



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**FACTIBILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA DEL APROVECHAMIENTO DE
EFLUENTES DE LAVADO DE GASES DE UNA EMPRESA DE PRUEBAS
HIDROSTÁTICAS**

*Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Químico*

Ing. Aníbal Linares
Tutor Industrial

Autor:
Carhen Chacón P.

Prof. Yadira Martínez
Tutor Académico

Valencia, 3 de abril de 2008

SUMARIO

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnico - económica para el aprovechamiento de los efluentes generados en el equipo de lavado de gases de una empresa de pruebas hidrostáticas, con la finalidad de proponer la disposición o reutilización de los mismos y disminuir las pérdidas económicas.

De los gases que maneja la empresa se seleccionó mediante una matriz, evaluar los efluentes producidos del lavado de cloro y amoníaco gaseoso, los cuales generan dos efluentes lejía y agua amoniacal. A dichos efluentes se les evaluó los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), concentración de cloro residual y de nitrógeno amoniacal. Con base a la caracterización de los efluentes se establecieron propuestas para el aprovechamiento, y a través de una matriz de selección se escogió la mejor alternativa para cada efluente. Finalmente se determinó la relación costo beneficio de las alternativas seleccionadas.

Entre las conclusiones mas importantes se tiene que la implementación venta de lejía generaría una ganancia de 9.154,50 BsF/año, mientras que la venta de agua amoniacal presentaría una ganancia de 6.824,50 BsF/año. Dichos valores afirman la factibilidad de aplicación de estas alternativas en la empresa.

Se recomienda realizar un estudio a fin de ampliar el mercado de venta de dichos efluentes, para poder incrementar su precio y generar mayores beneficios económicos a la empresa y evaluar la factibilidad de implementación de un sistema de dilución de la lejía obtenida a fin de poder vender la misma directamente.

Palabras claves: Proceso de lavado, reutilización de efluentes, gases, solventes.

SUMMARY

The present investigation has as main objective evaluate the feasibility technical - economic for the utilization of the effluent generated ones in the equipment of gas wash of a company of hydrostatics tests, with the purpose of do an offer about the regulation or reutilization of this effluents and decrease an economic losses.

Of the gases the company handle it was selected by means of a counterfoil, to evaluate the effluent produced ones of the wash of chlorine and gaseous ammonia, which generate two effluent bleach and ammoniac water. To these effluents had evaluated by the following parameters: biochemical demand of oxygen (DBO) and chemical demand of oxygen (DQO), concentration of residual chlorine and of ammoniac nitrogen. With base to the characterization of the effluent were established for the utilization, and across a counterfoil of selection for each effluent, the best alternative was chosen for every effluent one. Finally the relation decided cost I am of benefit of the selected alternatives.

Among most important conclusions, there is had that the implementation sale of bleach would generate a profit of 9.154,50 BsF/year, whereas the sale of ammoniac water there would present a profit of 6.824,50 BsF/year. The above mentioned values affirm the feasibility of application of these alternatives in the company.

A study is recommended to realize in order to extend the market of sale of effluent sayings, to be able to increase its price and to generate major charitable economic to the company and to evaluate the feasibility of implementation of a system of dilution of the bleach obtained in order to be able to sell the same one directly.

Key words: Process of wash, reutilization of effluent, gases, solvents

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1.1.Descripción del problema	3
1.2.Formulación del problema	5
1.2.1. Situación actual	5
1.2.2. Situación deseada	6
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4 Justificación	7
1.5. Limitaciones	8
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
2.1. Antecedentes.	9
2.2. Fundamentos teóricos.	13
2.2.1 Agua residual	13
2.2.2 Vertido líquido.	14
2.2.3 Características de las aguas residuales	14
2.2.4. Variables requeridas para realizar la caracterización de los efluentes	16
2.2.5. Niveles del tratamiento de aguas	17
2.2.6. Normativas y reglamentos	18
2.2.7. Aspectos generales del proceso generador de efluentes	19
2.2.7.1 Pruebas hidrostáticas	19
2.2.7.2. Absorción de gases	19
2.2.7.3. Gases absorbidos	20
2.2.7.3.1. Cloro	21
2.2.7.3.2. Amoníaco	22

2.2.8. Tratamiento de los efluentes	24
2.2.8.1. Tratamientos de los efluentes con nitrógeno	24
2.2.8.1.1. Nitrificación y desnitrificación	24
2.2.8.1.2. Intercambio iónico con zeolitas	26
2.2.8.1.3. Otros métodos	28
2.2.8.2. Tratamiento de efluentes con cloro.	28
2.2.9. Disposiciones reglamentarias para los efluentes generados.	30
2.2.10. Sistemas de almacenamiento de efluentes	30
2.2.11. Método de decisión para la evaluación de alternativas	31

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipos de los gases a evaluar.	34
3.2. Procedimientos de lavado de los gases a estudiar.	36
3.3. Requerimientos de solvente a utilizar para llevar a cabo el lavado de los gases seleccionados.	37
3.4. Determinación de la cantidad de gases contenidos en los cilindros.	38
3.5. Caracterización de los efluentes generadas en el lavador de gases.	39
3.6. Generación de alternativas para el aprovechamiento y/o disposición de los efluentes.	43
3.7. Selección de las mejores alternativas para el aprovechamiento de los efluentes.	43
3.7.1. Efluente procedente del lavado de los cilindros de cloro.	43
3.7.2. Efluente procedente del lavado de los cilindros de amoníaco.	45
3.8. Determinación de la relación costo-beneficio de las alternativas seleccionadas.	45

CAPÍTULO IV

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Tipos de los gases a evaluar.	48
4.2. Procedimientos de lavado de los gases a estudiar	52

4.3	Requerimientos de solvente a utilizar para llevar a cabo el lavado de los gases seleccionados.	54
4.4	Determinación de la cantidad de gases contenidos en los cilindros a evaluar	56
4.5	Caracterización de los efluentes generados en el lavador de gases	57
4.6	Generación de alternativas para el aprovechamiento de los efluentes.	65
4.6.1.	Para el procedimiento del lavado de los cilindros de cloro	65
4.6.1.1.	Reutilización del efluente como agua de riego	65
4.6.1.2.	Venta de lejía para uso comercial	67
4.6.2.	Para el procedimiento del lavado del lavado de amoníaco.	69
4.6.2.1.	Reutilización como agua de riego.	69
4.6.2.1.1.	Intercambio iónico con zeolitas	69
4.6.2.1.2.	Tratamiento de nitrificación y desnitrificación	71
4.6.2.2.	Venta de agua amoniacal	72
4.7	Selección de las mejores alternativas para el aprovechamiento de los efluentes generados en el equipo de lavado de gases.	74
4.7.1.	Efluentes procedentes del lavado de los cilindros de cloro.	74
4.7.2.	Efluentes procedentes del lavado de los cilindros de amoníaco.	77
4.8	Determinación de la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada.	80
4.8.1	Efluentes procedentes del lavado de los cilindros de cloro	80
4.8.2	Efluentes procedentes del lavado de los cilindros de amoníaco.	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
	Conclusiones	85
	Recomendaciones	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		
	Referencias bibliográficas	88

APÉNDICES

Apéndice A: Modelos y cálculos matemáticos.	
A.1. Determinación de la cantidad total de solvente utilizado para realizar el lavado de ambos gases según los datos reportados desde enero del año 2006 hasta diciembre del mismo año.	91
A.2. Determinar la cantidad de gas que se desea absorber en cada lavado	93
A.3. Determinación de la eficiencia del lavador de gases.	96
A.4. Determinación de la desviación estándar de los valores obtenidos de eficiencia.	98
A.5. Determinación del volumen total de solución amoniacal que puede contener el tanque.	99
A.6. Promedio de la cantidad de lavados realizados en el año 2006.	100
A.7. Determinación de los costos de solvente empleado para realizar cada lavado.	100
A.8. Ingresos brutos cada efluente para el año 2007.	101
A.9. Ganancias generadas en la empresa a partir de la venta de lejía en el proceso de lavado de gases	102
A.10. Costos de acondicionamiento del tanque de almacenamiento	102
A.11. Costos asociados al sistema de tuberías implementado	104
A.12. Ganancia para la implementación de la venta de agua amoniacal	104
Apéndice B: Datos experimentales.	106
Apéndice C: Tablas y figuras bibliográficas.	117

ANEXOS

Anexo A. Normas venezolanas COVENIN	128
Anexos B. Hojas de seguridad de los gases	139
Anexo C. Lista de símbolos	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 2.1 Soluciones alcalinas recomendadas para la absorción de cloro	22
Tabla 2.2 Solubilidad del amoniaco gaseoso	24
Tabla 3.1 Cantidad de gas contenida en cada cilindro a vaciar.	38
Tabla 3.2 Datos para la toma de las muestras de las efluentes del equipo de lavado de gases.	41
Tabla 4.1 Matriz de selección para la determinación de los gases que generan mayor cantidad de efluentes en el equipo de lavado de gases	50
Tabla 4.2 Costos por la adquisición de solvente para llevar a cabo el lavado de cada uno de los gases	51
Tabla 4.3 Consumo de agua e hidróxido de sodio para realizar el lavado de los cilindros de cloro en el año 2006	55
Tabla 4.4 Consumo de agua para realizar el lavado de los cilindros de amoniaco en el año 2006	56
Tabla 4.5. Cantidad de gas que se desea absorber para llevar a cabo el lavado de ellos.	57
Tabla 4.6. Resultados de la caracterización del efluente del lavado del cloro gaseoso en solución de NaOH 20%	58
Tabla 4.7. Resultados de la caracterización del efluente del lavado del amoniaco gaseoso en agua	61
Tabla 4.8. Eficiencia del lavador de gases	62
Tabla 4.9. Cotización para la venta de lejía	68
Tabla 4.10 Características del tanque de almacenamiento del agua amoniacal	73
Tabla 4.11 Matriz de selección para la determinación del uso o disposición final de los efluentes generados en el lavador de gases a partir del cloro gaseoso.	76
Tabla 4.12 Matriz de selección para la determinación del uso o disposición final de los efluentes generados en el lavador de gases a partir del amoniaco gaseoso	79

Tabla 4. 13 Costos de pintura requerido para el tanque de almacenamiento	82
Tabla A.1 Cantidad de gas que se desea absorber para llevar a cabo el lavado de los mismos	95
Tabla A.2 Conversión de parámetros obtenidos en la caracterización de los efluentes.	96
Tabla A.3 Eficiencia del lavado de gases.	98
Tabla B.1 Cantidad de cloro contenida en cada cilindro a vaciar.	106
Tabla B.2. Cantidad de amoníaco contenida en cada cilindro a vaciar.	108
Tabla B.3. Contenido de cloro en los cilindros para la realización del primer lavado	110
Tabla B.4. Contenido de cloro en los cilindros para la realización del segundo lavado	111
Tabla B.5. Contenido de cloro en los cilindros para la realización del tercer lavado	112
Tabla B.6. Contenido de amoniaco en los cilindros para la realización del primer lavado.	113
Tabla B.7. Contenido de amoniaco en los cilindros para la realización del segundo lavado	114
Tabla B.8. Contenido de amoniaco en los cilindros para la realización del tercer lavado	115
Tabla B.9. Muestreo de las efluentes del equipo de lavado de gases trabajando con amoniaco y agua	116
Tabla B.10. Muestreo de las efluentes del equipo de lavado de gases trabajando con cloro y solución de hidróxido de sodio al 20 %.	116
Tabla C.1. Relación entre DBO y DQO para el tratamiento de aguas residuales	117
Tabla C.2. Parámetros y regulaciones del lago de Valencia.	117
Tabla C.3 Cantidad de cilindros de cloro recibidos por la empresa y cantidad de lavados realizados en el año 2006	119
Tabla C.4 Cantidad de cilindros de amoniaco recibidos por la empresa y cantidad de lavados realizados en el año 2006.	121

Tabla C.5. Información para filtración con carbón activado	123
Tabla C.6. Dimensiones y pesos típicos de los cilindros de amoniaco.	124

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 Diagrama de bloque del proceso de la planta de pruebas hidrostática	4
Figura 2.1. Proceso de nitrificación y desnitrificación.	26
Figura 4.1. Procedimiento de lavado de los gases a estudiar	53
Figura 4.2. Absorción de cloro gaseoso en la solución de hidroxilo de sodio al 20%.	59
Figura 4.3. Relación máxima de absorción de cloro gaseoso en la solución de hidróxido de sodio al 20% a partir de los datos obtenidos	60
Figura 4.4. Absorción de amoníaco en agua.	63
Figura 4.5. Relación máxima de absorción de amoníaco gaseoso en agua a partir de los datos obtenidos y los datos teóricos	64
Figura 4.6. Diagrama de bloque de la opción tratamiento con filtros de carbón activado de la lejía obtenida al lavar el cloro gaseoso en solución de hidróxido de sodio al 20%	67
Figura 4.7. Diagrama de bloque de la opción tratamiento con filtros de zeolitas al agua amoniacal obtenida al lavar el amoniaco en agua	70
Figura 4.8. Diagrama de bloque de la opción tratamiento biológico de nitrificación - desnitrificación al agua amoniacal obtenida al lavar el amoniaco en agua.	72
Figura 4.9 Diagrama del sistema para la opción de la venta del agua amoniacal	74
Figura 4.10. Diagrama del sistema de tubería para el almacenamiento del agua amoniacal.	84

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la factibilidad técnico - económica del aprovechamiento de los efluentes generados en el equipo de lavado de gases de una empresa de pruebas hidrostáticas, con el fin de disminuir los costos generados por dicho equipo y lograr un aprovechamiento de los efluentes que son actualmente desechados.

La metodología empleada para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se inicia con la identificación de los gases a estudiar, así como también los procedimientos de lavado de los mismos. Mediante una matriz de selección se determinó que los efluentes procedentes del lavado de cloro y amoníaco son los de mayor relevancia para el estudio, por lo cual se llevó a cabo la caracterización de los mismos, a fin de proponer diversas alternativas para el aprovechamiento de cada efluente. Seguidamente haciendo uso de una matriz de selección se logra la escogencia de la mejor alternativa y finalmente se determina la relación costo-beneficio considerando el diseño de equipos y la inversión inicial que requiere la alternativa seleccionada.

El trabajo de investigación está dividido en cuatro capítulos. En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, describiendo la situación actual y la deseada, el objetivo general y específico, así como la justificación y limitaciones presentes en la investigación. En el capítulo II, se exponen estudios precedentes y las bases teóricas de esta investigación. En el capítulo III, se muestra la metodología utilizada para realizar las actividades necesarias para el cumplimiento de los objetivos. En el capítulo IV, se encuentran las discusiones de los datos y resultados obtenidos durante la fase experimental. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la investigación, al igual que se muestran los apéndices que sirven de base para el desarrollo de los objetivos propuestos.

Este trabajo se lleva a cabo por la necesidad que presenta la empresa de aprovechar los efluentes producidos, con el fin, de disminuir los costos que se generan

en el equipo de lavado de gases, así como también, generar un beneficio ambiental. Igualmente, presenta gran importancia ya que la investigación, logra disminuir el desperdicio de materia que puede ser reutilizada. Del mismo modo brinda a nivel académico el desarrollo y la aplicación del conocimiento ingenieril en un área específica de interés como la conservación ambiental y el aprovechamiento de recursos.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se muestra la situación problemática, así como los objetivos de la investigación. De igual forma, se presentan las razones que justifican la investigación y las limitaciones para su realización.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa que realiza pruebas hidrostáticas está ubicada en Guacara – Estado Carabobo. Tiene como área de trabajo un espacio físico techado de 240 m² y además posee 2700 m² de almacenamiento de cilindros. Su objetivo principal es ejecutar el mantenimiento general de cilindros de alta presión (800 psig hasta 7.000 psig).

El proceso que se lleva a cabo en la planta de pruebas hidrostáticas (figura 1.1) consiste en la recepción de los cilindros donde se procede a llenar la hoja de especificación con todos los datos de identificación del propietario. Seguidamente se lleva a cabo la revisión de los cilindros para clasificarlos según los gases contenidos en ellos.

Para llevar a cabo las pruebas hidrostáticas a los cilindros es necesario vaciar los gases contenidos en los mismos, dicho vaciado se lleva a cabo en un lavador de gases. El equipo consiste en un recipiente que trabaja por cargas, éste debe llenarse con el solvente a utilizar. El cilindro se introduce en un manifold, en donde se vacía. El gas contenido en los cilindros, pasa a través de un sistema de tuberías que logran el burbujeo del gas sobre el solvente seleccionado. Dependiendo de la solubilidad relativa de los gases contenidos se debe escoger un solvente efectivo que logre una alta absorción.

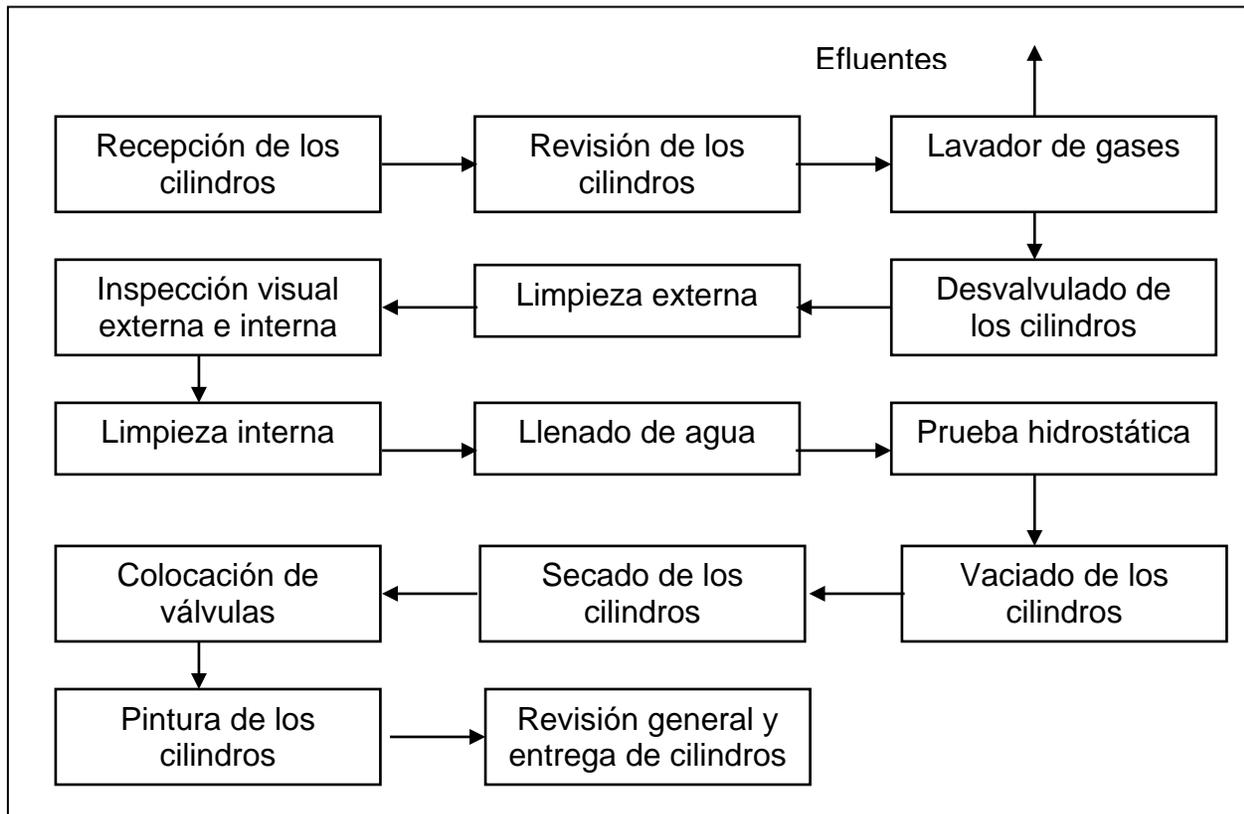


Figura 1.1. Diagrama de bloque del proceso de la planta de pruebas hidrostáticas.

