empresa, al caudal que se maneja

Los quemadores escogidos son equipos que operan entre 6000 y 10000 BTU/hr

El costo de cada quemador es de \$1360000, Se necesitan 6 unidades para reemplazar los ya existentes

En la siguiente tabla se presenta el flujo de la inversión y el tiempo necesario para su recuperación

Tabla 21. Costos y beneficios de la implementación de nuevos quemadores

Mes	Inversión inicial	consumo mensual m3	ahorro gas m3	Utilidad ahorro	recup inversión
1	\$ 8.160.000	5357,333333	\$ -	\$ -	\$ -8.160.000,00
2	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -7.580.400,00
3	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -7.000.800,00
4	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -6.421.200,00
5	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -5.841.600,00
6	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -5.262.000,00
7	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -4.682.400,00
8	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -4.102.800,00
9	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -3.523.200,00
10	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -2.943.600,00
11	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -2.364.000,00
12	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -1.784.400,00
13	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -1.204.800,00
14	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -625.200,00
15	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ -45.600,00
16	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ 534.000,00
17	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ 1.113.600,00
18	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ 1.693.200,00
19	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ 2.272.800,00
20	0	4517,333333	\$ 840,00	\$ 579.600,00	\$ 2.852.400,00

Fuente: Los Autores.

De acuerdo a la información de la tabla anterior la inversión se recupera en 15 meses , teniendo en cuenta el precio actual del gas natural el cual tiende a aumentar considerablemente debido a la disminución de la oferta y a los altos precios de las fuentes de energía, así como al desmedido incremento del consumo por parte de el transporte.

Esta alternativa es viable técnica y ambientalmente ya que los quemadores están diseñados para realizar una mejor combustión evitando la formación de monóxido de carbono.

Así mismo al realizar una combustión mas eficiente el tiempo de operación se reduce también para el secado del sulfato de cinc de 7 horas a 5 y en la concentración del sulfato de cobre de 8 a 6 horas lo que representa una disminución el consumo de gas de 14m^3 por quemador en cada lote de producción lo que equivale mensualmente a 71 horas menos de operación en los dos procesos donde se consume el gas natural, lo cual hace mas productiva la empresa.

6.4 AHORRO RECURSO HIDRICO Y APROVECHAMIENTO AGUA LLUVIA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN SULFATO COBRE Y ZINC.

6.4.1 Captación de aguas lluvias

Una vez realizado el diagnóstico, encontramos que el consumo de agua tratada suministrada por el acueducto podría ser reemplazada o sustituida, si no en su totalidad en un alto porcentaje por agua lluvia captada a través de tanques, aprovechando parte del área superficial de la planta y distribuyéndola a través de un sistema hidráulico como insumo al reactor para el inicio del proceso productivo. Para esto se contemplo dentro del análisis variabilidades de importancia, tales como: Cantidad de agua requerida por cada uno de los procesos y/o productos, histórico de precipitación mensual-anual para determinar el agua disponible durante el año que podría sustituirse, cuantificación de la inversión de la implementación, recurso hídrico ahorrado y tasa interna de retorno de la inversión así como la evaluación del beneficio ambiental que esto ofrece dentro del proceso productivo.

Los sistemas de captación de agua de lluvia y las tecnologías desarrolladas para el tratamiento de ésta, son de bajo costo, sencillos, nulo o escaso consumo de energía, con facilidad para su construcción, bajo mantenimiento y operación, además de que no dañan el medio ambiente y son opciones viables y eficientes para dotar de agua según lo requiera la demanda doméstica o

industrial. El agua de lluvia, una vez captada, debe tratarse y desinfectarse con cloro u otro medio para obtener una calidad de agua apta para el uso y consumo humano, situación que no sucede para la aplicación industrial de Quimicampo, debido a que a pesar de que es importante el retiro de materiales extraños arrastrados por la caída del agua sobre el techo, no hay que realizar tratamientos específicos del agua.

OBJETO: Incrementar el uso de agua lluvia en todos los procesos, buscando disminuir consumo de agua de acueducto para obtener una reducción del costo operativo y productivo de este proceso en busca de la autosuficiencia y de la obtención de un beneficio ambiental.

6.4.2 METODOLOGÍA APLICADA:

1. Con el propósito de determinar la cantidad de agua disponible en la zona, se procedió a determinar de acuerdo a los promedios meteorológicos de la zona objeto de estudio (Soacha), los históricos y promedios de precipitación mensuales y anuales. En la Tabla 21 se p
2. presentan los históricos de precipitación mes a mes en Soacha.

Figura 29. Consolidado histórico de precipitación anual –Municipio de Soacha



Fuente:http://clima.msn.com/monthly_averages.aspx?wealocations=wc:10034281&q=Soacha%2c+COL+forecast:averagesm

Tabla 22.Promedios de precipitación mensual-Municipio Soacha

Promedios mensuales				°E °C
enero	Prom. bajo: 6°	Prom. alto: 20°	Avg precip: 2.06 cm	
febrero	Prom. bajo: 7°	Prom. alto: 20°	Avg precip: 3.3 cm	
marzo	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 20°	Avg precip: 4.73 cm	
abril	Prom. bajo: 9°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 6.74 cm	
mayo	Prom. bajo: 9°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 7.2 cm	
junio	Prom. bajo: 9°	Prom. alto: 18°	Avg precip: 3.83 cm	
julio	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 18°	Avg precip: 3.43 cm	
agosto	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 18°	Avg precip: 3 cm	
septiembre	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 4.64 cm	
octubre	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 9.03 cm	
noviembre	Prom. bajo: 8°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 6.08 cm	
diciembre	Prom. bajo: 7°	Prom. alto: 19°	Avg precip: 3.8 cm	

Fuente:http://clima.msn.com/monthly_averages.aspx?wealocations=wc:10034281&q=Soacha%2c+COL+forecast:averagesm

Una vez identificada la cantidad de agua lluvia disponible y aprovechable para el proceso, se procedió a efectuar los cálculos de los ahorros del recurso hídrico mensual.

El primer cálculo de importancia es el determinar el área superficial disponible y el volumen de agua lluvia que podría aprovecharse mes a mes. Ver tabla 22

Tabla 23.Promedios de precipitación mensual-Municipio Soacha

Mes	Precipitación		Volumen			
	cm	m	m ³			
Enero	2,06	0,03	3,3			
Febrero	3,3	0,06	5,3			
Marzo	4,73	0,08	7,6			
Abril	6,74	0,11	10,8			
Mayo	7,2	0,12	11,5			
Junio	3,83	0,06	6,1			
Julio	3,43	0,06	5,5			
Agosto	3,00	0,05	4,8			
Septiembre	4,64	0,08	7,4			
Octubre	9,03	0,15	14,4			
Noviembre	6,08	0,10	9,7			
Diciembre	3,8	0,06	6,1			
Average			7,7			
Capacidad Captación			Largo	7.1	M	
			Ancho	13,5	M	
			Área	95,9	m²	

Fuente : los Autores

6.4.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS:

- Canalizar los techos para recolectar aguas lluvias
- Diseñar e instalar un tanque de almacenamiento

. Una vez efectuada esta etapa y teniendo en cuenta los consumos de agua requerida en los procesos de sulfatación del Cinc y del cobre, se cálculo de cuerdo al agua lluvia promedio disponible mes a mes, el ahorro de consumo de agua de acueducto cuantificado en pesos de acuerdo a la tabla del valor m³ de agua para cada uno de los meses establecida por el Acueducto.

Tabla 24. Consumos y ahorros de agua (m³ H₂O y (\$))-Municipio Soacha.