Posteriormente se realiza el desvalvulado donde se coloca el cilindro en la máquina y se procede a retirar la válvula, ésta se identifica con el serial del mismo y el propietario, y se coloca nuevamente.

Seguidamente se efectúa la limpieza externa del cilindro con un cepillo de alambre eléctrico el cual se pasa a todo lo largo de toda su superficie. El proceso de inspección interna y externa lo lleva cabo los operarios. El proceso de limpieza mecánica interna se realiza con un taladro manual.

Luego se realiza el llenado de agua del cilindro, el cual debe hacerse hasta la parte superior asegurándose que no queden burbujas en el interior. Posteriormente se introduce en la camisa y se debe esperar a que las temperaturas del cilindro sean lo más cercana posible a la camisa de prueba (2.5 grados de diferencia es lo permitido).

La prueba hidrostática consiste en enviar agua con una presión de hasta 5/3 veces la presión de trabajo del cilindro, luego se lleva a cabo el proceso de vaciado del cilindro, el cual se realiza de forma manual, mientras que el secado se realiza por medio de unos sopladores de aire caliente. Seguidamente se vuelven a colocar las válvulas a cada cilindro y por último se pintan de acuerdo con el color seleccionado para el gas con que será llenado.

Para el correcto funcionamiento del equipo de lavado de gases se requieren grandes cantidades de solvente, los cuales en la actualidad están siendo desechados luego que se lleva a cabo la absorción, ocasionando grandes pérdidas económicas. Adicionalmente se tiene que dichos efluentes no se han caracterizado, por lo que se desconoce el grado de cumplimiento de las leyes que regulan y controlan la descarga de los mismos.

A fin de buscar soluciones económicas y ecológicas que contribuyan a la preservación del ambiente se plantea evaluar la factibilidad de aprovechamiento de los efluentes del equipo de lavado de gases.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el equipo de lavado de gases presenta grandes pérdidas económicas, debido a que los efluentes del mismo son desechados sin conocer sus características. Teniendo en cuenta esta situación se plantea como estrategia caracterizar los efluentes del equipo de lavado de gases, con el fin de evaluar la factibilidad de aprovecharlas de una manera económica y ecológica.

1.2.1 Situación actual

Actualmente los efluentes del lavador de gases son desechados sin verificar las características de los mismos, generando posibles pérdidas económicas debido al desperdicio de materia que podría ser reutilizada. De continuar esa situación, el

desempeño de la empresa estará cada vez más lejos de una labor ambientalista y conservacionista.

1.2.2 Situación deseada

Disponer de una evaluación de la factibilidad del aprovechamiento de los efluentes del lavador de gases de una planta de pruebas hidrostáticas, a fin de generar alternativas para la reutilización o disposición final de ellos de una manera más eficaz, disminuyendo los costos actuales y a su vez lograr mantener el control de descarga de estos vertidos líquidos dentro de los parámetros exigidos y permitidos por la normativa legal vigente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnico - económica del aprovechamiento de los efluentes que se generan en el equipo de lavado de gases, con la finalidad de proponer la disposición o reutilización de los mismos y disminuir las pérdidas económicas.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1 Establecer los tipos de gases que van al lavador de gases, con la finalidad conocer cuales son los que ocasionan mayor cantidad de efluentes.
- 2 Establecer los procedimientos de lavado de los gases a estudiar, con el fin de conocer las medidas de seguridad que se deben utilizar al trabajar con cada uno de ellos.
- 3 Precisar los requerimientos de solvente a utilizar para llevar a cabo el lavado de los gases seleccionados, a fin de establecer las cantidades de solvente a utilizar.

- 4 Determinar la cantidad de gases contenidos en los cilindros a evaluar, con el fin de conocer cual es la cantidad de gas que se desea absorber en el solvente seleccionado.
- 5 Caracterizar los efluentes generados en el lavador de gases, con el fin de conocer la eficiencia de absorción que se logra en el lavador de gases.
- 6 Proponer alternativas para el aprovechamiento de los efluentes que permitan la reutilización y/o disposición final de las mismas para disminuir las pérdidas económicas.
- 7 Seleccionar las mejores alternativas para el aprovechamiento de los efluentes generados en el equipo de lavado de gases con el fin de estudiar su aplicabilidad
- 8 Determinar la relación costo-beneficio de la alternativa seleccionada con la finalidad de evaluar la factibilidad de implementación en el proceso.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo tiene gran relevancia a nivel ambiental, ya que al realizar un estudio de factibilidad de aprovechamiento de los efluentes de la planta de pruebas hidrostáticas, se puede disminuir el desperdicio de materia que puede ser reutilizada. Asimismo, se desea lograr las exigencias ambientales para la disposición final de las mismas que permitan cumplir con la normativa ambiental.

A nivel industrial se aportará una solución a las pérdidas económicas que se están observando actualmente en el lavador de gases, a través del aprovechamiento y disposición final de los efluentes provenientes de dicho proceso.

De igual forma se puede resaltar que presenta un aporte metodológico ya que permite el estudio de factibilidad de aprovechamiento de los efluentes, ofreciendo una ejemplificación para el desarrollo de nuevos procesos de recuperación y aprovechamiento de desechos.

A modo personal, el correcto desarrollo de los objetivos planteados, representa un beneficio importante, ya que permite la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera, del mismo modo permite obtener conocimientos en lo que respecta a conservación ambiental y tratamiento de efluentes.

A nivel teórico la realización de este trabajo, además de otorgarle relevancia a la Universidad de Carabobo, por tratarse de un trabajo dirigido al aprovechamiento de efluentes, puede promover el interés en el ámbito de tratamiento de desechos líquidos, de manera tal que se deriven otros proyectos y trabajos que pueden ser desarrollados por dicha casa de estudios.

1.5 LIMITACIONES

Para la caracterización de los efluentes es necesario la realización de pruebas las cuales dependen del aporte económico de la empresa para al ejecución de este trabajo.

También se observan limitaciones con respecto a acceso de información sobre las instalaciones por razones de seguridad de la empresa.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

A continuación se muestran una serie de proyectos y trabajo de grado con fines o metodologías similares a los perseguidos con esta investigación, igualmente se exponen las bases teóricas y principios básicos que fundamentan el desarrollo de la investigación.

2.1. ANTECEDENTES.

➤ **Bravo, V., Camacho, F. y García, A.I. (1999, junio) Absorción de gases en disoluciones reguladoras de pH. *Ingeniería Química* (189-194)**

Se desarrolló en esta investigación un procedimiento sistemático de cálculo de las concentraciones de diferentes especies en disolución, lo que permitió establecer la capacidad reguladora y, en conjunción con los datos de equilibrio, predecir el factor de aceleración química.

La metodología a seguir consistió en obtener un soluto gaseoso de carácter ácido o básico que se absorbe en una disolución de un regulador produciéndose diversas reacciones de disociación. Específicamente se utilizó el modelo de absorción de dióxido de azufre en disoluciones de citrato trisódico 1M, regulador tribásico, citrato monosódico 1 y 2 M, reguladores monobásicos a temperaturas de 20, 30, 40 y 50°C.

Entre las conclusiones mas importantes se puede señalar que se desarrolla un modelo de calculo generalizado para la absorción de gases, ácidos o básicos, en el seno de disoluciones reguladoras del pH, que pueden simplificarse y adaptarse a diversos casos.

- **Feal, A. (2004, diciembre) Absorbedores de gases, criterios de diseño. Ingeniería química. (176-182)**

La investigación presentó como objetivo principal señalar los criterios para el diseño de la altura de los absorbedores de gases contaminantes, donde se realiza la depuración de gases de escape mediante la absorción física en un líquido de lavado. Una vez establecida la altura, la determinación del diámetro depende de la velocidad que lleven los gases, evitando efectos de retención o inundación de líquido en el cuerpo del absorbedor. De acuerdo con los criterios reseñados, se establecieron correlaciones experimentales para la evaluación de pérdidas de carga, dependientes de las características del relleno que pueda poseer el absorbedor.

Entre las principales conclusiones se puede señalar que el diseño de los absorbedores está ampliamente relacionado con la determinación de la superficie o área de contacto interfacial. Son principales decisiones en el diseño: el tipo de absorbedor; la relación de caudales líquido-gas, L/G, la clase de absorbente (generalmente agua); la presión de operación; el tipo de relleno; la altura y el diámetro de la torre.

- **Recca, R. (2001) Mejoramiento de obtención de nitrato de amonio de la empresa CAVIM. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.**

El enfoque de este trabajo, fue el de determinar la influencia de las variables operacionales de la planta de producción de nitrato de amonio, sobre la calidad del producto y disminuir las emisiones de vapores al ambiente.

La metodología desarrollada en el trabajo consistió en la búsqueda de información relativa al producto, luego se procedió al análisis de los parámetros operacionales. Seguidamente se elaboró el procedimiento para la obtención del nitrato de amonio, la identificación de los gases con sus respectivas composiciones y se creó

un software para la recuperación de las aguas ácidas. Finalmente se evaluó la torre de absorción mediante la comparación del diseño de la torre ajustada al proceso de estudio con los datos suministrados por la empresa.

Analizando los resultados se concluyó que la variable presión de inyección del amoníaco es el factor de mayor influencia en el proceso.

➤ **Silva, G. (1996) *Evaluación de alternativas para la disposición y tratamiento de efluentes acuosos generados en una fabrica de pinturas*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.**

La investigación presentó como finalidad el estudio de diferentes alternativas para el tratamiento y disposición de los efluentes acuosos generados en la elaboración de las resinas alquídicas, melaminas y poliésteres.

Para la realización de éste trabajo se caracterizó el desecho en el laboratorio de calidad Ambiental de la Universidad de Carabobo; los análisis están limitados a la determinación de: la demanda química de oxígeno, nitrógeno total, sólidos.

En base a los resultados obtenidos en la caracterización del agua se seleccionó como alternativa para el tratamiento de los efluentes la precipitación química y la laguna de aireación.

➤ **Sardiñas, O. P. y Pérez, A. (2004, mayo-agosto). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana Hig Epidemiol.* (125-134)**

En este trabajo se presentan los resultados de la determinación de nitrógeno amoniacal y total por el método del fenato en aguas, con el propósito de evaluar los indicadores de calidad aplicados para la validación de métodos de ensayos en el laboratorio de Química Inorgánica.

Se evaluaron como indicadores de calidad: la precisión, el sesgo y la incertidumbre, los cuales fueron obtenidos en el rango lineal del gráfico de calibración. Se reportó el límite de detección del método así como la concentración de nitrógeno amoniacal y total de muestras de aguas de consumo y residuales procesadas por el método evaluado.

Se concluyó que en aguas residuales, la mediana de las concentraciones, tanto para el nitrógeno amoniacal como para el total, se encuentra por encima de la concentración máxima admisible para el vertimiento de aguas residuales. Del mismo modo se señala que los valores obtenidos para los índices de calidad son satisfactorios para los métodos de ensayo de nitrógeno amoniacal y total en aguas.

➤ **Arocha, J y Castillejo, Z. (1993) *Rediseño de una planta procesadora de lejía clorada para uso industrial y domestico*. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.**

La realización de este trabajo presentó por objeto la elaboración de un programa de control, para el mejoramiento del proceso productivo de lejía domestica.

Inicialmente la planta operaba de forma intermitente, con un sistema de mezclado por recirculación de hipoclorito de sodio concentrado y agua. Las pruebas realizadas mostraron que éste sistema no es el mas adecuado, arrojando perdidas de hasta 80% del cloro activo requerido en el producto.

Con el propósito de eliminar las causas que ocasionaron fallas en el proceso, se propuso sustituir el proceso intermitente, por el sistema de mezclado por recirculación, a proceso continuo, utilizando un eductor, con el cual se logró realizar la mezcla de hipoclorito de sodio y agua directamente en la línea de alimentación, lo cual permite eliminar los tanques de almacenamiento de gran volumen y usar equipos mas pequeños.

- **Peña, A y Rueda, M. (2005, enero). Eliminación del nitrógeno amoniacal en aguas sanitarias residuales. *Ingeniería química*. (179-183)**

Se define en el presente trabajo un tratamiento sencillo para impedir que la concentración de NH_4^+ en los vertidos sobrepase el valor máximo admitido. Para ello se realizó un estudio experimental en laboratorio de las reacciones de hidrólisis enzimática de la urea contenida en muestras de orina, diluida a las concentraciones habituales de los conductos de las aguas residuales en una industria tipo.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICO.

2.2.1. AGUA RESIDUAL

Es el agua proveniente de cualquier proceso industrial, actividad doméstica, agropecuaria, comercial y que perdió sus características originales. Es el conjunto de las aguas que son contaminadas durante su empleo en actividades realizadas por las personas. Las labores domésticas contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos, debido sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (purines principalmente). Otra fuente de contaminación de las aguas son las industrias. Muchas de ellas, como la papelera, química, textil y siderúrgica, necesitan agua para desarrollar su actividad. En definitiva, la consecuencia es el vertido de aguas residuales cargadas de materia orgánica, metales, aceites industriales e incluso radiactividad. Para evitar los problemas que pueden causar los contaminantes de las aguas residuales existen sistemas de depuración que sirven para devolverles las características físicas y químicas originales. **(Metcalf, 1996).**

2.2.2. VERTIDO LÍQUIDO

Descarga de aguas residuales que se realice directa o indirectamente a los cauces, mediante canales, desagües o drenajes de agua; descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino-costero y descargas submarinas. **(Decreto Nº 3219)**.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales recogidas en comunidades o municipios deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. Se hace por tanto necesario conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces.

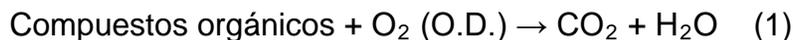
Los Parámetros Principales que es necesario conocer de las aguas residuales, a efectos de la contaminación del recurso son los siguientes: pH, temperatura, color, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables, aceites y grasas, concentración de tóxicos metálicos, nitrógeno, fósforo, amoníaco, cloruros.

(<http://cidta.usal.es/cidta/Análisis/residuales/residuales.htm>)

Las características de las aguas residuales varían ampliamente de industria a industria. Obviamente, las características de dichas aguas influirán sobre las tecnologías a emplear en la depuración de las mismas a fin de cumplir los requerimientos de vertidos. Las características que deben determinarse según Perry, 2001 son:

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO_5) es una medida de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos. Esta demanda es debida a la degradación de las sustancias orgánicas de acuerdo a la

siguiente ecuación simplificada, aunque también ciertas sustancias inorgánicas tales Fe^{2+} , Sx^{2-} y SO_3^{2-} pueden causar esta demanda de oxígeno.



En este análisis de laboratorio se mide el descenso de la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) en 5 días y se relaciona con la resistencia que presenta la muestra a su biodegradabilidad. Si el análisis se prolonga durante 20 días, se obtiene la DBO_{20} (DBO última), cuyo valor esta más próximo al de la demanda biológica de oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno: La demanda química de oxígeno (DQO) se determina empleando un oxidante químico fuerte en presencia de un catalizador y calor; este agente químico oxida la muestra. El valor de la DQO es superior a los resultados obtenidos de la DBO a los 5 días o a los 20 días. Algunos compuestos orgánicos son resistentes a la oxidación química, dando un valor bajo de DQO.

Para obtener el tipo de tratamiento sugerido, se compara la relación de DBO y DQO, como se muestra en la tabla C.1.

pH y alcalinidad: las aguas residuales industriales deben tener valores de pH entre 6 y 9 para que provoquen un mínimo impacto ambiental. Las aguas residuales con valores de pH inferiores a 6 tenderán a ser corrosivas debido al exceso de iones de hidrógeno. Por otra parte, las aguas que presentan un pH superior a 9 tenderán a ser incrustantes, causando problemas de depósito debido a la presencia de los iones metálicos como carbonatos o como hidróxidos. La alcalinidad es importante para mantener los valores de pH en niveles adecuados.

Temperaturas: las aguas residuales industriales tienden a presentar una temperatura superior a las de los cursos de aguas. La temperatura no es un valor crítico cuando se

encuentra por debajo de los 37°C siempre que se vaya a proceder a un tratamiento biológico de las mismas.

Sólidos: los sólidos totales son el residuo obtenido al someter a evaporación una muestra de aguas residual a 103-105 °C. Los sólidos totales incluyen los sólidos disueltos y en suspensión, y estos a su vez incluyen los sólidos volátiles y cenizas o sólidos fijos.

2.2.4 VARIABLES REQUERIDAS PARA REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES.

Para llevar cabo la caracterización de los efluentes y la posterior obtención de la mejor alternativa para aprovechar o tratar las mismas Perry 2001, señala que es necesario seguir los siguientes pasos.

Medición del caudal: las mediciones del caudal son necesarias para establecer un programa representativo de muestreo, fijar los volúmenes de aguas residuales a ser tratados, y determinar el tipo de instalaciones necesarias para la manipular los caudales.

Análisis de muestras: los análisis a realizar dependen del tipo de actividad industrial y de la finalidad del examen en cuestión.

Análisis y modificación del proceso: el principal objetivo en esta fase es la disminución del volumen del agua residual específicamente si ello es factible a un costo relativamente bajo comparado con el del tratamiento del residuo. Las principales maneras de rebajar los volúmenes, es a través de una modificación en el proceso para disminuir la demanda de solventes.

2.2.5. NIVELES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

Las aguas residuales se pueden someter a diferentes niveles de tratamiento, dependiendo del grado de purificación que se quiera. Es tradicional hablar de tratamiento primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado), aunque muchas veces la separación entre ellos no es totalmente clara. (**Metcalf, 1996**).

➤ **PRETRATAMIENTO**

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes cuya presencia pueden provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplo de los pretratamiento se pueden citar: homogenización, desbaste y dilaceración para eliminación de sólidos gruesos y trapos, separadores de aceites y grasas, desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que puede causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo en los mismos, entre otros.

➤ **TRATAMIENTOS PRIMARIOS**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como el tamizado y la sedimentación, flotación por aire disuelto, decantación, coagulación- floculación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción).

➤ **TRATAMIENTOS SECUNDARIOS**

Elimina las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. El proceso secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas.

Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones

aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene menos impurezas y sin materia orgánica biodegradable.

➤ **TRATAMIENTOS TERCIARIOS**

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales: para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etc.

2.2.6. NORMATIVAS Y REGLAMENTOS

En Venezuela se tienen diversas leyes que controlan los límites máximos permitidos para las descargas de efluentes al medio ambiente, entre las principales, se pueden nombrar:

- Para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y de los vertidos o efluentes líquidos, decreto 883 – 1995.
- Gaceta oficial de la república de Venezuela nº 5305, decreto 3209 (1999). normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia.
- Normas para la clasificación y el control de la calidad del agua del río Yaracuy, 1997.
- Evaluación ambiental de las actividades susceptibles de degradar el ambiente, decreto 1257, 1995

2.2.7. ASPECTOS GENERALES DEL PROCESO GENERADOR DE EFLUENTES.

A fin de conocer las variables asociadas al proceso generador de los efluentes a estudiar, se estudiaron los siguientes procesos.

2.2.7.1. PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

Las pruebas hidrostáticas también conocidas como Pruebas Hidráulicas, son un control que se realiza sobre los envases a intervalos definidos, para determinar las condiciones de resistencia, a través de la expansión elástica. La finalidad de las pruebas es verificar la seguridad del envase para su uso continuo.