MES	CONSUMOS AGUA ACUEDUCTO			COSTOS		
	Consumo H ₂ O Acueducto ACTUAL m ³ /mes	Consumo H ₂ O Acueducto POSTERIOR m ³ /mes	AHORRO m ³ /mes	Costo CONSUMO H ₂ O Acueducto (\$)	Costo CONSUMO H ₂ O Acueducto POSTERIOR (\$)	AHORRO CONSUMO (\$)
ENERO	15,5	12,2	3,3	\$ 43.164	\$ 34.015	\$ 9.150
FEBRERO	15,5	10,3	5,3	\$ 43.164	\$ 28.507	\$ 14.657
MARZO	15,5	8,0	7,6	\$ 44.498	\$ 22.840	\$ 21.658
ABRIL	15,5	4,8	10,8	\$ 44.498	\$ 13.637	\$ 30.861
MAYO	15,5	4,0	11,5	\$ 44.498	\$ 11.531	\$ 32.967
JUNIO	15,5	9,4	6,1	\$ 44.498	\$ 26.961	\$ 17.537
JULIO	15,5	10,0	5,5	\$ 45.989	\$ 29.757	\$ 16.231
AGOSTO	15,5	10,7	4,8	\$ 45.989	\$ 31.792	\$ 14.196
SEPTIEMBRE	15,5	8,1	7,4	\$ 45.989	\$ 24.031	\$ 21.957
OCTUBRE	15,5	1,1	14,4	\$ 45.989	\$ 3.257	\$ 42.731
NOVIEMBRE	15,5	5,8	9,7	\$ 45.989	\$ 17.217	\$ 28.772
DICIEMBRE	15,5	9,5	6,1	\$ 45.989	\$ 28.006	\$ 17.982
TOTAL AHORRO			92,4 m³	\$ 268.699		

Fuente: los Autores

Tal y como lo permite visualizar la tabla 23, los consumos de agua obedecen al orden de 15,5 m³ mensuales y el ahorro calculado mensual varia en un rango de 3,3 m³ a 14,4 m³ mensuales, es decir un promedio de ahorro de recurso hídrico de 7,7 m³ mensual y un ahorro anual de 92,4 m³. Los meses de mayor ahorro se encuentran en los cuatro meses de alta precipitación al

año correspondientes a: Abril, Mayo, Septiembre y Octubre, este último donde mayor ahorro se prevé ya que la producción para este mes, requeriría únicamente de 1,1 m³, es decir que la necesidad de este insumo estaría cubierta cerca del 93%. Los ahorros estimados mensuales se encuentran en un rango de \$9.150 a \$42.931 y el ahorro anual aproximado se estima en \$ 268.699.

Figura 30. Oferta y demanda de Agua.

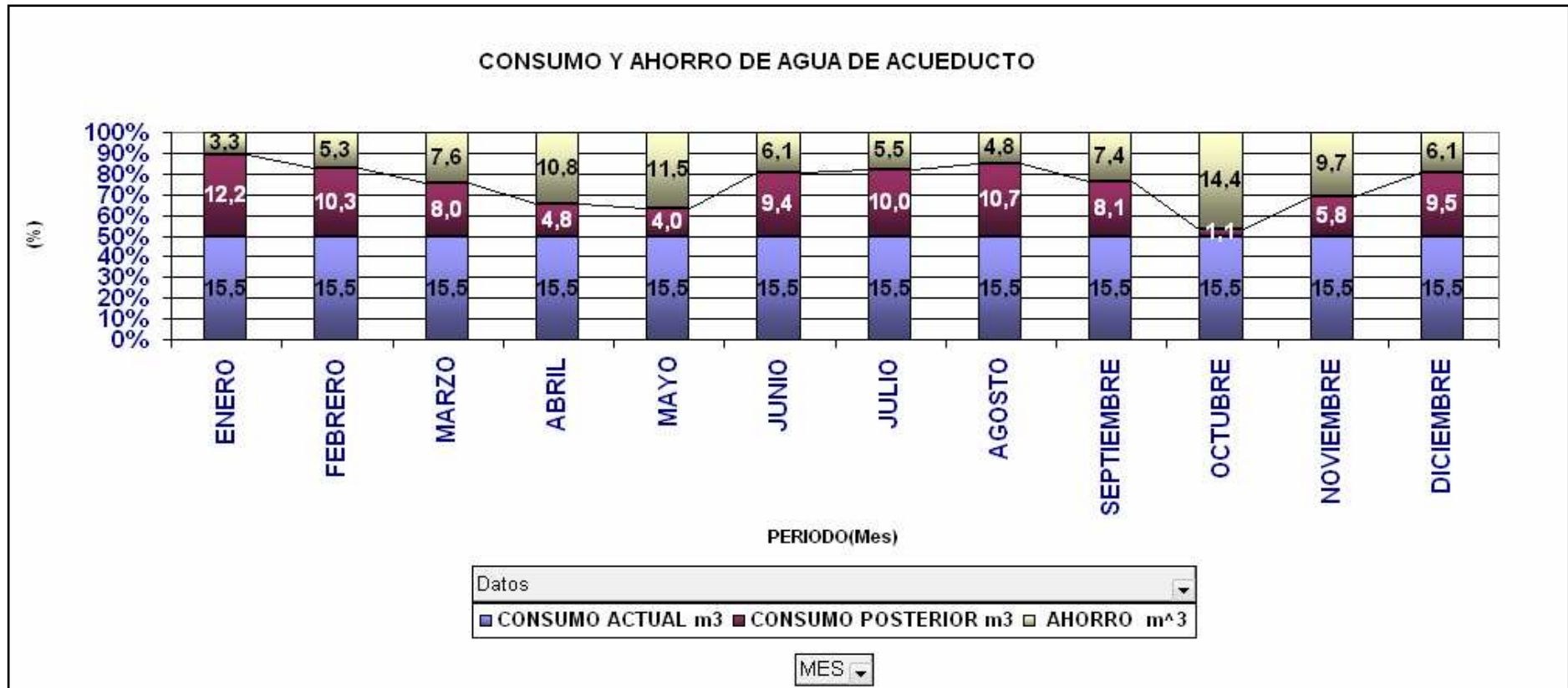
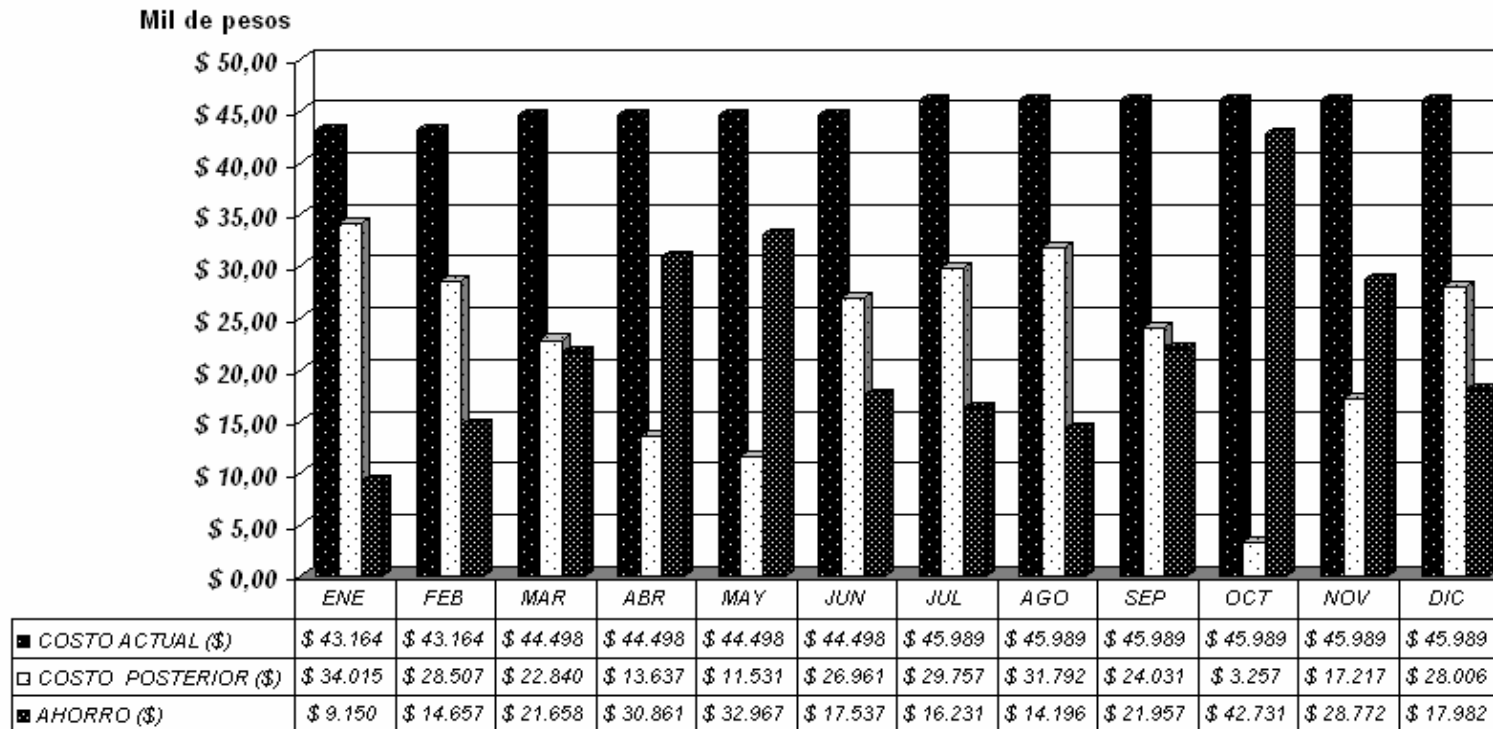