Las pruebas hidrostáticas, se deben realizar a los tanques sujetos a presión, como lo son compresores, calderas, autoclaves, marmitas, cilindros, entre otros. Esta prueba también se realiza para revisar fugas en las tuberías nuevas y probar su hermeticidad.

La prueba consiste en enviar agua a presión hasta $5/3$ veces la presión de trabajo del cilindro. Se debe medir el nivel de columna de calibración en el momento en que se introduce el cilindro en la camisa, luego de que se descarga la presión se debe medir el nivel en dicha columna, en el caso que la desviación sea mayor que el 10%, dicho cilindro se considera descalificado. Si es menor o igual a 10%, el cilindro ha sido calificado para seguir operando.

(BOC GASES, Manual de gases especiales y equipos)

2.2.7.2. ABSORCIÓN DE GASES

La absorción es una operación unitaria de transferencia de materia consiste en poner un gas en contacto con un líquido para que éste disuelva determinados componentes del gas, el cual queda libre de los mismos. La absorción puede ser física o química,

según que el gas se disuelva en el líquido absorbente o reaccione con él dando un nuevo compuesto químico. (Perry, 2001)

El aparato frecuentemente utilizado en absorción de gases es el lavador de gases. El dispositivo consiste en una torre equipada con una entrada de gas y un espacio de distribución en la parte inferior, una entrada de líquido y un distribuidor en la parte superior; salidas para el gas y el líquido por cabeza y cola, respectivamente; y una masa soportada de cuerpos sólidos inertes que recibe el nombre de relleno, el cual puede ser cargado al azar en la torre o bien colocado ordenadamente a mano. La entrada de líquido se distribuye sobre la parte superior del relleno mediante un distribuidor y, en la operación ideal, moja uniformemente la superficie del relleno. El gas que contiene el soluto asciende a través de las hendiduras del relleno en contracorriente con el flujo de líquidos, y así el líquido se enriquece de soluto a medida que desciende por la torre. El relleno proporciona una gran área de contacto entre el líquido y el gas, favoreciendo así un íntimo contacto entre las fases. La mayoría de los rellenos de torre se construyen con materiales baratos, inertes y ligeramente ligeros, tales como la arcilla, porcelana o diferentes plásticos.

(BOC GASES, Manual de gases especiales y equipos)

2.2.7.3. GASES ABSORBIDOS

Se denomina gas al estado de agregación de la materia que no tiene forma ni volumen propio. Su principal composición son moléculas no unidas, expandidas y con poca fuerza de atracción, haciendo que no tengan volumen y forma definida, provocando que este se expanda para ocupar todo el volumen del recipiente que la contiene, con respecto a los gases las fuerzas gravitatorias y de atracción entre partículas resultan insignificantes. (BOC GASES, Manual de gases especiales y equipos) En la presente investigación se trabajará únicamente con cloro gaseoso y amoníaco gaseoso, los cuales generan los efluentes que se desean estudiar.

2.2.7.3.1. CLORO

En condiciones normales y en estado puro es un gas amarillo-verdoso formado por moléculas diatómicas, Cl_2 , unas 2,5 veces más pesado que el aire, de olor desagradable y venenoso. Es un elemento abundante en la naturaleza y se trata de un elemento químico esencial para muchas formas de vida.

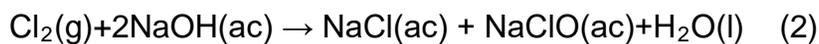
El cloro gaseoso puede ser presurizado y enfriado para convertirlo en líquido, de forma que pueda ser transportado y almacenado. Cuando se libera cloro líquido, éste se transforma rápidamente en gas que permanece cerca del suelo y se propaga con rapidez, puede reconocerse por su olor acre e irritante, que es parecido al olor del blanqueador. Este fuerte olor puede ser una alerta suficiente para indicarle a las personas que han estado expuestas al cloro. (Morrison)

El cloro, por sí mismo, no es inflamable, pero puede reaccionar explosivamente o formar parte de un compuesto explosivo con otras sustancias químicas como la trementina y el amoníaco. (<http://www.bt.cdc.gov/agent/chlorine/espanol/facts.asp>)

El cloro gaseoso puede ser absorbido en solución de soda cáustica o en carbonato de sodio. Las proporciones de cloro y de solución recomendada para dicho objetivo se expresan en la tabla 2.1. En la empresa se trabaja únicamente con la absorción de cloro en hidróxido de sodio.

Se debe proporcionar un tanque conveniente para almacenar la solución alcalina requerida. El álcali debería ser almacenado en forma tal, que se pueda preparar la solución a la concentración deseada. Cuando el cloro es absorbido por las soluciones alcalinas, el calor de reacción es sustancial, lo cual puede causar quemaduras al personal sino se siguen las normas de seguridad.

La reacción que ocurre entre dichos reactivos es la siguiente:



Cuando el cloro gaseoso se absorbe sobre una solución de hidróxido de sodio (concentración 20 por ciento en peso) se forma una mezcla equimolar de hipoclorito de sodio y cloruro de sodio que recibe el nombre de cloro comercial o lejía.

El ácido hipocloroso se degrada mientras cambia el pH, como se puede observar en la figura C.2.

TABLA 2.1
SOLUCIONES ALCALINAS RECOMENDADAS PARA LA ABSORCIÓN DE CLORO.

Capacidad de Contenedor de Cloro (lb net)	Solución de soda cáustica al 20% en peso		Solución de carbonato de sodio al 10% en peso	
	100% NaOH (lb)	Agua (gal)	100% Na ₂ CO ₃ (lb)	Agua (gal)
100	135	65	359	390
150	203	98	538	585
2000	2708	1300	7176	7800

Fuente: (Handbook of compressed gases)

2.2.7.3.2. AMONÍACO

El amoníaco es un gas incoloro de olor muy penetrante. Se produce naturalmente y es también manufacturado. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente. El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influenciado por la actividad biológica. El amoníaco es el producto natural de descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

El amoníaco se oxida mediante la acción bacteriana, primero hasta nitrito y después hasta nitrato, de forma que la concentración se ve continuamente afectada por

la contribución por parte de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados y por el consumo, como el uso de las bacterias del amoníaco para convertirlo en nitrato.

El amoníaco en agua puede eliminarse mediante desgasificación, intercambio catiónico en el ciclo del nitrógeno, y por adsorción mediante algunas arcillas, como la clinoptilolita. También se reduce su concentración por medio de la actividad biológica.

<http://aguamarket.com/Diccionario/terminos.asp?Temas=2236&termino=&Id=2236>

El amoníaco gaseoso puede ser eliminado por la descarga en un volumen de agua suficiente para absorberlo, debido a que es extremadamente soluble en agua, y reacciona con ella para formar iones amonio e iones oxidrilos (reacción 3):



Este equilibrio está altamente relacionado el pH del agua con que se trabaja. Cuando se tienen aguas con un pH alto, el amoníaco gaseoso libre está en la forma no ionizada, sin embargo, al pH de la mayor parte de las fuentes de agua, el amoníaco está completamente ionizado (Yaws, Carl). La curva de solubilidad del amonio se presenta en la figura C.2.

La disposición del hidróxido de amonio y los productos de neutralización subsecuentes, debe realizarse de manera ambiental, acorde con las leyes impuestas para tal fin. Las cantidades de agua requeridas para lograr absorber cierta cantidad predeterminada de amoníaco, se puede obtener mediante los datos de solubilidad expresados en la tabla 2.2.

TABLA 2.2
SOLUBILIDAD DEL AMONIACO GASEOSO

	Unidades SI
Solubilidad en agua vol(liq.)/vol(liq.) a 68 °F(15.5°C)	0.848

Fuente: Handbook of compressed gases.

2.2.8 TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES

Para el tratamiento y adecuación de aguas naturales y residuales suelen emplearse operaciones unitarias que comprenden métodos de tratamiento donde predominan fenómenos físicos; así como se emplean procesos unitarios que incorporan aquellos métodos en los que la eliminación de contaminantes se realiza a base de proceso químicos o biológicos. **(Metcalf y Eddy, 1996)**

2.2.8.1. TRATAMIENTOS DE LOS EFLUENTES CON NITRÓGENO

Los efluentes producto del lavado de amoniaco en agua presentan grandes cantidades de nitrógeno, los principales tratamientos para la eliminación de dicho parámetro se muestran a continuación.

2.2.8.1.1. NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN

Los procesos de nitrificación se pueden clasificar atendiendo al grado de separación de las funciones de oxidación del carbono y de nitrificación. La oxidación del carbono y la nitrificación pueden tener lugar en un único reactor llamado etapa única. En la nitrificación en etapas separadas, la oxidación de carbono y la nitrificación tienen lugar en diferentes reactores. Tanto para los sistemas de etapas separadas o etapa única se pueden emplear reactores de película fija o de suspensión. **(Metcalf y Eddy, 1996)**

Para el tratamiento biológico del nitrógeno son necesarias cuatro etapas. La primera de ellas se tiene el nitrógeno orgánico que pasa a formar ion amonio, luego este se lleva a la forma de NO^{2-} (nitrito). Seguidamente en la tercera etapa se obtiene de la forma NO^{3-} (nitrato) y por ultimo se obtiene el nitrógeno molecular o N_2 . Dicho proceso se puede observar en la figura 2.1.

La primera etapa se desarrolla previamente en un tanque anóxico (sin oxígeno). La mayor parte del Nitrógeno que se presenta bajo forma orgánica pasa entonces a la forma amoniacal. En las etapas posteriores, 2ª y 3ª, el reactor transforma el nitrógeno amoniacal en nitratos. La nitrificación necesita una concentración elevada de oxígeno en el residuo líquido, al igual que para el tratamiento de las cadenas carbonadas. La eficacia del reactor esta directamente ligada a su capacidad de aportar una alta cantidad de oxígeno al efluente líquido. La desnitrificación es una etapa diferente, la cual requiere ausencia de oxígeno. El resultado de esta última etapa es la liberación del Nitrógeno libre (N_2) a la atmósfera de la cual forma parte en un 80%). Este proceso es el que se da "seguramente" de forma más usual en la naturaleza. (<http://www.e-campo.com/?event=news.print&id=91FF543F-1027-1FA7-ABA56ED8572B6A67&>)

La eliminación del nitrógeno de las aguas residuales es, comparada con la eliminación de DQO, un proceso complicado. El nitrógeno que se encuentra en forma de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal, tiene que ser convertido a nitrato (nitrificación) antes de ser eliminado. El nitrato puede ser eliminado de las aguas residuales en una reacción con DQO (desnitrificación). Mediante este proceso de desnitrificación se forma nitrógeno N_2 . Por lo tanto, para la eliminación del nitrógeno se necesita un proceso con dos etapas: una etapa aerobia y otra anaerobia (anóxica).

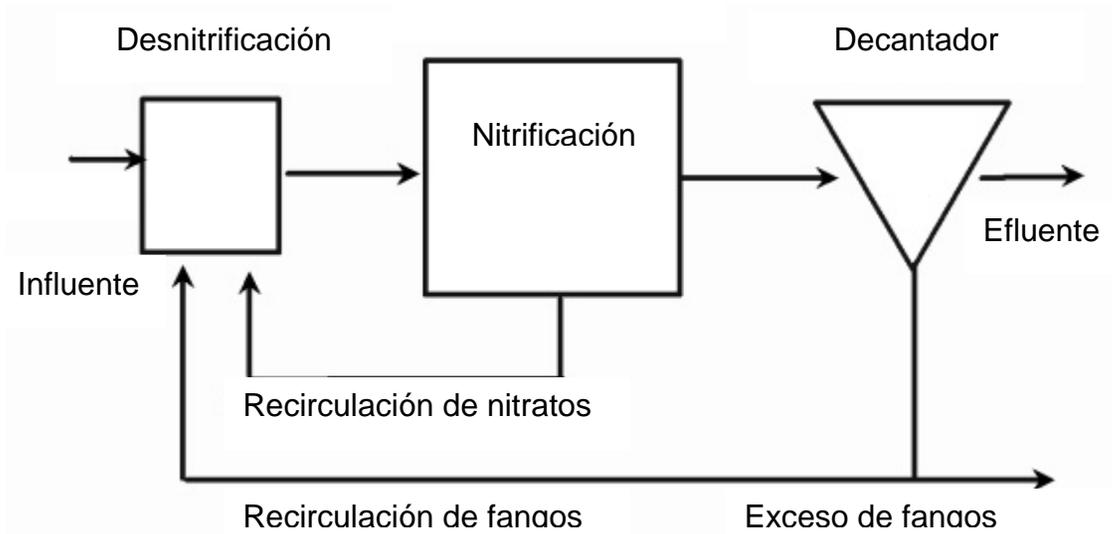
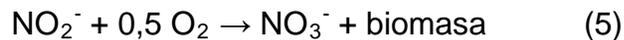
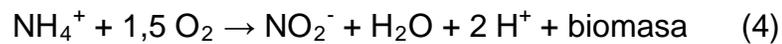


Figura 2.1. Proceso de nitrificación y desnitrificación.

A continuación se muestran las reacciones que describen los procesos para el tratamiento biológico de las aguas residuales:

Nitrificación del nitrógeno reducido:



Desnitrificación:



Además, en todos estos procesos se forma biomasa (fangos), la cual debido a que actúa como un catalizador, es necesaria para la reacción. El exceso de fangos debe ser eliminado del proceso y tratado

(<http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/G05/d05202/d05202.htm>)

El proceso de nitrificación y desnitrificación se puede llevar a cabo en un reactor discontinuo secuencial (SBR), el cual consiste en un estanque donde suceden en forma secuencial en el tiempo diferentes procesos de equalización, aireación y clarificación. Esto sumado a la última tecnología de biomasa, que permite el tratamiento de un gran espectro de compuestos orgánicos. Dicho reactor, también permite la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) simplemente incorporando un mezclado anaeróbico/anóxico en la etapa de llenado del estanque y eliminando el soplador durante la etapa de reacción. El principio de operación de un SBR se basa en la siguiente secuencia: Llenado-Aireación-Sedimentación-Vaciado. (Ver figura C.1) (Metcalf y Eddy, 1996)

2.2.8.1.2. INTERCAMBIO IÓNICO CON ZEOLITAS

El intercambio iónico es un proceso unitario en el que iones de diferentes especies, presentes en solución desplazan los iones de una determinada especie que se hallan sobre la materia insoluble de intercambio. El sistema puede funcionar tanto de forma continua como discontinua. En el proceso discontinuo, la resina se mezcla y se agita con el agua a tratar en el interior del reactor hasta que se completa la mezcla. La resina empleada se separa por sedimentación para su posterior regeneración y reutilización. En el proceso continuo, la materia de intercambio se coloca en el interior de una columna, y se hace circular a través de ella el agua a tratar.

Para el control del nitrógeno, el ion que normalmente, se suele separar del agua residual es el ion amonio. El ion desplazado por el amonio depende de la naturaleza de la solución empleada para la regeneración del lecho.

A pesar que se dispone de resinas naturales y sintéticas para el intercambio iónico, el uso de resinas sintéticas está más extendido debido a su mayor durabilidad. Algunas resinas naturales (zeolitas) se han aplicado en la eliminación del amoniaco en agua residual. Para la eliminación del amonio del agua residual, una de las resinas naturales que mejor comportamiento presenta en el intercambio iónico es la

clinoptilolita. Además de presentar mayor afinidad de los iones amonio que otros medios de intercambio, su coste es relativamente reducido, en comparación con el de los medios sintéticos. Entre los aspectos innovadores en esta zeolita es el sistema de regeneración que emplea. Agotada, la zeolita se regenera con cal y el ion amonio separado se convierte en amoniaco. La propiedad más importante de las zeolitas es su capacidad de adsorción de amoniaco (NH_3) y amonio (NH_4). Los iones de amonio presentes en el agua residual se intercambian con iones de sodio. La capacidad dinámica de las zeolitas es de unos 0.9 meq/g. (Metcalf y Eddy, 1996)

Si existen un número diferente de cationes presentes en las aguas residuales, la capacidad de adsorción por ion será menor, como consecuencia de la competencia con otros cationes diferentes. La adsorción dependerá de la selectividad relativa de las zeolitas para los distintos iones, la composición del agua y la temperatura. La sensibilidad relativa viene determinada por el diámetro hidratado, la carga y la movilidad de los iones.

(<http://www.lenntech.com/espanol/zeolitas-extraccion.htm>)

2.2.8.1.3. OTROS MÉTODOS.

Existen otros procesos de eliminación de nitrógeno, sin embargo el uso de estos procesos se ve limitado debido al coste, funcionamiento irregular y problemas de explotación y mantenimiento. Por ende dichos procesos solo se nombraran.

- Eliminación de amoníaco por arrastre con aire: el amoníaco se puede separar del agua por volatilización del amoníaco gaseoso. Esto se produce mejor a pH altos lo que hace elevados los costes de mantenimiento. Además se pueden formar incrustaciones de carbonato cálcico.
- Cloración al Breakpoint: se adiciona cloro al agua para oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrógeno gaseoso y otros compuestos. Plantea problemas de explosión.

- Intercambio iónico: es un proceso en el que los iones amonio del agua residual desplazan los iones de las resinas. El sistema puede ser continuo o discontinuo, y las resinas pueden ser sintéticas o naturales. Una resina natural que se suele utilizar es la clinoptilolita, es una zeolita natural, presenta gran afinidad por los iones amonio. Se suelen utilizar sistemas de regeneración de resinas.

(Metcalf y Eddy, 1996)

2.2.8.2 TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON CLORO.

Los efluentes generados al realizar el lavado de cloro en solución de hidróxido de sodio 20%, se pueden tratar a partir del intercambio con carbón activado, mediante el cual se elimina el cloro libre del agua (decloración) Este proceso consiste en un mecanismo complicado que puede seguir distintos caminos de reacción en los que el carbón activado puede intervenir como reactivo o como catalizador.

En el proceso de absorción con carbón activado, éste actúa como declorador y adsorbe la materia orgánica presente en el agua. Por lo tanto, a mayor contaminación orgánica, disminuye su tiempo de vida como declorador, y viceversa. También hay que mencionar que aún cuando el carbón siga eliminando todo el cloro libre, puede que no retenga la materia orgánica. Es decir, termina antes su capacidad de adsorción física - de moléculas orgánicas - que su capacidad de declorar. Muchas empresas potabilizadoras cuya agua contiene algunos contaminantes orgánicos, erróneamente deciden cambiar el carbón en el momento que encuentran trazas de cloro libre en el efluente del declorador.

(<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/casos-aplicacion>)

Las condiciones que afectan la decloración son las siguientes:

- Al disminuir el tamaño de partícula del carbón activado granular, aumenta considerablemente la velocidad de difusión, y por lo tanto la velocidad de decloración. Como consecuencia aumenta el tiempo de vida útil. El uso del menor tamaño de

partícula posible, es la manera más sencilla y eficaz de lograr el mayor aprovechamiento del carbón activado granular.

- El pH del efluente controla la forma del cloro libre en el agua. Cuando su valor es de 7,6 la mitad del cloro libre está presente como HOCl y la otra mitad como OCl⁻. La reacción del HOCl con el carbón activo es mucho más rápida que la del OCl⁻. A un pH de 4,0 casi todo es HOCl y a un pH de 10,0 casi todo es OCl⁻. Por lo tanto, mientras menor es el pH, la reacción es más rápida, y el resultado es un mayor tiempo de operación antes de detectar cloro libre en el efluente.
- La velocidad de dechloración se incrementa al aumentar la temperatura, debido a que la viscosidad del agua disminuye, haciendo más rápida la difusión del cloro libre hacia la superficie del carbón activado granular. Como resultado, también se alarga la vida útil del carbón.
- Al aumentar la concentración de cloro libre en el efluente, se satura el carbón activado granular en menor tiempo. Independientemente del valor que puedan tener las distintas condiciones anteriores, el carbón activado granular tiene una alta capacidad de dechloración en relación con la de adsorción de contaminantes orgánicos.
(<http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/casos-aplicacion>)

2.2.8. DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS PARA LOS EFLUENTES GENERADOS.

Con respecto a las normativas y reglamentos utilizados para el análisis de los efluentes obtenidos se utilizó el decreto 3209, el cual señala las normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia. Presentado los límites de cargas máxicas para los parámetros críticos de control, así como también se fijan los rangos y límites máxicos de concentración en los vertidos líquidos que sean o van a ser descargados, de forma directa o indirecta en el lago de valencia y red hidrográfica tributaria.