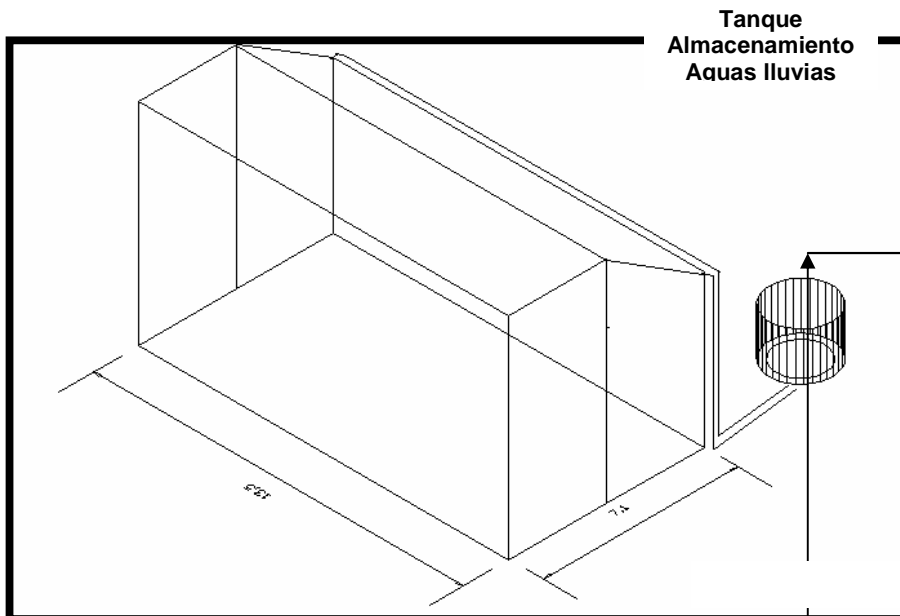
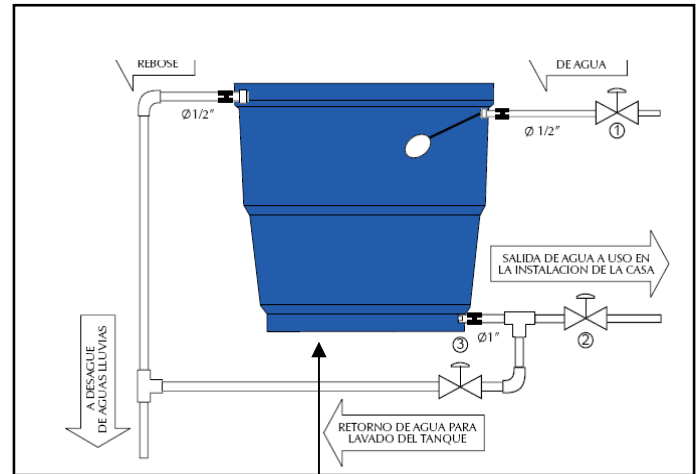
Figura 31. Comparativo de Costos



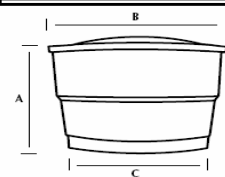
MES ▾

Fuente: Los Autores

6.4.5 DISEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN



Tanque Almacenamiento Aguas Iluvias



Dimensiones				
Capacidad (Litros)	Altura (A) cm	Diametro (B) cm	Diametro (C) cm	Peso (Kg)
250	76	84	58	8.0
500	85	106	72	12.1
1000	106	130	96	22.8
1500	119	145	110	38.1
2000	141	158	125	46.4
3000	146	186	147	72.3
5000	174	228	175	113.6

Los pesos en Kg. incluyen la tapa.

6.4.6 INVERSIÓN

Los costos de inversión de esta alternativa incluyen la adquisición del mecanismo de transporte (canaleta), tanque de almacenamiento de agua (PVC) con capacidad de almacenamiento de 5000 m³ y motobomba de transporte de agua (motobomba 0,5 HP).

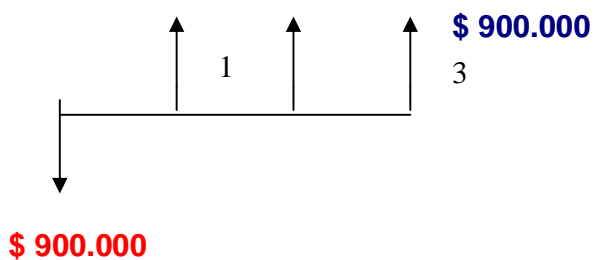
Tabla 25. Valor suministro

Item	Descripción	Und	Costo (\$)
1	Canaleta 40 cm	16 m	200.000
2	Tanque Almacenamiento 5000 m ³ (PVC)	1	500.000
3	Motobomba (0.5 HP)	1	250.000
Subtotal_Costos			900.000

Fuente: Los Autores

La inversión se ve representada en es siguiente esquema económico

CUOTAS FIJAS \$ 270.000



Quimicampo, propone asumir el costo de inversión a 0% de interés y de acuerdo al ahorro anual calculado, se espera recuperar el dinero en un periodo aproximado de tres años. La viabilidad de implementación es alta, con una baja inversión y alto beneficio ambiental.

7. CONCLUSIONES

- Para Quimicampo Ltda era fundamental realizar el diagnóstico de producción más limpia pues se han encontrado grandes ineficiencias dentro de los procesos productivos que representan importantes costos los cuales hacen que sus productos sean menos competitivos pues la ineficiencia de los procesos se traduce en mayores precios de venta.
- La implementación de un sistema de colector de polvos permite que la empresa disminuya la cantidad de material particulado emitido a la atmósfera recuperando producto terminado a un costo inferior a los \$2.000.000 los cuales en el transcurso de dos meses de operación, se recuperan debido a la disminución de las pérdidas de producto terminado.
- El cambio de los quemadores de gas natural de la planta requiere una inversión de más de \$ 8000.000 la cual representara un ahorro mensual de \$580.000 al precio actual del gas natural. Así mismo le permitirá a la empresa reducir los tiempos de operación lo que puede traducirse en un incremento de la productividad o la implementación de nuevas líneas de operación al poder utilizar en ese tiempo los equipos y el personal en otros procesos.
- Se considera viable técnica, económica y ambientalmente la implementación de los sistemas de recolección para Quimicampo. El aprovechamiento de aguas lluvias para sustituir el consumo de agua suministrada por el acueducto genera un ahorro calculado que varía en un rango de 3,3 m³ a 14,4 m³ mensuales, es decir un promedio de ahorro

de recurso hídrico de 7,7 m³ mensual y un ahorro anual de 92,4 m³. Los meses de mayor ahorro se encuentran en los cuatro meses de mayor precipitación al año correspondientes a: Abril, Mayo, Septiembre y Octubre, este último donde mayor ahorro se prevé ya que la producción para este mes, requeriría únicamente de 1,1 m³, es decir que la necesidad de este insumo estaría cubierta cerca del 93%. Los ahorros estimados mensuales se encuentran en un rango de \$9.150 a \$42.931 y el ahorro anual aproximado se estima en \$ 268.699.

8. BIBLIOGRAFIA

AUSTIN, Manual de Procesos Químicos en la Industria. México : McGraw Hill.1997

COLLINGS, Gilberth. Fertilizantes Sus fuentes y usos. Barcelona: Salvat.1958. p. 76-90

FOUST, Alan S; Wenzel, Leonard A; CLUMP, Curtis W ; MAUS, Louis; ANDERSEN , Bryce; Principios de operaciones unitarias. Mexico : Compañía editorial continental, 1998. 752 p.