Entre los parámetros que se fijan en dichos decreto se pueden señalar:

- Demanda biológica de oxígeno (DBO): 60mg/L como límite máximo.
- Demanda química de oxígeno (DQO): 350mg/L como límite máximo.
- Nitrógeno total: 10mg/L como límite máximo.
- Cloruros: 1000mg/L como límite máximo. (ver apéndice tabla C.2)

2.2.10 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE EFLUENTES

Existen numerosos tipos de recipientes que se utilizan en las plantas industriales o de procesos. Entre los principales sistemas de almacenamiento se encuentran tanques abiertos y recipientes cerrados. Entre los recipientes cerrados podemos encontrar: tanques cilíndricos verticales, recipientes cilíndricos horizontales y recipientes esféricos.

Los recipientes cilíndricos horizontales y verticales son usados cuando la presión de vapor del líquido manejado puede determinar un diseño más resistente. Varios códigos han sido desarrollados o por medio de los esfuerzos del API y el ASME para gobernar el diseño de tales recipientes. Una gran variedad de formas usadas para cerrar los extremos de los recipientes cilíndricos. Entre ellas están: la semiesférica, elíptica, toriesférica, estándar común y toricoidal. Para propósitos especiales de las placas planas son usadas para cerrar un recipiente abierto.

(Himmelblau, 1997).

Entre diversas recubrimientos o pinturas que se le pueden aplicara los tanques de almacenamiento se pueden mencionar la pintura epoxy y la cromato zinc.

Las pinturas epoxy presentan gran resistencia química, sin que les afecten los disolvente ni los aceites o grasas, Poseen gran resistencia al roce y tráfico pesado. Por su resistencia al agua, a la intemperie y a los contaminantes químicos, se usan como sistemas de protección de larga duración sobre acero estructural, y hormigón.

(<http://www.allstudies.com/pinturas-epoxi.html>)

La pintura cromato zinc es una pintura tipo optimizada de uso interior y exterior. Sus colores permanecen inalterables con el tiempo. Es completamente lavable y de muy buen rendimiento para ser utilizados en interiores o exteriores sobre metales ferrosos.

(http://www.pinturaskellam.com/producto_fondo_crom.html)

2.2.11. MÉTODO DE DECISIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las matrices de selección y evaluación de problemas son arreglos de filas y columnas donde las primeras constituyen las alternativas (problemas, causas, soluciones) que requieren ser jerarquizadas y las columnas los múltiples criterios que conviene utilizar en la selección. La utilidad del análisis a través de matrices reside en que ayuda a los grupos de trabajo a escoger decisiones mas objetivas, cuando se requiere tomarlas sobre la base de criterios múltiples. Se pueden diferenciar tres tipos de matrices:

- Matriz de selección o jerarquizaron de problemas.
- Matriz de jerarquizaron de causas
- Matriz de selección o jerarquizaron de soluciones

Los pasos que se siguen para utilizar una matriz de evaluación y selección son los siguientes:

- Definir las alternativas que van a ser jerarquizadas. Estas alternativas pueden estar referidas a problemas, causas o soluciones.
- Definir los Criterios de Evaluación: En este caso es importante asegurar que todas las personas involucradas en la selección entiendan de igual forma, el significado de cada criterio.

- Establecer el peso para cada uno de los criterios: Todos los criterios no tienen la misma importancia. En este caso, es necesario definir el peso que tienen cada uno de los criterios con los cuales se evalúan las diferentes alternativas. Para esto, lo más recomendable es repartir entre los criterios definidos, un número de puntos de acuerdo a una escala dándole puntuación más alta a aquel que se considere más importante. Podrán haber criterios que de no cumplirse para alguna alternativa, esta no podrá ser seleccionada, aunque sea la que mayor cumpla con todos los demás criterios. Cuando ello sucede, será necesario evaluar todos los renglones en relación al criterio o criterios que necesariamente se deben cumplir, descartando de una vez las alternativas que no cumplan con dichos criterios.
- Construir la Matriz de Evaluación: Este paso tiene como objetivo, construir un arreglo de filas y columnas, donde se muestren las alternativas a evaluar, los criterios y el peso de cada uno de los criterios.
- Definir la Escala de Gradación de cada criterio: Lo ideal es tratar de definir una escala numérica donde se evalúen las alternativas en relación a los criterios. Cuando no sea posible cuantificar la escala de gradación de los criterios, podrá aplicarse una gradación cualitativa, (poco normal, mucho, etc. o deficiente, regular, bueno, excelente), asignando para efectos de calculo un valor a cada nivel.
- Valorar cada alternativa en relación a cada criterio: En este paso, el objeto es evaluar en que grado las alternativas cumplen con los criterios definidos, utilizando la escala establecida en el paso anterior. El resultado, se debe anotar en las casillas correspondientes.
- Puntuación Definitiva y Jerarquizaron: para completar este paso se requiere: Multiplicar el valor obtenido en el paso anterior por el peso de cada criterio. De esta forma, cada alternativa recibe una puntuación diferente por cada criterio.
- Sumar los puntos obtenidos por cada alternativa para obtener la puntuación total de cada una de ellas.
- Ordenar las alternativas en orden decreciente de la puntuación total obtenida.
(http://ces.unicauca.edu.co/archivos/articulos/tecnicas_decisiones_en_grupo.pdf)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En la siguiente sección se presenta el tipo de investigación según su nivel de profundidad y diseño metodológico adoptado para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Según los objetivos planteados, la investigación a nivel de profundidad se encuentra enmarcada en los trabajos de carácter proyectivo, los cuales tienen como objetivo la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema; específicamente en esta investigación se selecciona la alternativa para el aprovechamiento de los efluentes del lavador de gases, tomando en cuenta los costos y beneficios generados, estableciendo así la factibilidad de aplicación en base a los resultados obtenidos.

Según la estrategia aplicada, la investigación constituye un trabajo de campo, la cual se caracteriza por la realización de experimentos en el lugar donde ocurren los fenómenos; Específicamente en esta investigación la recolección de datos se lleva a cabo de forma directa y se realiza la caracterización de los efluentes del lavador de gases para efectuar un análisis de factibilidad del aprovechamiento de las mismas.

3.1. TIPOS DE LOS GASES A EVALUAR.

Se partió de la identificación de los gases con los cuales trabaja la empresa y del proceso de lavado de los mismos, así como también se llevo a cabo una revisión de la frecuencia con la que se ejecuta cada tipo de lavado en el equipo seleccionado para el estudio. La obtenida información corresponde a datos reportados por la empresa desde el mes de enero del año 2006 hasta diciembre del mismo año.

Una vez culminado el reconocimiento de los diversos gases, se procedió a la selección de los gases a estudiar. Para ello se realizó una matriz de selección de doble

entrada. En la primera entrada se tienen los gases disponibles, como punto de referencia para la comparación y evaluación, entre ellos se encuentran cloro, amoníaco, trifloruro de boro, dióxido de azufre y tricloruro de boro.

La segunda entrada corresponde al conjunto de factores que engloban el aspecto técnico y económico que ofrecen estas cinco opciones de gases en el proceso de lavado, dichos factores son generación de caudal, posibilidad de aprovechamiento de los efluentes generados, los costos del solvente, toxicidad y manipulación

La matriz presenta una ponderación experta para factor que se expresa en porcentaje y va del 0 al 100% y es asignada a cada factor. La alternativa que arroje el mayor resultado es la seleccionada.

Los factores considerados se basan en:

- **Generación de caudal:** Debido que se desea evaluar los gases que generen mayor cantidad de efluentes es indispensable considerar la cantidad de cilindros que llegan a la empresa con cada uno de los gases identificados, así como también el caudal que se produce en el lavado. Este factor es de vital importancia debido a que, mientras mayor sea la cantidad de efluentes generados, la empresa puede lograr un mayor beneficio al aprovecharlos. Por ende este factor representa el 45%.
- **Posibilidad de aprovechamiento de los efluentes generados:** Este factor esta relacionado con la disposición de equipos y con las diversas propuestas o proyectos que actualmente tiene la empresa, a fin de lograr un aprovechamiento de los efluentes generados. Para ello se utilizaron los datos brindados por la empresa. Haciendo énfasis en la necesidad de aprovechar los efluentes generados se le asignó a este factor una ponderación del 30%.
- **Costo del solvente a utilizar:** Partiendo de la cantidad de solvente a utilizar y del precio de los mismos, se logró medir el costo asociado a la adquisición de solventes

para llevar a cabo el lavado de cada uno de los gases. Es importante señalar que con la recuperación del solvente y/o reutilización de los efluentes la empresa obtendrá beneficios económicos. A este factor se le otorga una ponderación del 15%.

- **Toxicidad:** Para llevar a cabo el análisis de este factor se realizó una investigación de la toxicidad de cada uno de los gases, a partir de las hojas de seguridad suministradas por msds y pancrear. La ponderación que se le asignó a este factor es de 5%, debido a que todos los gases son altamente tóxicos, por lo tanto es necesario las medidas e instrumentos de seguridad para trabajar con ellos.
- **Manipulación:** En última instancia, se incluye la fácil manipulación de los gases ya que los procesos de carga en esta empresa son manuales, lo que es importante conocer las medidas de seguridad asociadas al manejo de los mismos. Dicha variable esta íntimamente ligada con la toxicidad. A este factor se le otorga una ponderación del 5%.

A las alternativas se les asigna una calificación del 1 (deficiente) al 9 (excelente) proporcional a lo ventajosa que pueda ser en cada aspecto.

3.2. PROCEDIMIENTOS DE LAVADO DE LOS GASES A ESTUDIAR.

Para conocer el procedimiento de lavado se realizaron entrevistas a los operarios a fin obtener información del proceso de lavado de gases y las medidas de seguridad que se deben seguir al trabajar con cada uno de ellos.

Se consulto el HANDBOOK OF COMPRESSED GASES, para conocer los principales procedimientos de lavado de dichos gases, haciendo énfasis en la solubilidad de los mismos en diversas soluciones.

Adicionalmente, junto con los ingenieros de proceso se establecieron, los factores claves que afectan significativamente el proceso de lavado de gases, haciendo énfasis en la importancia de la seguridad al realizar dichos lavados.

3.3. REQUERIMIENTOS DE SOLVENTE A UTILIZAR PARA LLEVAR A CABO EL LAVADO DE LOS GASES SELECCIONADOS.

Con base a los datos reportados por la empresa desde el mes de enero del año 2006 hasta diciembre del año 2006, se determinó la frecuencia semanal con la que se realizaba cada lavado en el equipo de estudio, al igual que las cantidades de solventes empleadas para estas operaciones.

Para el cálculo del número de lavados realizados en el año 2006, se utilizó la siguiente ecuación:

$$NI = \sum_{i=1}^{nv} Ci \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{I})$$

Donde:

NI: Número de lavados (adim)

CI: Número de lavados a la semana (adim)

nv: Número de valores registrados (adim)

i: contador (adim)

Luego tomando en cuenta los datos obtenidos anteriormente y el volumen del lavador de gases, se logra obtener el requerimiento de solvente anual para realizar los lavados.

$$Sc = NI \cdot VI \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{II})$$

Donde

Sc: Cantidad de solvente utilizado (L).

VI: Volumen del lavador (L)

Es importante señalar que para el caso del amoniaco, se utiliza agua como solvente, sin embargo para el caso del cloro se utiliza una solución al 20% de hidróxido

de sodio, por lo tanto para obtener las cantidades de agua y de hidróxido de sodio necesarias para llevar a cabo dicho lavado se utiliza la siguiente ecuación:

$$Sh = Sc \cdot Xc \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{III})$$

Donde:

Sh: Cantidad de hidróxido de sodio (L)

Xc: Fracción del componente en la solución (adim)

Por ultimo se suman los resultados obtenidos de la cantidad de agua requerida para ambos lavados, obteniéndose así los requerimientos totales de agua y de hidróxido de sodio para llevar acabo el lavado de ambos gases.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES CONTENIDOS EN LOS CILINDROS.

Para determinar la cantidad de gas contenido en cada cilindro se utilizó una balanza, y los datos de placa de cada cilindro. Las taras de los cilindros dependen de su capacidad ver tablaC.6. Las tablas utilizadas para la recolección de datos son las siguientes.

TABLA 3.1
CANTIDAD DE GAS CONTENIDA EN CADA CILINDRO A VACIAR.

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno con el gas ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)

La cantidad de cilindros dependió de los disponibles en la empresa.

Para realizar la pesada de los cilindros, se trabajó con todas las medidas de seguridad necesarias, lo que requirió de equipos de protección personal. Para el cálculo de la cantidad de gas contenido en cada cilindro se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_{ci} = PT - T \quad (\text{BOC gases, 1999}) \quad (\text{IV})$$

Donde

PT: Masa del cilindro lleno (Kg)

T: Masa del cilindro vacío (Kg)

C_{ci}: Cantidad de gas contenido en cada cilindro a vaciar (Kg).

Debido a que se debe considerar todos los cilindros que fueron vaciados para realizar cada lavado, se utilizó la siguiente fórmula

$$mg = \sum_{i=1}^{nv1} C_{ci} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{V})$$

Donde:

mg: Cantidad de gas total que se desea absorber en cada lavado (kg)

nv1: Número de valores reportados (adim)

i: Contador (adim)

3.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES GENERADAS EN EL LAVADOR DE GASES.

Para la identificación de las sustancias presentes en las aguas provenientes de las operaciones de lavado de los gases se realizó un muestreo limitado por los parámetros económicos brindados por la empresa.

Inicialmente se realizó una revisión de la Ley orgánica del Ambiente, para la clasificación y la obtención de los niveles máximos permitidos de nitrógeno y de cloro, para la descarga de efluentes, empleando como patrón los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, de forma directa o indirecta en el lago de Valencia y red hidrográfica tributaria.

El lavado de cada uno de los gases se realiza siguiendo con los parámetros de seguridad específicos de la empresa como se señala a continuación.

ARRANQUE

1. Llenar planilla de identificación del cilindro.
2. Verificar el peso de cada cilindro para conocer la cantidad de producto que contiene.
3. Verificar que el lavador de gases contenga el solvente determinado hasta la altura indicada.

OPERACIÓN

4. Colocar los cilindros con los gases que se desean lavar en el manifold de salida al lavador de gases.
5. Dejar drenar los gases al lavador hasta que se registre el vaciado de los cilindros.

PARADA

6. Cerrar los cilindros.
7. Vaciar el lavador y realizar el respectivo enjuague con agua.

La toma de las muestras de los efluentes del equipo de lavado de gases se realizó de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 2709:2002 (ver anexo A) para técnicas de muestreo de aguas naturales, industriales y residuales. La tabla 3.2 es un modelo para el registro de la información.

TABLA 3.2
DATOS PARA LA TOMA DE LAS MUESTRAS DE LAS EFLUENTES DEL EQUIPO
DE LAVADO DE GASES.

Fecha del muestreo:			
Número de muestra	Cantidad de gas lavado (g)	Volumen de la muestra tomada ($V_{\pm 0.05}$) mL	Hora de la toma de muestra

Temperatura ambiente ($T_{amb} \pm 0,05$)°C

Presión ambiente ($P_{amb} \pm 0,05$)mmHg

La frecuencia de lavado depende de la demanda de los gases, lo que dificultó la programación en la toma de muestras, debido a que el plan de producción de la empresa se elabora con poco tiempo de anticipación. Se realizaron una serie de pruebas las cuales involucran DBO, DQO, la concentración de cloro residual y la concentración de nitrógeno amoniacal

Los análisis para la determinación de las concentraciones de nitrógeno amoniacal y de cloro residual se llevaron a cabo siguiendo los parámetros de calidad COVENIN para asegurar tener resultados confiables. Mientras que los análisis de DBO y DQO, se realizaron siguiendo los lineamientos del Standard Methods. Los resultados de todos los análisis fueron suministrados por laboratorios amparados por la empresa.

Para el caso del cloro se tomaron las muestras en envases de vidrio, se realizaron 3 lavados, vaciando 20, 13 y 18 cilindros en cada uno de dichos lavados, obteniendo 3 efluentes, a partir de las cuales se tomaron las muestras a analizar. Es importante señalar que el número de muestras fue limitado por la empresa. Debido al tipo de muestra a tomar, se procede a realizar el análisis en un tiempo no mayor de 0.25 horas, siguiendo con los parámetros establecidos en las normas COVENIN 2709:2002.

De modo similar se trabajó con el amoníaco, utilizándose envases de plástico para la toma de muestras. Se realizaron 3 lavados vaciando 20, 18 y 16 cilindros, en cada uno de dichos lavados, obteniendo 3 efluentes, a partir de las cuales se tomaron las muestras a analizar. Debido al tipo de muestras se procedió a analizar inmediatamente, siguiendo con los parámetros establecidos en las normas COVENIN 2709:2002

A partir de la cantidad de gas a absorber y los valores de concentración de cloro residual suministrados por la empresa, en la caracterización de los efluentes, se logró obtener la eficiencia de absorción del lavador, utilizando la siguiente formula

$$E = \frac{D}{mg} \cdot 100\% \quad (\text{BOC gases, 1999}) \quad (\text{VI})$$

Donde:

D: Cantidad residual del gas en cada lavado (Kg)

mg: Cantidad de gas total que se desea absorber en cada lavado (kg)

E: eficiencia (%)

Con los datos obtenidos en la caracterización, específicamente de la concentración de nitrógeno amoniacal, se realizó una grafica patrón, considerando la eficiencia del lavador, con el fin de crear una guía práctica y rápida, para conocer las características aproximadas de los efluentes cada vez que se realice un lavado con dicho gas. El eje de las absisas de la grafica representa la cantidad de cloro a absorber, (Kg), mientras que la ordenada representa el cloro residual que se obtendrá en el efluente (ppm). Adicionalmente dicha grafica se extendió hasta el valor de saturación de la solución, el cual fue obtenido por HANDBOOK OF COMPRESSED GASES, con el fin de llevar un control de la máxima cantidad de cloro que se debe absorber en cada lavado para evitar la saturación de la solución.

Para el caso del amoníaco se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito, construyendo 2 gráficas más. El eje de las abscisas contiene la cantidad de amoníaco a absorber (Kg), mientras que la ordenada contiene la concentración de nitrógeno amoniacal del efluente (ppm)

3.6. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO Y/O DISPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES.

Para obtener la generación de alternativas de reutilización o aprovechamiento de los efluentes del equipo de lavado de gases, se utilizan los resultados obtenidos en la caracterización de los mismos, así como también los posibles usos que se les puede dar a dichos efluentes.

Una vez señaladas las alternativas de reutilización y/o disposición para el tratamiento de los efluentes del equipo de lavado de gases, se presentan las características generales de cada opción, así como también el diagrama de bloques de las etapas involucradas en cada alternativa, con la finalidad de establecer comparaciones entre las mismas que permitan seleccionar la que mejor se ajuste a los requerimientos deseados.

3.7. SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES.

Se realizaron dos matrices de selección, específicamente se trabajó con una matriz para cada efluente a tratar como se muestra a continuación.