GARZON, Guillermo; Química general. Cali: McGraw-Hill, 1990. 472 p

HIMMELBLAU, David N; Balances de materia y energía. México: Prentice Hall, 1988. 660p

MARON, Samuel H; PRUTTON, Carl F; Fundamentos de fisicoquímica. México: Lumusa, 1999. 900p

MENDES, Libardo. Fertilizantes clasificación propiedades almacenamiento y manejo. México: Uteha,1968. 669p

McCabe, Warren; SMITH Julian; Unit operations of chemical engineering.México: McGraw-Hill, 1965. 947p

MONTGOMERY, Eugen; Manual de Recipientes a presión, México:Limusa,1978. p 200

PERRY, Jhon; Manual del Ingeniero Químico. 1 ed. Mexico: Mc Graw Hill, 1974. 2v.

PERRY, Robert H; GREEN, Don W. y MALONEY, James O.. Manual del Ingeniero Químico. 4 ed. Madrid: McGraw-Hill, 2001. 3 v.

KERN, Donald Quentin. Procesos de transferencia de calor. México: Compañía editorial continental, 1965. 980 p.

Rosenstein, Emilio. Diccionario de especialidades agroquímicas,1997

TREYBAL, Robert E. Operaciones con transferencia de masa. México: McGraw-Hill, 1999. 815p

-----, The fertilizer handbook, México: Limusa 1993

SKOOG, Douglas. Química Analítica, México: Mc Graw Hill.1995 752p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN .
Bogotá: ICONTEC, 2002. 34p (NTC 1486)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN .
Bogotá: ICONTEC, 2002. 10p (NTC 8633)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN .
Bogotá: ICONTEC, 2002. 10p (NTC 1695)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN .
Bogotá: ICONTEC, 2002. 10p (NTC 39)

www.epa.gov

www.ajover.com

www.chem.ox.ac.uk

www.scirus.com

www.pnep.cce.cornell.edu

www.analytyka.com.mx

www.mtas.es

www.cr.mx

www.uspto.gov

ANEXOS

FICHAS TECNICA:

SULFATO DE CINC

FORMULA QUIMICA: $ZnSO_4 \cdot 4H_2O$

PROPIEDADES

Sabor metálico
Soluble en agua
Astringente
Inodoro
Punto de fusión: 100°C
Poco toxico al contacto
Pierde sus moléculas de agua a 280°C

PRESENTACION: Polvo cristalino color gris

PESO MOLECULAR: 233.8 gr/grmol
% minimo Zn 26%

FICHA DE SEGURIDAD:

EMPAQUE: Sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno x 50 kilos.

PELIGROS: Muy toxico por ingestión, produce sensación nauseabunda.

RECOMENDACIONES: Evitar el contacto con los ojos y la ingesta
En caso de contacto lavar con abundante agua.

FICHA TÉCNICA:

SULFATO DE COBRE

FORMULA QUIMICA: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

PROPIEDADES

Sabor metálico
Soluble en agua
Astringente
Inodoro
Punto de fusión: 98°C
Poco toxico al contacto
Pierde sus moléculas de agua a 178°C

PRESENTACION: Polvo cristalino color azul

PESO MOLECULAR: 251gr/grmol
% mínimo Cu 25%

FICHA DE SEGURIDAD:

EMPAQUE: Sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno x 50 kilos.

PELIGROS: Muy toxico por ingestión, produce sensación nauseabunda.

RECOMENDACIONES: Evitar el contacto con los ojos y la ingesta
En caso de contacto lavar con abundante agua.

FICHA TÉCNICA:

SULFATO DE COBRE AGRICOLA

FORMULA QUIMICA: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{ZnSO}_4$

PROPIEDADES

Sabor metálico
Soluble en agua
Astringente
Inodoro
Punto de fusión: 120°C
Poco toxico al contacto
Pierde sus moléculas de agua a 88°C

PRESENTACION: Polvo cristalino color verde

CONCENTRACIONES

19% de Cu y 6% Zn

FICHA DE SEGURIDAD:

EMPAQUE: Sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno x 50 kilos.