3.7.1 Efluente procedente del lavado de los cilindros de cloro.

Se elaboró una matriz de selección en la cual se estudiaron dos alternativas: La venta de lejía y la implementación de dicho efluente como agua de riego. Los factores

estudiados en dicha matriz son: ganancia generada, espacio físico disponible en la planta, costos de implementación y facilidad de implementación.

- **Ganancia generada:** Este factor involucra la ganancia monetaria que representa la implementación de la alternativa en la empresa, es decir, está involucrado directamente con el beneficio económico que conlleva la ejecución de la misma con el fin de disminuir las pérdidas económicas que se presentan en el equipo. Este factor tiene una ponderación de 60% en la matriz de selección.
- **Espacio físico disponible en la planta:** Este factor está relacionado con el espacio disponible en la empresa para la implementación de los equipos, maquinarias, etc. necesarias para la ejecución de las alternativas. Este factor es muy importante debido a que en la empresa se trabajan con gases muy peligrosos, por ende se debe tomar en cuenta los espacios de seguridad, así como también la facilidad de movimiento de los operarios en su sitio de trabajo. A este factor se le asignó una ponderación de 20%.
- **Costos de implementación:** Este factor involucra la disposición que tiene la empresa de equipos o materia prima para llevar a cabo cada una de las alternativas, así como también los costos que se generan al incluir dichas alternativas en el proceso. A este factor se le asignó una ponderación de 10%.
- **Facilidad de implementación:** Debido a que dicha empresa actualmente desecha dichos efluentes, se desea medir cuál de las alternativas es más fácil de emplear de acuerdo a los requerimientos de la empresa, a dicho factor se le asignó una ponderación de 10%.

La ponderación de dicha matriz es igual a la realizada para la escogencia de los gases a evaluar. Para la evaluación de cada alternativa se emplea tanto el conocimiento teórico, como la experiencia práctica del personal de la empresa.

3.7.2 Efluente procedente del lavado de los cilindros de amoniaco.

Para ello se elaboró una matriz de selección en la cual se estudiaron tres alternativas de selección: La implementación de un sistema de filtración basándose en el intercambio iónico con zeolitas, el tratamiento de nitrificación y desnitrificación a partir de un reactor discontinuo secuencial, a fin de utilizar el agua como agua de riego y la venta del agua amoniacal.

Los factores y la ponderación considerados en dicha matriz son los mismos anteriormente nombrados para el caso de la lejía.

3.8. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

Por medio de consultas con el personal de la empresa y la utilización de los datos de producción de los efluentes generados en el año 2006, se recopiló información sobre los costos que se generan para cubrir los requerimientos de solventes necesarios para realizar cada uno de los lavados.

A fin de evaluar la factibilidad de implementación de las alternativas seleccionadas, se tomó un promedio mensual del número de lavados realizados en el año 2006, a fin de considerar dicho valor, como la cantidad de cilindros que se lavaran cada mes del año 2007. Dicho cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$pl = \frac{Nl}{nm} \quad (\text{Perry, 2001}) \text{ (VIII)}$$

Donde:

Nl: Número de lavados en el año 2006 (adim)

pl: promedio del número de lavados (adim)

nm: número de meses del año (adim)

Seguidamente considerando el número de lavados mensuales y el precio de venta de los efluentes, se logra medir el ingreso bruto que se obtiene, a partir de la siguiente ecuación:

$$Ibl = Pvl \cdot Sc \text{ (Giménez, 2000) (IX)}$$

Donde:

Ibl: ingreso bruto por del efluente (BsF)

pvl: precio de venta del efluente (BsF/L)

En el caso del agua amoniacal, se requiere del acondicionamiento del tanque de almacenamiento y de la implantación de un sistema de tuberías. Se realiza un diagrama a fin de representar gráficamente la distribución y las dimensiones deseadas. A partir de dicho diagrama se logra medir los costos referidos al sistema de tuberías y accesorios, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Cst = Ctub + Cc \cdot Nc + Cv \cdot Nv \text{ (Giménez, 2000) (X)}$$

Donde

Cst: costos asociados al sistema de tubería a implementar (BsF)

Cc: Costo de los codos (BsF)

Nc: número de codos (adim)

Cv: Costos de las válvulas (BsF)

Nv: número de válvulas (adim)

Ctub: costo de tubería (BsF)

Tomando en cuenta el precio de venta de cada efluente y los costos referidos a la implementación de las alternativas en el proceso se logra medir los beneficios económicos que se generarían al emplear dichas alternativas para lograr un mayor aprovechamiento de los efluentes generados en el equipo de gases.

$$G = Ibl - cs - cst - ctp \quad (\text{Giménez, 2000}) \quad (\text{XI})$$

Donde:

Ctp: costos por la adquisición de pinturas (BsF)

G: ganancias generadas por la implementación de la alternativa seleccionada

Ibl: ingreso bruto por del efluente (BsF)

cs: costo de solvente involucrado a los lavados en el año 2007 (BsF)

Cst: costos asociados al sistema de tubería a implementar (BsF)

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los datos y resultados obtenidos durante el desarrollo de cada objetivo, señalando la discusión y el análisis de cada uno de ellos.

4.1 TIPOS DE LOS GASES A EVALUAR.

Al realizar el reconocimiento de la planta de pruebas hidrostáticas se determina que principalmente la empresa trabaja con los siguientes gases: óxido de etileno, metano, tricloruro de boro, etano, trifluoruro de boro, butano, dióxido de azufre, cloro y amoníaco.

Dependiendo de la naturaleza del gas, el vaciado de los mismos se lleva cabo mediante un proceso de quemado en el quemador de gases o se lleva a cabo el proceso de lavado mediante el lavador de gases. Los cilindros que contienen gases tóxicos, irritantes, corrosivos o inflamables deben ser vaciados considerando las condiciones de seguridad que requiera la descarga del gas, con equipos apropiados y con el personal entrenado en el manejo de tales gases.

De los gases disponibles en la empresa el butano, etano y metano son llevados al quemador de gases, mientras que los demás son sometidos al proceso de lavado.

Los gases contenidos en los cilindros que deben ser llevados al lavador de gases son: tricloruro de boro, trifluoruro de boro, dióxido de azufre, cloro y amoníaco. Cada uno de ellos presenta un procedimiento de lavado distinto, dependiendo de la solubilidad en los diversos solventes, así como también dependiendo de la toxicidad del mismo.

Con respecto a la generación de caudal, se calificó al cloro con la mayor puntuación, ya que luego de haber revisado la información correspondiente al año 2006, se tiene una gran cantidad de lavados realizados. El amoníaco presenta una

generación de caudal menor que la del cloro pero superior a los demás gases considerados, por ende se calificó con la segunda mejor puntuación. (Véase, tabla 4.1)

En lo que respecta a los cilindros con tricloruro de boro, trifluoruro de boro y el dióxido de azufre, presentan una producción de efluentes mas baja, debido a que existe poca disponibilidad de los mismos, por ende se les ponderó con una puntuación baja. (Véase, tabla 4.1).

Con respecto a la posibilidad de aprovechamientos de los efluentes generados, se calificó con la menor puntuación las opciones relacionadas con el trifloruro de boro, el tricloruro de boro y el dióxido de azufre, debido a que actualmente en la empresa no existen antecedentes de posibles usos o tratamientos que se les pueda dar a cada uno de ellos.

Sin embargo en el caso del amoníaco y del cloro, se ponderó la posibilidad de aprovechamiento de los efluentes con altas puntuaciones, debido a que se pueden evaluar proyectos sobre la producción de lejía y agua amoniaca para la venta, así como también la empresa tiene a disposición carbón activado para llevar acabo la decoloración de las aguas, del mismo modo también se dispone de equipos donde se pueden almacenar dichas soluciones.

Para el caso de los costos de solvente se tiene que la ponderación asignada para el amoníaco es baja, debido a que este utiliza como solvente el agua, siendo este recurso más económico. Para los demás gases se le asignó una mayor puntuación debido a que utilizan una solución de hidróxido de sodio lo cual genera mayores costos. Los costos de dichos solvente se pueden observar en la tabla 4.2. Es importante señalar que se desea disminuir los costos en el proceso de lavado de gases a partir del aprovechamiento de los efluentes generados, por ende se le asigna mayor ponderación al proceso de lavado que involucre un mayor costo.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

TABLA 4.1
MATRIZ PARA LA SELECCIÓN DE LOS EFLUENTES A EVALUAR

Factor	Ponderación	Alternativas									
		A		B		C		D		E	
		V	Pp	V	Pp	V	Pp	V	Pp	V	Pp
Generación de caudal	45	9	405	7	315	3	135	3	135	3	135
Posibilidad de aprovechamiento de los efluentes generados.	30	7	210	7	210	1	30	1	30	1	30
Costos del solvente a utilizar	15	5	75	3	45	5	75	5	75	5	75
Toxicidad	5	3	15	3	15	5	25	3	15	1	5
Manipulación	5	3	15	3	15	5	25	3	15	1	5
TOTAL	100%		720		600		290		270		250

Donde:

A: Cloro.

B: Amoniaco.

C: Tricloruro de boro.

D: Trifluoruro de boro.

E: Dióxido de azufre

V: Valor

Pp: ponderación puntual

TABLA 4.2

COSTOS POR LA ADQUISICIÓN DE SOLVENTE PARA LLEVAR A CABO EL LAVADO DE CADA UNO DE LOS GASES

Costos	
Soda cáustica (BsF / kg)	Agua (BsF/m ³)
0,15	25

Fuente: datos de la empresa.

Con respecto a la toxicidad se considera que mientras menos tóxico sea el gas es más factible el manejo del mismo, por lo tanto se le asigna una mayor puntuación. El gas menos tóxico resultó ser el tricloruro de boro, presentando un límite máximo de 2541 ppm con desenlace mortal, según los datos suministrados por la ficha de seguridad de Air liquide. Por ende a este gas se le asignó una alta puntuación con respecto a la toxicidad. (Véase, tabla 4.1).

Del mismo modo se obtiene que para el cloro el límite máximo de inhalación provocando edema pulmonar y muerte es de 430 ppm según la ficha de seguridad MSDS. Para el trifloruro de boro se tiene como límite máximo 387 ppm según la ficha de seguridad Air liquide, mientras que para el amoníaco se tiene como limite 350 ppm, según la ficha de seguridad de Pancreac. Debido a que la diferencia entre dichos valores es pequeña, se asignó la misma puntuación, la cual es menor que la asignada al tricloruro de boro (Véase, tabla 4.1). Esto considerando que mientras mas bajo es el nivel, más tóxica es la sustancia química.

Por último se obtiene que el gas con mayor toxicidad es el dióxido de azufre presentando como límite máximo de peligro inmediato a la salud y la vida 100ppm, según la ficha de seguridad Infra. Por ende a este gas se le calificó con la menor puntuación. (Véase, tabla 4.1)

Lo referido a la manipulación de los gases se encuentra intrínsecamente relacionado con la toxicidad de los mismos, ya que a menor toxicidad de las alternativas menos engorroso se vuelve la manipulación de los mismos.

Como se puede observar en la Tabla 4.1, la alternativa que presentó una mayor calificación fue el cloro con un total de 720 puntos, sin embargo por disposiciones de la empresa se escogieron 2 alternativas. Por ende los efluentes escogidos son los procedentes del lavado de los cilindros con cloro y el amoníaco, debido a que estos son los que tiene mayor generación de caudal, empleando los solventes menos costosos para su absorción, presentando una mayor posibilidad de aprovechamiento de los efluentes, considerando una fácil manipulación y una baja toxicidad.

4.2 PROCEDIMIENTOS DE LAVADO DE LOS GASES A ESTUDIAR

Debido a la alta toxicidad de los gases y de los elevados niveles de peligrosidad de los mismos, es necesario llevar a cabo cuidadosamente los procedimientos de lavado de cada uno de ellos como se muestra en la figura 4.1. Para esto se deben evaluar las características de cada uno de los gases así como también las medidas de seguridad que se deben tener en el caso de que ocurra un accidente.

A partir de los datos de solubilidad obtenidos por el HANDBOOK OF COMPRESSED GASES, se demuestra la correcta utilización de los solventes. Específicamente se trabaja con agua para lavar el amoníaco. Así como también una solución de soda cáustica al 20% en peso, para lavar el cloro gaseoso.

A fin de conocer el proceso de lavado que se lleva a cabo actualmente en la empresa, se muestra un diagrama de bloque (Ver figura 4.1). Dicho procedimiento se utiliza tanto para la absorción de amoníaco en agua, como para la absorción de cloro en solución de hidróxido 20%.

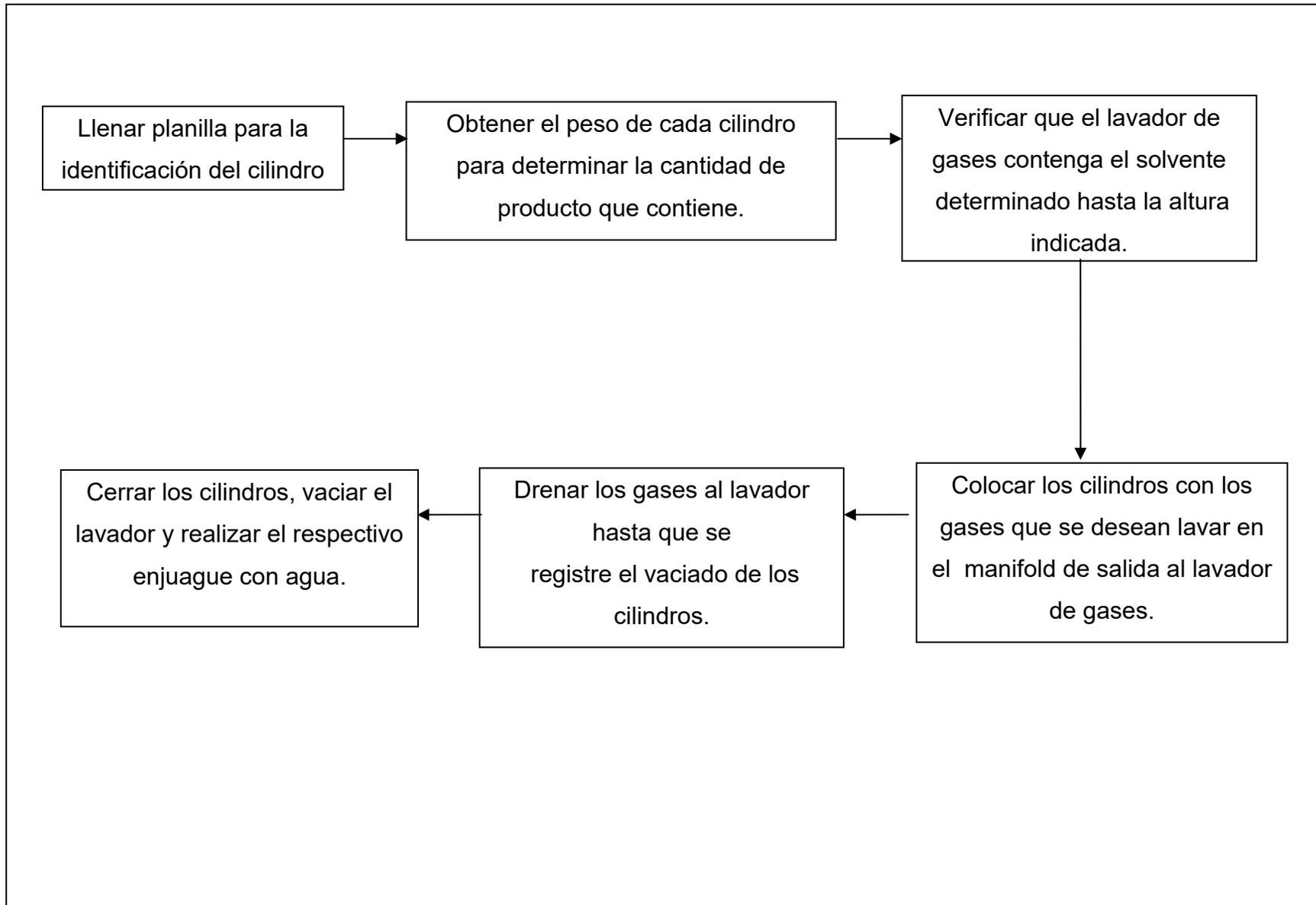


Figura 4.1. Procedimiento de lavado de los gases a estudiar

Las medidas de seguridad que se debe tener en consideración se nombran a continuación:

- Utilizar ropa apropiada resistente a los químicos
- Si es necesario, utilizar antiparras de seguridad química con careta de protección para proteger la piel contra el contacto con el producto.
- Evitar que los cilindros se caigan o se golpeen entre ellos.
- En ningún caso se debe levantar el cilindro por la tapa protectora de la válvula.
- Asegurar la instalación del cilindro en el manifold para evitar fugas de gas, colocando la cadena de seguridad
- Verificar que no haya fugas en el sistema utilizando agua y jabón y dejando drenar por las tuberías nitrógeno gaseoso.

Luego que se realiza un lavado en el quipo de lavado de gases, se descarga el efluente generado y luego se realiza un enjuague al equipo para no contaminar los próximos lavados con restos de efluentes. Es importante señalar que dicho efluente no esta considerado dentro de los efluentes a tratar, debido a que dicha agua de enjuague tiene bajas concentraciones. Sin embargo a fin de minimizar el gasto de agua para dicho fin, se implementó el uso de la hidrolavadora para realizar dichos enjuagues, reduciendo el consumo de la misma en esta operación de un 100% a un 80%. Obteniendo el mismo grado de limpieza en el lavador.

4.3 REQUERIMIENTOS DE SOLVENTE A UTILIZAR PARA LLEVAR A CABO EL LAVADO DE LOS GASES SELECCIONADOS.

Para la determinación de los volúmenes de solventes necesarios para llevar a cabo el lavado de los diversos gases, se tomó en cuenta los datos reportados por la

empresa desde enero del 2006 hasta diciembre del mismo año, como se pueden observar en las tablas C.3 y C.4. Se totalizó el solvente consumido en el lavador, para cada gas en estudio.

Específicamente para el caso del cloro gaseoso se tiene que se trabajó con una cantidad de 2280 cilindros y 90 lavados realizados con solución de hidróxido de sodio al 20% en peso. (ver apéndice A.1)

Del mismo modo totalizando la cantidad de cilindros y los lavados para el caso del amoníaco se tiene que según la tabla C.4, se trabaja con 853 cilindros y 45 lavados realizados.

Debido a que dicho equipo funciona por cargas, el número de lavados no depende directamente del número de cilindros que llega a la semana, sino más bien de los lotes de cilindros que llegan por día. Sin embargo dicho factor es considerado al momento de almacenar los datos del año 2006, los cuales se presentan en las tablas anteriormente nombradas.

Tomando en cuenta que el cloro requiere de una solución de hidróxido de sodio preparada al 20% para llevar a cabo su lavado, se puede calcular cual fue el consumo tanto de agua como de hidróxido de sodio para el año 2006, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 4.3. (ver apéndice A.1)

TABLA 4.3
CONSUMO DE AGUA E HIDRÓXIDO DE SODIO PARA REALIZAR EL LAVADO
DE LOS CILINDROS DE CLORO EN EL AÑO 2006

Número de lavados	Consumo (L /año)	
	Agua	Hidróxido de sodio
90	460.800	115.200

Para el caso del amoniaco, éste requiere de agua para llevar cabo su lavado, por ende a través de los datos suministrados por la tabla C.4, se puede calcular cual fue el consumo de agua generado por el lavado de dicho gas para el año 2006, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla 4.4.(ver apéndice A.1)

TABLA 4.4
CONSUMO DE AGUA PARA REALIZAR EL LAVADO DE LOS CILINDROS DE
AMONIACO EN EL AÑO 2006

Número de lavados	Consumo de agua (L/año)
45	288.000

En función de lo expuesto anteriormente, se puede observar (tal como se muestra en las Tablas 4.3 y 4.4) que la planta presenta un gran consumo de agua al año, lo cual equivale al consumo de agua de 26 personas al año, ya que Actualmente la OMS (Ocean Management Systems) establece un promedio recomendado de 80 litros de agua por persona diario (promedio).

De toda el agua que hay en la tierra, el 97,14% de la cantidad total del agua superficial, sólo el 2,59% es agua dulce. De este 2,59% otro porcentaje está atrapado en forma de casquetes polares, que es 2%. El resto de esta agua dulce es agua subterránea (el 0,592%), o es agua fácilmente accesible en lagos, aguas corrientes, ríos, etc. (el 0,014%)

Es por esto que surge la preocupación por disminuir o aprovechar el consumo de agua en el proceso de lavado de gases, disminuyendo con esto no solo el impacto ambiental que origina el abuso del uso de este recurso, sino también, los gastos por metro cúbico de agua que se originan en la empresa y los gastos de materia prima.

4.4 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE GASES CONTENIDOS EN LOS CILINDROS A EVALUAR

Al medir la cantidad de gas contenido en cada uno de los cilindros se puede observar que este varía de acuerdo a cada uno de ellos, sin seguir ningún patrón específico. (ver tablas B.3, B.4, B.5, B.6, B.7 y B.8).

A partir de los resultados obtenidos en el apéndice A.13, se puede señalar que para que se lleve a cabo un muestreo representativo de los efluentes generados del lavado de cloro, es necesario tomar 73 muestras; para el caso del lavado de amoniacó se requieren 41 muestras. Debido a limitaciones económicas de la

empresa solo se realizaron 3 muestras de cada efluente, por lo tanto dicho muestreo no es representativo estadísticamente.

Para cada lavado se calculó la cantidad total de gas que se desea absorber (ver apéndice A.2). Como se puede observar en la tabla 4.5 se tienen grandes cantidades de cloro y amoníaco a absorber; dicho valor varía dependiendo de la cantidad de cilindros a vaciar y del volumen de gas que contenido en ellos. Como se muestra en las tablas C.3 y C.4, en el año 2006 se realizaron aproximadamente 48 lavados de cloro y 96 lavados de amoníaco, representando una gran cantidad de efluentes.

TABLA 4.5
CANTIDAD DE GAS QUE SE DESEA ABSORBER PARA LLEVAR A CABO EL
LAVADO

Lavado	Número del lavado	Cantidad de gas que se desea absorber (mg ± 1) kg
Cloro en solución de hidróxido de sodio 20%	1°	303
	2°	257
	3°	156
Amoníaco en agua	1°	297
	2°	252
	3°	211

4.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL LAVADOR DE GASES

El cloro residual total, es el cloro remanente después de tratar el agua con cloro o un hipoclorito, comprende el cloro libre y el cloro combinado. Específicamente, el cloro libre es el cloro que existe en forma de ácido hipocloroso y del ión hipoclorito, mientras que el cloro combinado es el cloro que existe en combinación con un compuesto orgánico nitrogenado o en forma de compuestos de sustitución clorados con acción oxidante. (Manual de gases especiales y equipos)

De los resultados obtenidos en la caracterización de los efluentes del lavado de cloro en una solución de hidróxido de sodio que se presentan en la tabla 4.6, se puede señalar que los niveles de DBO y DQO, están dentro de los límites permitidos, empleando como patrón los vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados, de forma directa o indirecta en el lago de Valencia y red hidrográfica tributaria (decreto 3219). Sin embargo los valores de cloro residual están fuera de norma.

TABLA 4.6
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL LAVADO DEL CLORO GASEOSO EN SOLUCIÓN DE NaOH 20%

Nº de lavado	DBO (ppm)	DQO (ppm)	Cloro residual (ppm)
1º	50	315	47.147,5
2º	51	318	39.885,2
3º	50	315	24.885,2

A partir de los datos señalados en la tabla 4.6, se construyó una gráfica, donde se relaciona el cloro residual obtenido y la cantidad de gas que se desea absorber. Específicamente en el eje de las abscisas se tiene la cantidad de cloro gaseoso a absorber, mientras que en eje de las ordenadas se tiene la concentración de cloro residual en el efluente. Se puede observar la tendencia lineal de los resultados. (ver figura 4.2)

Según los datos de solubilidad de cloro obtenidos del HANDBOOK OF COMPRESSED GASES y el volumen del lavador de gases, se pudo obtener que en 6400L de solución de NaOH al 20%, se logra absorber una cantidad máxima de 944,1567Kg de cloro gaseoso.

A fin de suministrar un patrón para conocer la capacidad de absorción que se logra en el lavador de una forma rápida y aproximada, se realizó la gráfica representada en la figura 4.3., donde se utilizaron tanto los valores obtenidos en las caracterizaciones como los valores teóricos de absorción de cloro en solución de hidróxido de sodio, donde se muestra la cantidad máxima de cloro gaseoso que se puede absorber en dicho lavador antes de que se sature la solución.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

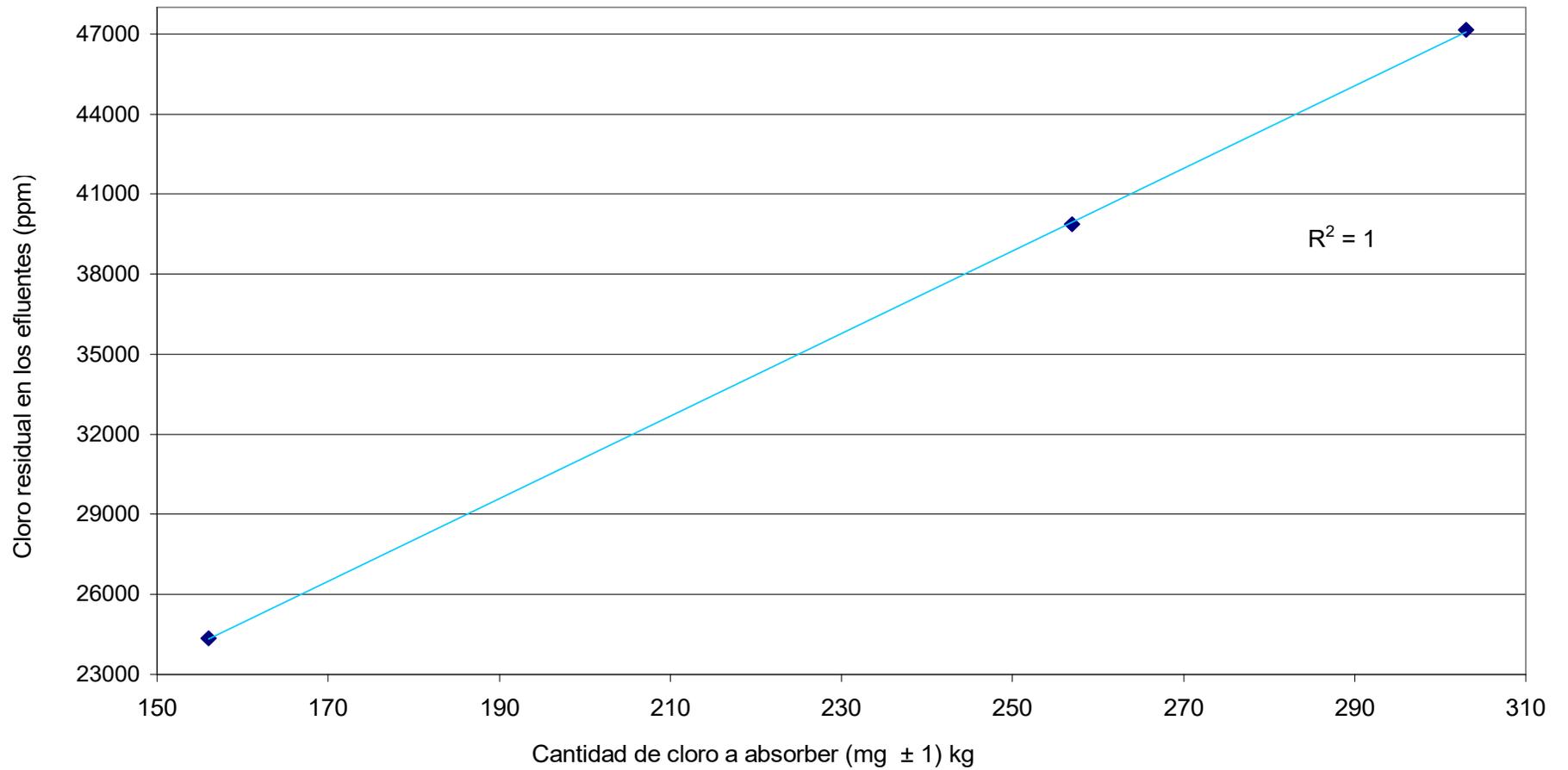


Figura 4.2. Absorción de cloro gaseoso en la solución de hidroxilo de sodio al 20%.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

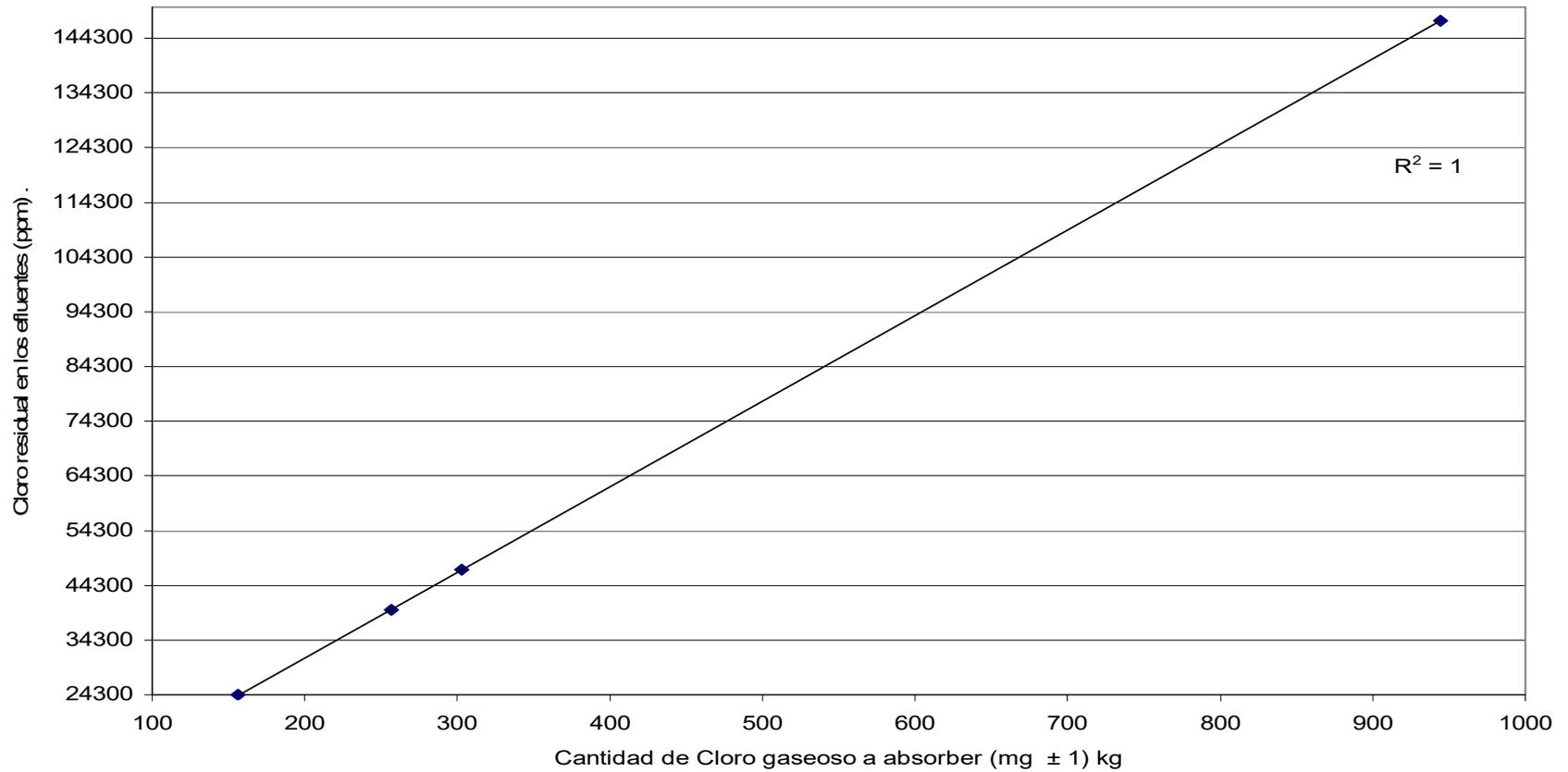


Figura 4.3. Relación máxima de absorción de cloro gaseoso en la solución de hidróxido de sodio al 20% a partir de los datos obtenidos.

Como se puede observar la cantidad máxima que se puede absorber son 147.524,4844 ppm, la cual, está muy por encima de los valores obtenidos en la caracterización, lo cual indica que no se logró saturar la solución.

Por otro lado se tiene que el nitrógeno total esta compuesto por el nitrógeno amoniacal mas el nitrógeno orgánico. Específicamente el caso del nitrógeno amoniacal es el nitrógeno combinado en forma de NH_3 o el ión amonio (NH_4^+).
(http://bvs.sld.cu/revistas/hie/vol42_2_04/hig02204.htm)

Para el caso de la determinación de la cantidad de amoníaco absorbido en agua, se realizó la prueba de nitrógeno amoniacal total en el laboratorio autorizado, arrojando los resultados de concentración de nitrógeno amoniacal que se muestran en la tabla 4.8, en donde se puede observar, los valores de DBO y DQO están dentro de la norma señalada anteriormente, mientras que el nitrógeno amoniacal esta fuera de la misma.

TABLA 4.7
RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL LAVADO DEL AMONIACO GASEOSO EN AGUA

Nº de lavado	DBO (ppm)	DQO (ppm)	Nitrógeno amoniacal (ppm)
1º	52	345	46.228,8
2º	50	348	39.317,0
3º	51	340	32.843,7

Fuente: datos suministrados por el laboratorio autorizado por el empresa.

Similarmente al caso del lavado de cloro, se construyó una grafica con la cantidad de gas que se desea absorber y el nitrógeno amoniacal obtenido en cada lavado. Como se muestra en la figura 4.4, se obtiene una tendencia lineal.

Posteriormente a partir de los datos obtenidos del HANDBOOK OF COMPRESSED GASES, se puede obtener la mayor cantidad de amoníaco que se

absorbe en agua, tomando en cuenta el volumen disponible del lavador, obteniéndose una cantidad máxima de 3348,5824 Kg. de amoníaco en 6400 L de agua.

Como aporte a la empresa se realizó la grafica representada en la figura 4.5, donde se proyecta la tendencia de la figura 4.4, pero tomando en cuenta el dato de saturación para el volumen total de agua, con el fin de que sirva de patrón para conocer rápidamente la concentración aproximada de nitrógeno amoniacal de los efluentes generados en cada lavado de gases.

Como se puede observar en la figura 4.5 la cantidad máxima de amoníaco que se puede absorber en el lavador son 523.216 ppm, la cual, está muy por encima de los valores obtenidos en la caracterización, lo cual indica que no se logró saturar la solución.

Es importante señalar que los valores obtenidos tanto para el nitrógeno amoniacal como para el cloro residual están muy por encima de los límites y rangos máximos permitidos para los vertidos líquidos que son descargadas, es por ello que se desea encontrar una reutilización, aprovechamiento o tratamiento que permitan darle una disposición final a las mismas a fin de disminuir el impacto que ellas generan

Por otro lado se calculó la eficiencia de absorción que se logra en el equipo de lavado de gases, tomando en cuenta la cantidad de gas a absorber y los valores obtenidos en la caracterización como se puede observar en el apéndice A.3, obteniendo altos valores de eficiencia cuando se trabaja con ambos gases (ver tabla 4.8)

TABLA 4.8
EFICIENCIA DEL LAVADOR DE GASES

Gas	Eficiencia (E ± 0,1)%
Cloro	99,6
Amoníaco	99,7

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

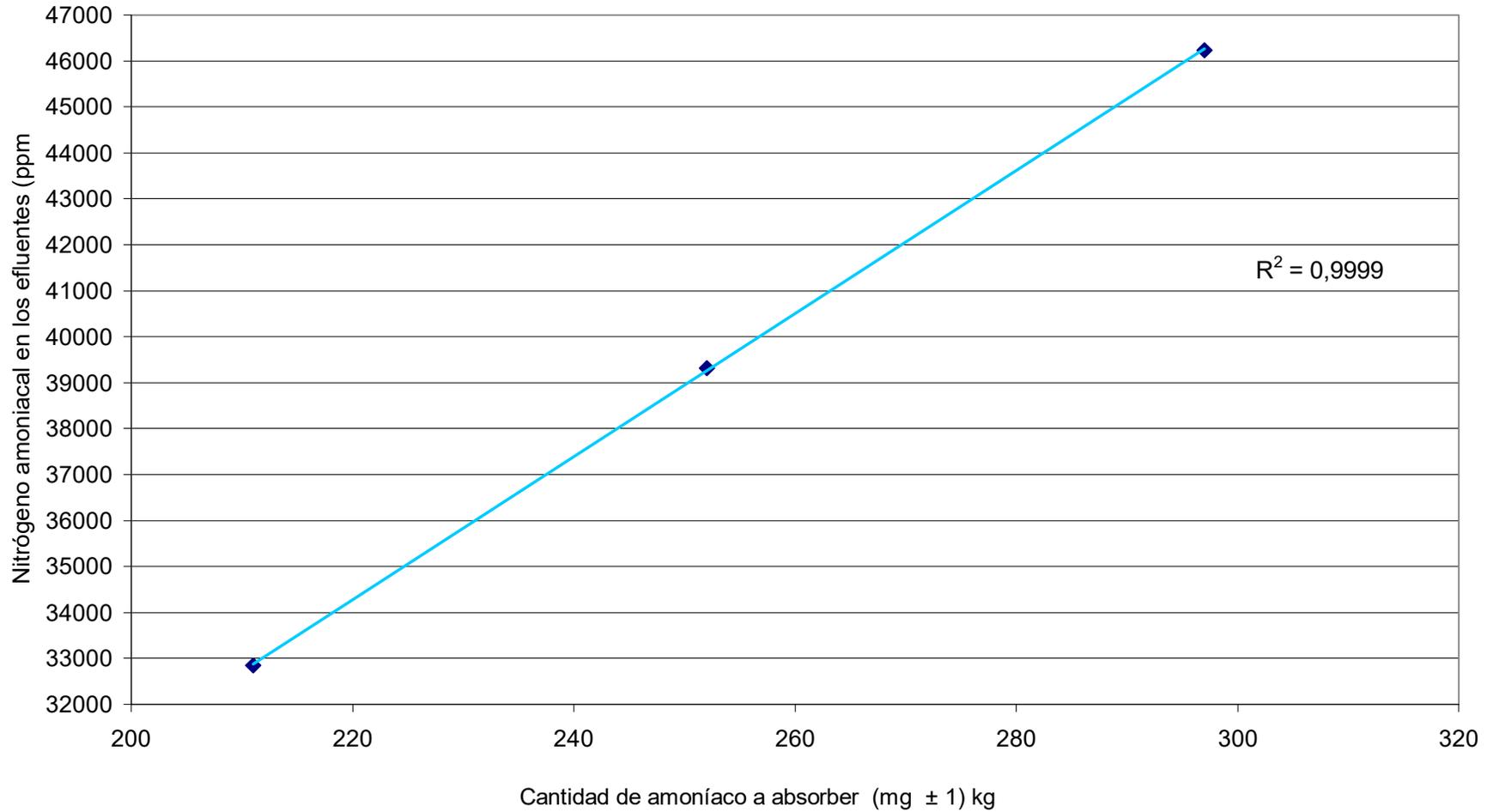


Figura 4.4. Absorción de amoníaco en agua.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