PELIGROS: Muy toxico por ingestión, produce sensación nauseabunda.

RECOMENDACIONES: Evitar el contacto con los ojos y la ingesta
En caso de contacto lavar con abundante agua.

FICHA TÉCNICA:

SULFOXIDO DE CINC

FORMULA QUIMICA: ZnSO + ZnO

PROPIEDADES

Sabor metálico
Soluble en agua
Astringente
Inodoro
Punto de fusión: 100°C
Poco toxico al contacto
Pierde sus moléculas de agua a 280°C

PRESENTACION: Polvo color gris

CONCENTRACION 20% mínimo de Zn total



FICHA DE SEGURIDAD

EMPAQUE: Sacos de polipropileno con bolsa interior de polietileno x 50 kilos.

PELIGROS: Muy toxico por ingestión, produce sensación nauseabunda.

RECOMENDACIONES: Evitar el contacto con los ojos y la ingesta
En caso de contacto lavar con abundante agua.

Ficha de seguridad del ácido sulfúrico:

			
ACIDO SULFURICO Aceite de vitriolo H_2SO_4 Masa molecular: 98.1			
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.
• PIEL	Corrosivo. Dolor, enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua 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:



D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido higroscópico, incoloro, aceitoso e inodoro.</p> <p>PELIGROS FISICOS</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Por combustión, formación de humos tóxicos de óxidos de azufre. 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 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>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. 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>
	<p>PROPIEDADES FISICAS</p> <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>
	<p>DATOS AMBIENTALES</p>	<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>		

Ficha de seguridad del cobre

COBRE Cu
Masa atómica: 63.5

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Agentes especiales, arena seca, NO utilizar otros agentes.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• INHALACION	Tos, dolor de cabeza, jadeo, dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, náuseas, vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).		Separado de (véanse Peligros Químicos).	
D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo rojo, vira a verde por exposición a ambientes húmedos.		VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS		RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.
PELIGROS QUIMICOS Se forman compuestos inestables frente al choque con compuestos acetilénicos, óxido de etileno y azidas. Reacciona con oxidantes fuertes tales como cloratos, bromatos e iodatos, originando peligro de explosión.		EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La inhalación del humo puede originar fiebre de los humos metálicos (véanse Notas).	
LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 0.2 mg/m ³ (humos) (ACGIH 1993-1994). TLV (como TWA): como Cu; 1 mg/m ³ (polvos y nieblas) (ACGIH 1993-1994).		EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilización de la piel.	
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 2595°C Punto de fusión: 1083°C	Densidad relativa (agua = 1): 8.9 Solubilidad en agua: Ninguna.	
NOTAS	Los síntomas de la fiebre de los humos metálicos no se ponen de manifiesto hasta pasadas algunas horas.		

Ficha de seguridad del ácido nítrico

			
ACIDO NITRICO HNO ₃ Masa molecular: 63.0			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con compuestos orgánicos o combustibles.	En caso de incendio en el entorno: no utilizar espuma.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con muchos compuestos orgánicos.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, pérdida del conocimiento (síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	Corrosivo. Quemaduras cutáneas graves, dolor, decoloración amarilla.	Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, 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, shock.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante, reposo y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, neutralizar cuidadosamente el residuo con carbonato sódico y eliminarlo a continuación con agua abundante. 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, bases, compuestos orgánicos y alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.	 Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. símbolo O símbolo C R: 8-35 S: (1/2-)23-26-36-45 Nota: B Clasificación de Peligros NU: 8 CE:	

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido entre incoloro y amarillo, de olor acre.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla suavemente, produciendo óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, e.j., trementina, carbón, alcohol. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para los metales. Reacciona violentamente con compuestos orgánicos (e.j., acetona, ácido acético, anhídrido acético), originando peligro de incendio y explosión. Ataca a algunos plásticos.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosiva por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas).
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 2 ppm; 5.2 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 4 ppm; 10 mg/m ³ (ACGIH 1993-1994).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 121°C Punto de fusión: -41.6°C Densidad relativa (agua = 1): 1.4 Solubilidad en agua: Miscible	Presión de vapor, kPa a 20°C: 6.4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.2 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.07
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. 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. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-9B Código NFPA: H 3; F 0; R 0;		