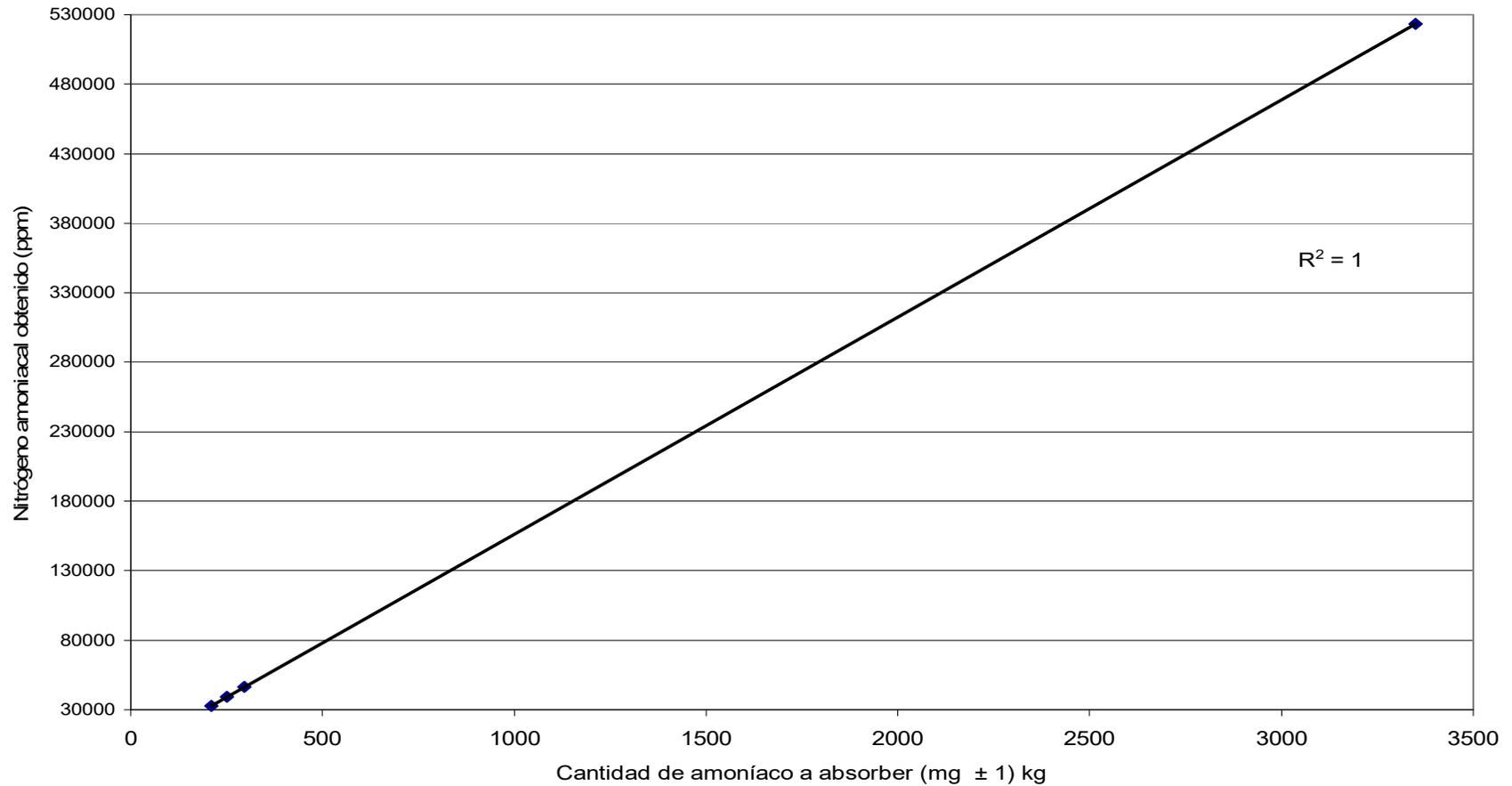


Figura 4.5. Relación máxima de absorción de amoníaco gaseoso en agua a partir de los datos obtenidos y los datos teóricos.

Como se puede observar en la tabla 4.8, se tiene un alto nivel de eficiencia en el lavador obteniéndose una desviación estándar de $(0,23 \pm 0,08)$ con respecto a las eficiencias obtenidas para cada lavado (ver apéndice A.4); asegurando así la menor cantidad de emisiones de dichos gases al ambiente, debido a que los gases con que se trabajan son altamente tóxicos y contaminantes.

.Con respecto al DBO y al DQO, los resultados muestran que dichos parámetros están dentro de la norma, tomando como referencia las concentraciones máximas permitidas para la disposición de dichas aguas en el lago de Valencia, por ende dicho parámetro no son limitantes para el tratamiento de los efluentes.

4.6 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES.

Considerando los antecedentes, la caracterización y equipos existentes en la empresa, se generaron las siguientes alternativas de aprovechamiento de los efluentes.

4.6.1. EFLUENTE PROCEDENTE DEL LAVADO DE LOS CILINDROS DE CLORO

Con base a que este efluente contiene cloro se presentan las siguientes alternativas para su aprovechamiento.

4.6.1.1. REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE COMO AGUA DE RIEGO.

Debido al alto contenido de cloro residual que contienen los efluentes, si se desea reutilizar, como agua de riego, es necesario adecuar los parámetros que estén fuera de norma.

Para este caso es recomendable la filtración sobre carbón activado, lo cual logra la decoloración, a fin de cumplir con las funciones de eliminar la materia orgánica y el

cloro residual a través del mismo lecho de filtrado. Las características generales del sistema de filtración sobre carbón activado son las siguientes:

Se requiere una columna como medio de contacto entre el efluente y el carbón activado, utilizando el carbón en forma granular por sus propiedades de destruir el cloro libre residual y su facilidad de regeneración por oxidación de la materia orgánica. (Ver apéndice C.5)

Para el sistema de filtrado, se recomienda el uso de dos unidades de filtración conectadas en serie, para realizar operaciones de mantenimiento en una de ellas para la extracción y regeneración del carbón activado si este fuera el caso, mientras que la otra unidad sigue en funcionamiento.

El proceso de absorción de contaminantes clorados del agua requiere de un adecuado tiempo de contacto entre el agua y el carbón activado. Dependiendo de la aplicación y de los compuestos orgánicos presentes en el agua, el mínimo tiempo de contacto que se requiere para su remoción puede ser de unos 5 a 30 minutos, en tanto que otras citas mencionan un tiempo de contacto de 2 minutos si solamente hay que eliminar cloro.(Metcalf)

Es necesario tomar en cuenta el retrolavado de dichos filtros, para controlar la limpieza de ellos. Usualmente se usa una bomba de retrolavado para revertir el flujo. Y logra limpiar la superficie de la membrana, es decir, eliminar el cloro u otras impurezas. El efluente de esta operación va al desagüe.

En la figura 4.6 se presenta un diagrama de bloque que muestra las etapas requeridas para la instalación de un sistema de filtrado a fin de eliminar los contaminantes clorados del agua.

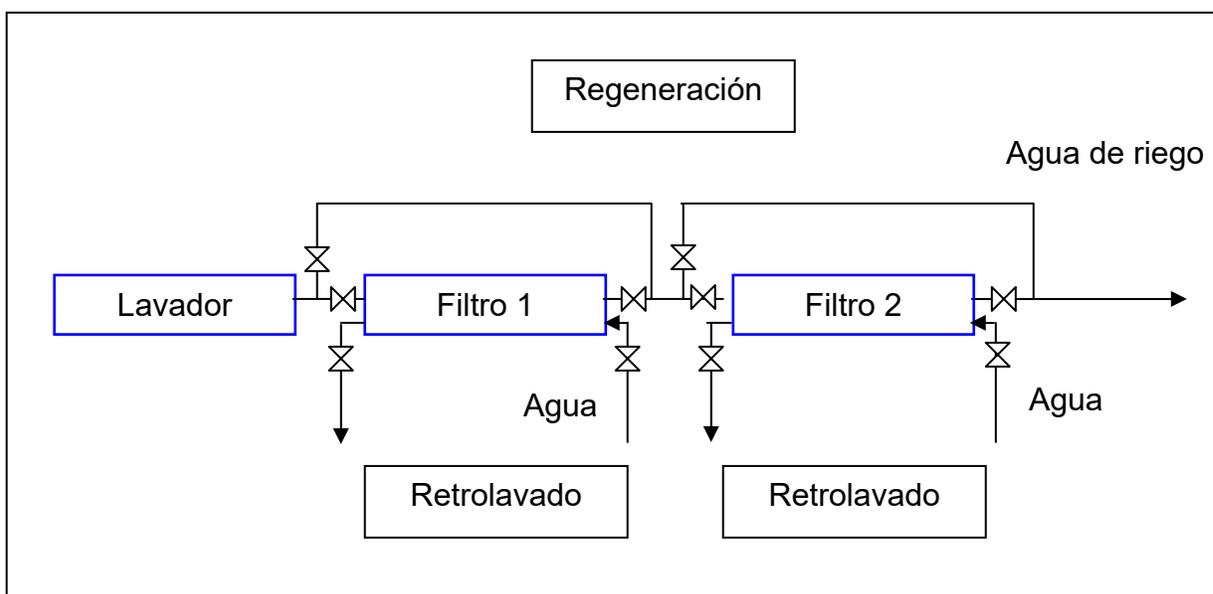


Figura 4.6. Diagrama de bloque de la opción tratamiento con filtros de carbón activado de la lejía obtenida al lavar el cloro gaseoso en solución de hidróxido de sodio al 20%

4.6.1.2. VENTA DE LEJÍA PARA USO COMERCIAL

Según los datos reportados en la tabla 4.6, se puede observar la alta concentración de cloro residual que se logra en el efluente de lavado cloro gaseoso, de allí sale la propuesta de comercializar dicho efluente como lejía.

Comercialmente se conocen las lejías como soluciones de hipoclorito sódico, estas contienen una concentración de cloro no inferior a 35g/L y no superior a 100g/L. Cuando las lejías contiene de 35 g/L a 60 g/L de cloro y una alcalinidad total máxima (expresada en óxido de sodio) del 0.9% en peso, sólo estas pueden utilizarse para la desinfección de agua de bebida. Mientras que para utilizarla como desinfectante las concentraciones de hipoclorito sódico son de (0.1%-1%). Lejías concentradas contienen de 60 g/L a 100 g/L y una alcalinidad total máxima de 1.8% en peso.

A pesar de que la concentración obtenida en los efluentes no es constante, esto no es una limitación para su venta, debido a que ésta se encuentra lo suficientemente

concentrada por lo que se podría realizar diluciones, luego de ser vendidas. A partir de la figura 4.3 se logra conocer la concentración de la solución obtenida. En el mercado se comercializa de acuerdo a su concentración como se muestra en la tabla 4.10. Dicho costo incluye el transporte de los efluentes, por medio de tanques suministrados por los compradores

TABLA 4.9.
COTIZACIÓN PARA LA VENTA DE LEJÍA

Concentración (ppm)	Costo (BsF/L)
20.000 – 30.000	0,10
30.000 – 60.000	0,15

Fuente: datos suministrados por la empresa.

Es importante señalar que se debe realizar el despacho del efluente cada vez que se lleve a cabo un lavado, debido a que el hipoclorito tiene un alto grado de degradación al dejarlo en contacto con la luz solar, es por esto que las pruebas realizadas por la empresa determinaron que la adición de la cal puede producir un incremento en el valor de pH hasta 10,5, lo cual resulta suficiente para estabilizar la solución de hipoclorito en el campo.

Se estableció que la cantidad necesaria de cal viva es de 3 gramos por litro (según datos suministrados por la empresa). La estabilización de la solución debe efectuarse inmediatamente después que se ha culminado la producción. Luego de la aplicación de la cal debe dejarse reposar la solución un tiempo suficiente para lograr el asentamiento de las partículas sedimentables, luego del cual se procede al envasado del desinfectante. Sin embargo si el despacho de dicho efluente se hace de manera inmediata luego de cada lavado no es necesario agregar cal.

De acuerdo a la información recopilada en la empresa (tabla B.3), se puede decir que en promedio, semanalmente se realizan 2 lavados correspondientes al cloro

gaseoso en solución de hidróxido de sodio al 20%, lo cual representa 12.800 L de lejía a la semana. Al relacionar dicho valor en la tabla 4.10, se puede observar que dicha venta implica un beneficio económico representativo a la empresa y del mismo modo también se logra mantener el medio ambiente, dándole un uso a dicho efluente logrando un beneficio económico y ecológico.

4.6.2. EFLUENTE PROCEDENTE DEL LAVADO DEL LAVADO DE AMONIACO.

Para la solución amoniacal obtenida en la absorción de amoniaco en agua, se pueden señalar estos 3 posibles alternativas, a fin de lograr su aprovechamiento y disposición final. Debido al alto contenido de nitrógeno amoniacal de los efluentes se estudiarán 2 posibles tratamientos para adecuar dichos parámetros, y se considera la propuesta de vender dicho efluente.

4.6.2.1. REUTILIZACIÓN COMO AGUA DE RIEGO.

Debido al alto contenido de nitrógeno amoniacal que contienen los efluentes, si se desea reutilizar dichas efluentes, como agua de riego, es necesario adecuar los parámetros que estén fuera de norma, para ello se propone intercambio iónico con zeolitas y nitrificación y desnitrificación.

4.6.2.1.1. INTERCAMBIO IÓNICO CON ZEOLITAS

El intercambio iónico con zeolitas, se lleva a cabo a través de un filtro, cuya función es eliminar los iones amonios contenidos en el efluente.

Para este tratamiento se requiere una columna como medio de contacto entre el efluente y la zeolitas, con resinas sintéticas, debido a su alta durabilidad. Para el sistema de filtrado, se recomienda el uso de dos unidades de filtración conectadas en serie, para realizar operaciones de mantenimiento en una de ellas para la extracción y regeneración de la zeolita, mientras que la otra unidad esté en funcionamiento. Este

proceso de absorción que requiere de un adecuado tiempo de contacto entre el efluente y la zeolita. Considerando el alto contenido de amoniaco en el efluente se espera que dichos tiempos sean grandes.

Para que esta alternativa resulte económica, sería conveniente emplear regeneradores. Entre los restauradores mas usados están hidróxido de sodio, el ácido hidrocólico, el metanol y la bentonita. Debido a que en dicha empresa hay disponibilidad de hidróxido de sodio, éste sería el regenerador a utilizar. Es importante señalar que se requieren grandes cantidades de regenerador para realizar dicho proceso.

.En la figura 4.7 se muestran las etapas requeridas para la instalación de dicha alternativa a fin de aprovechar los efluentes generados por el lavado del amoniaco, utilizándolos como agua de riego.

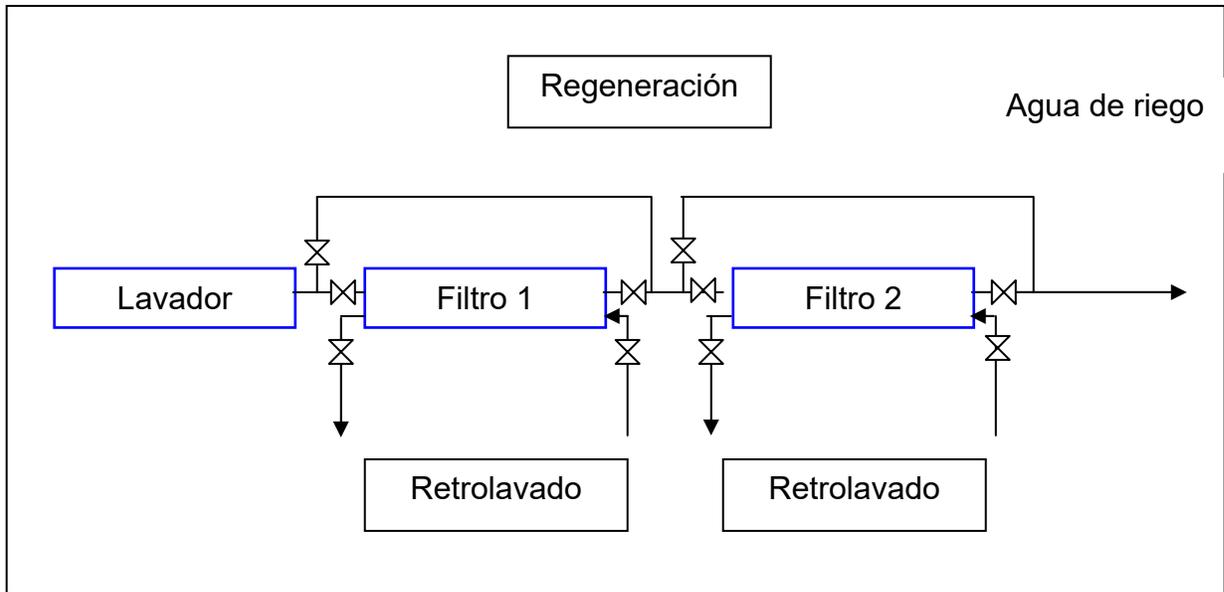


Figura 4.7. Diagrama de bloque de la opción tratamiento con filtros de zeolitas al agua amoniaca obtenida al lavar el amoniaco en agua

4.6.2.1.2. TRATAMIENTO DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN

Al considerar dicha alternativa se tomó en cuenta la implementación de un reactor discontinuo secuencial en el cual podría procesarse los efluentes por medio de un tratamiento biológico aeróbico-anóxico, basado en la generación de lodos activados por medio de aireación y disminución de nutrientes en etapa anóxica.

Dicho método presenta: elevado rendimiento potencial de eliminación; alta estabilidad y fiabilidad; relativa facilidad de control del proceso de dos etapas. En la primera de ellas, el amoníaco se transforma por vía aerobia a nitrato (nitrificación). En la segunda etapa, los nitratos se convierten a nitrógeno molecular (desnitrificación).

Es importante señalar que las fases con las que trabaja dicho reactor son llenado, mezcla anaeróbica, mezcla aeróbica, mezcla anóxica, sedimentación, vaciado. Para poder llevar a cabo la desnitrificación en la fase anóxica, es necesario disponer de una fuente e carbono, ya sea externa o por respiración endógena de la biomasa presente. La duración total del ciclo puede variar entre 3 y 24 horas. (Ver apéndice C. figura C.1)

Con respecto al lodo, este podría ser el producto de desperdicio de diversas empresas, sin embargo, es necesario controlar la cantidad de lodo presente en el reactor. Para ello se utiliza una técnica experimental, en la cual a través de una muestra tomada del tanque con un cilindro graduado de 1L, se mide el nivel de lodo, si éste se encuentra entre 25 – 35% de la capacidad del cilindro, el lodo esta en condiciones optimas, de lo contrario se debe modificar a fin de garantizar dicha condición.

En la figura 4.8 se muestran el diagrama de bloque con las etapas requeridas para la instalación de un reactor discontinuo secuencial para llevar acabo la nitrificación – desnitrificación del efluente

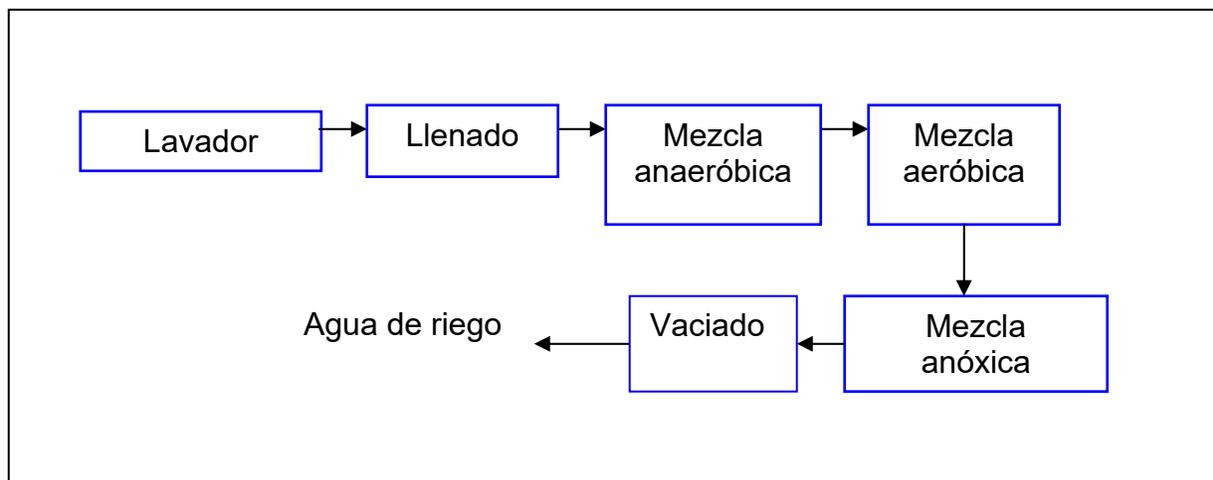


Figura 4.8. Diagrama de bloque de la opción tratamiento biológico de nitrificación - desnitrificación al agua amoniacal obtenida al lavar el amoniaco en agua.

4.6.2.2. VENTA DE AGUA AMONICAL

Debido al alto contenido de nitrógeno amoniacal obtenido en el efluente evaluado, se propone comercializar dicho efluente. A pesar de que la concentración obtenida en los efluentes no es constante, esto no es una limitación para su venta, solo se necesitará establecer la concentración de la solución antes de ser vendida, la cual puede ser calculada teóricamente a través de la figura 4.5.

Para establecer el precio de venta del agua amoniacal, se consultó con el personal de la empresa el cual sugirió 50 Bs/L, cuando dicho efluente contenga un mínimo 10.000 ppm.

El agua amoniacal es utilizada por empresas que requieren aumentar el pH, en alguna sección de su proceso, del mismo modo se debe considerar que dichas aguas tiene un gran contenido de nitrógeno, por ende se debe utilizar en procesos que deseen aumentar pH, pero que el nivel de nitrógeno no sea perjudicial. Entre algunos de los procesos que requieren agua amoniacal están los que poseen las empresas de refrescos, por lo cual constituyen clientes potenciales para la compra de esta solución.

De acuerdo a la información suministrado por las empresas en promedio, semanalmente se realizan 1 lavado de los cilindros de amoniaco, lo cual representa 6400 L de agua amoniacal a la semana. Debido a las características del agua amoniacal, esta no se degrada, por lo tanto se necesita acondicionar un tanque para almacenar el agua amoniacal y realizar despachos semanales del efluente. Para esto la planta cuenta con un recipiente cilíndrico con las características que se presentan a continuación en la tabla 4.10:

TABLA 4.10
CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA EL AGUA AMONICAL

Característica	
Largo (m)	4,25
Diámetro (m)	2
Material	Hierro

Fuente: datos suministrados por la empresa.

A partir de dichos datos, se obtiene que el volumen del tanque es de $13,3518 \text{ m}^3$ (ver apéndice A.5), al relacionar dicho valor con la producción aproximada de 6.400L semanales, se debe hacer una distribución de los efluentes cada 15 días aproximadamente, para asegurar que haya espacio disponible para el almacenamiento del agua amoniacal procedente.

Del mismo modo se debe instalar una tubería que logre realizar el llenado del tanque directamente desde el lavador (ver figura 4.9). Las tuberías serán de PVC, debido a la naturaleza del efluente y tomando en cuenta que las tuberías de PVC son resistentes y muy durables, además que no se corroen como otros materiales y no requieren limpieza, pintura o reposición frecuente. Adicionalmente el PVC es inherentemente reciclable en nuevas o similares aplicaciones.

Adicionalmente se considera que para realizar el bombeo de la solución al tanque de almacenamiento se requiere de una bomba, como se muestra en la figura 4.9.

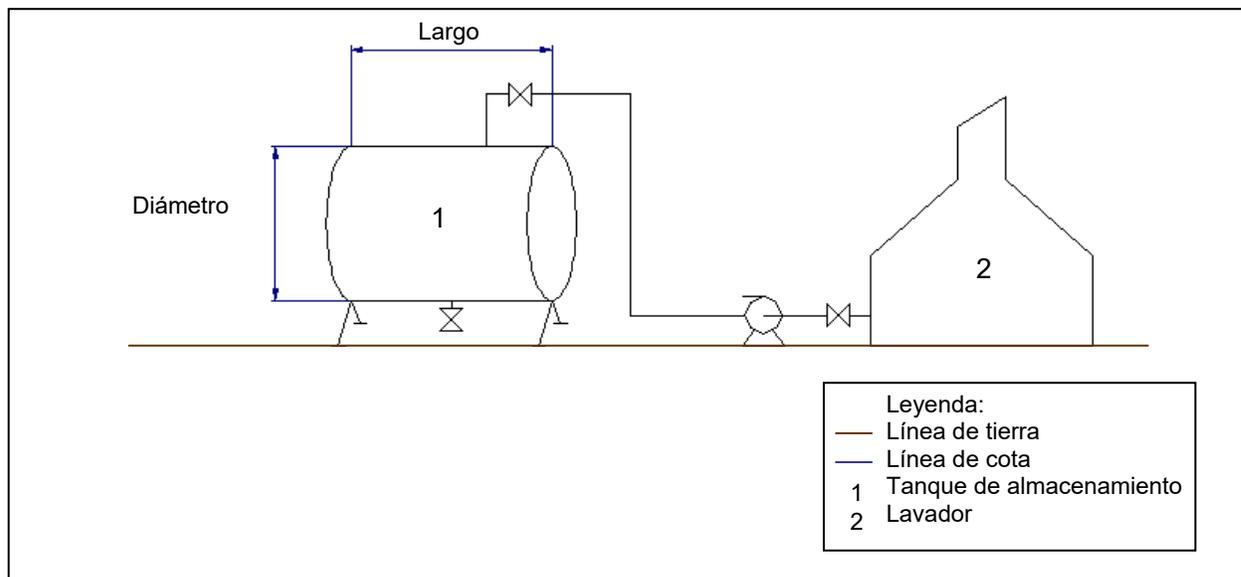


Figura 4.9. Diagrama del sistema para la opción de la venta del agua amoniacal.

Para el posible acondicionamiento del tanque para almacenar el agua amoniacal se debe: lijar y posteriormente aplicarle 2 capas de pintura, una de ellas con cromato zinc y la posterior con pintura epoxy. Según los datos brindados por la empresa el tanque debe estar pintado de color naranja de acuerdo con los parámetros COVENIN.

4.7 SELECCIÓN DE LAS MEJORES ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL EQUIPO DE LAVADO DE GASES.

Para ello se realizó una matriz para cada efluente a tratar.

4.7.1. EFLUENTES PROCEDENTES DEL LAVADO DE LOS CILINDROS DE CLORO.

Como se puede observar en la tabla 4.11, la ganancia que genera la opción de vender la lejía está calificada con la mayor puntuación, debido a que dicha venta

representa un beneficio económico sin tener que realizar una inversión inicial, y sin tener que realizarle ningún tipo de tratamiento a dicho efluente. Por otro lado, la opción de tratamiento con carbón activado esta calificada con baja puntuación debido a que no representa ganancias monetarias directas a la empresa y requiere de costos adicionales por la compra del carbón y los filtros.

Al evaluar la opción de la venta de lejía con respecto al espacio disponible en la planta, ésta fue calificada con la mayor puntuación, debido a que dicha distribución se lleva a cabo directamente del lavador, cada vez que se realice un lavado con cisternas o tanques suministrados por los compradores, por lo cual no requiere de espacio en la planta para su implementación. Por otro lado la implantación de filtros de carbón activado requieren de un espacio significativo en la planta, por ende fue calificado con baja puntuación. Es importante señalar que debido al alto contenido de cloro residual se requieren de grandes cantidades de carbón y de altos tiempos de contacto entre el efluente y el carbón.

Al evaluar la venta de lejía con respecto a la facilidad de implementación, ésta fue calificada con la mayor puntuación, debido no requiere de equipos, ni el control de los operarios para llevarse a cabo, además de que todos los implementos necesarios para su transporte viene dados por los compradores, lo único que se requiere es de una buena comunicación y planificación con los compradores, para lograr que la distribución se realice cada vez que se termine un lavado. Sin embargo el caso de los filtros de carbón activado, fue calificado con una puntuación regular, debido a que gracias al alto contenido de cloro residual se deben proponer cambios a la empresa en el proceso de lavado, con respecto a la cantidad de cloro que se absorbe en la solución de hidróxido de sodio, a fin de que el contenido de cloro residual en el efluente sea menor, y requiera equipos de menor tamaño y bajos tiempos de contacto entre el carbón y el efluente logrando una alta eficiencia para disminuir el parámetro deseado.

TABLA 4.11

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL USO O DISPOSICIÓN FINAL DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL LAVADOR DE GASES A PARTIR DEL CLORO GASEOSO.

Factor	Ponderación	Alternativas			
		Venta de lejía		Agua de riego (filtración con carbón activado)	
		V	Pp	V	Pp
Ganancia generada	60	9	540	1	60
Espacio físico disponible en la planta	20	9	180	1	20
Facilidad de implementación	10	9	90	3	30
Costos de implementación	10	9	90	3	30
TOTAL	100%		900		140

V: Valor

Pp: ponderación puntual

Por último con respecto a los costos de implementación se calificó la venta de la lejía con una alta puntuación, debido a que dichos costos son nulos. Al evaluar la alternativa de filtración con carbón activado, se puede observar que a pesar que la empresa posee dicho material, se requiere de una inversión inicial significativa para la compra o construcción de los filtros, así como también del sistema de regeneración o retrolavado del carbón, por ende fue calificado con una puntuación regular.

De acuerdo a los datos obtenidos en la matriz 4.12, se puede observar que la alternativa mas adecuada para el aprovechamiento de los efluentes es la venta de lejía, obteniendo un total de 900 puntos.

4.7.2. EFLUENTES PROCEDENTES DEL LAVADO DE LOS CILINDROS DE AMONIACO.

Para la escogencia de la mejor alternativa para el aprovechamiento del agua amoniacal obtenida, se realizó una matriz de selección de doble entrada (tabla 4.12). Siguiendo con los mismos parámetros utilizados para el aprovechamiento de la lejía. Como se puede observar, la ganancia que genera la opción de vender el agua amoniacal esta calificada con la mayor puntuación, debido a que dicha opción representa un beneficio económico constante, sin tener que realizarle ningún tipo de tratamiento a dicho efluente. Por otro lado, las opciones de tratamiento con zeolitas y nitrificación – desnitrificación están ponderadas con bajas puntuaciones, debido a que no representan ganancias monetarias directas a la empresa.

Al evaluar el espacio físico disponible en la empresa es importante señalar que para las opciones de tratamiento tanto con filtros de zeolitas como del reactor discontinuo secuencial fueron ponderadas con puntuaciones bajas, debido a que actualmente en la empresa no hay espacios disponibles para la implementación de dichos equipos. Para el caso de la venta del agua amoniacal, se ponderó con una puntuación regular, debido a que para llevar a cabo dicha alternativa, se debe

acondicionar un espacio en la empresa para colocar un tanque de una capacidad elevada, a fin de almacenar la solución para luego ser despachada.

Debido a las grandes cantidades de nitrógeno amoniacal que se desean eliminar se requieren equipos de gran tamaño. Otra opción es la modificación del sistema de lavado, limitando la cantidad de amoniaco a lavar, es decir, disminuyendo la cantidad de amoniaco gaseoso a absorber en cada lavado, a fin de disminuir la concentración de los efluentes a tratar, sin embargo esta opción provocaría un aumento del consumo de agua para la empresa, por ende fue rechazada.

Los costos de implementación de las alternativas referentes al tratamiento de dichas efluentes son elevados, por ende se le calificó con una puntuación baja. Debido a que requieren tanto de equipos especiales, como de reactivos para llevar a cabo dichos procesos. Sin embargo la opción relacionada con la venta del agua amoniacal se ponderó con una puntuación alta, debido a que solo requiere el acondicionamiento del tanque que ya posee la empresa, y el proceso se lleva a cabo con una baja inversión inicial.

Con respecto a la facilidad de implementación las opciones de tratamiento tanto con el filtro de zeolitas como con el reactor discontinuo secuencial, obtuvieron bajas puntuaciones, debido a que se requiere de personal calificado, materiales y sistema de control para llevar acabo dichos procesos. Para el caso de la venta de agua amoniacal se ponderó con una puntuación regular debido a que a pesar de que la empresa posee los equipos necesarios para su almacenamiento, se requiere de un estudio de mercado avanzado a fin de buscar donde hay mayor mercado de venta de dicho efluente a fin de organizar la distribución.

De la matriz 4.12 se obtiene que la alternativa de vender el agua amoniacal es la mas apropiada par el aprovechamiento de los efluentes generados por el lavado de amoníaco en agua, presentando un total de 740 puntos.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

TABLA 4.12

MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL USO O DISPOSICIÓN FINAL DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL LAVADOR DE GASES A PARTIR DEL AMONIACO GASEOSO.

Factor	Ponderación	Alternativas					
		Agua de riego (intercambio iónico con zeolitas)		Agua de riego (Tratamiento de nitrificación y desnitrificación)		Venta de agua amoniacal.	
		V	Pp	V	Pp	V	Pp
Ganancia generada	60	1	60	1	60	9	540
Espacio físico disponible en la planta	20	3	60	3	60	5	100
Costos de implementación	10	1	10	1	10	5	50
Facilidad de implementación	10	1	10	1	10	5	50
TOTAL	100%		140		140		740

V: Valor

Pp: ponderación puntual

4.8 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

A partir de los datos proporcionados por la empresa en el año 2006 y los costos de implementación de cada alternativa seleccionada, se logra verificar la factibilidad de implementación de cada uno de ellos.

4.8.1. EFLUENTES PROCEDENTE DEL LAVADO DE LOS CILINDROS DE CLORO.

Como se puede observar en la tabla B.3, la cantidad de lavados realizados en el año 2006 varía desde 7 hasta 9 lavados mensuales. Al sacar un promedio de dichos valores, se obtiene que la cantidad de lavados mensuales considerados para el año 2007 es de 8 (ver apéndice A.6). Por ende se tiene una cantidad de 96 lavados anuales, dicho valor se considera, a fin de cuantificar las ganancias relacionadas a la venta de dicho efluente.

La cantidad de hidróxido de sodio requerido para realizar los 96 lavados anuales es de 122.880L, mientras que la cantidad de agua es 491.520L (ver apéndice A.1). De acuerdo a los costos de dichas sustancias (ver tabla 4.2) y las cantidades requeridas, se logra obtener que los gastos involucrados en la realización de los lavados es de 52.285,44 BsF. (ver apéndice A.7)

Se estableció que el precio de venta de la lejía dependería de la concentración con que se obtenga la misma. Para la evaluación de dicha alternativa, se tomará la situación mas crítica, asumiendo que toda la lejía producida posee un valor de concentración entre 20.000 y 30.000 ppm, por ende se tiene un precio de venta de 0,10 BsF/L (ver tabla 4.10)

Los ingresos brutos en el año 2007, por la venta del efluente procedente del lavado de los cilindros con cloro, vienen relacionados entre el volumen de efluente producido y el precio de venta del mismo, como se puede observar en el apéndice A.8,

obteniéndose que se logra un ingreso total anual 61.440,00 BsF. La ganancia anual es de 9.154,50 BsF (ver apéndice A.9). Por lo tanto dicha alternativa a pesar de que no disminuye el consumo de agua en el proceso logra beneficios económicos en la empresa, por lo tanto es factible su implementación. A pesar de que solo se tiene un beneficio económico de aproximadamente 9 mil bolívares fuertes, se logra recuperar el dinero invertido en los solventes necesarios para llevar a cabo el lavado, impidiendo que se generen pérdidas económicas en dicho equipo.

Es de resaltar que actualmente se tiene una pérdida de aproximadamente 53 mil bolívares fuertes en dicho proceso, con la implementación de la venta de lejía se logra cubrir dicha inversión en solvente generado además una ganancia adicional de aproximadamente 9 millones de bolívares.

4.8.2. EFLUENTES PROCEDENTES DEL LAVADO DE LOS CILINDROS DE AMONIACO.

La cantidad de solvente requerido para realizar dichos lavados es de 307.200L de agua para el año 2006. De acuerdo a los costos de dichos solventes (ver tabla 4.2) y las cantidades requeridas, se logra obtener que los gastos involucrados en la realización de los lavados es de 7.680,00 BsF. (ver apéndice A.7)

Se estableció que el precio de venta del agua amoniacal sería de 0,05 Bs/L. Asumiendo que toda el agua amoniacal producida esta dentro de la concentración mínima requerida para su venta (10.000 ppm).

Los ingresos brutos de la empresa en el año 2007, vienen relacionados entre el volumen de efluente producido y el precio de venta del mismo, como se puede observar en el apéndice A.8, obteniéndose que se logra un ingreso total anual de 15.360,00 BsF.

Para la implementación de dicha alternativa es necesario el acondicionamiento del tanque, el cual requiere de una inversión inicial. Para el caso del lijado, se requiere

de un esmeril, el cual esta a disposición de la empresa, por lo tanto no representa un gasto adicional de dinero. Con respecto al precio de las pinturas, se obtuvieron los siguientes resultados

TABLA 4.13
COSTOS DE PINTURA REQUERIDO PARA EL TANQUE
DE ALMACENAMIENTO

Tipo de pintura	Costos (BsF/gal)
Epoxy	70
Cromato zinc	80

Fuente: datos suministrados por la empresa.

A partir de los resultado señalados en el apéndice A.10, se tiene una superficie del tanque de $53,407\text{m}^2$, y se conoce que 1 gal de pintura rinde para 20 m^2 , se logra medir la cantidad de galones que se requieren comprar son 2,7 gal, redondeando el valor se requiere de 3 gal de cada una de las pinturas para recubrir el tanque.

Considerando la cantidad de pintura requerida y el precio de la misma, se obtiene el costo total por la adquisición de pintura, arrojando un valor de 450,00 BsF (ver apéndice A.10).

De acuerdo con lo señalado en la figura 4.10, se tiene un total de 11,3 m, de tubería. Considerando que la tubería es de PVC de 1,5pulg y que el precio de la misma es de 12,9 BsF por 6 m. A pesar de que se requieren únicamente 11,3 m de tubería, se considera el costo de 12 m de tubería. Con dichos valores se obtiene un gasto de 25,8 BsF por la incorporación del sistema de tuberías. (ver apéndice A.11). Con respecto al sistema de tuberías y bombeo de la misma se tiene el sistema señalado en la figura 4.12.

CAPÍTULO IV: Presentación y Análisis de resultados

De acuerdo al apéndice A.11 se obtiene que las válvula tienen un costo total de de 365,50 BsF. Del mismo modo debido a los requerimientos de codos de 90° en el sistema se requiere de un gasto de 14.20 BsF.

Tomando en cuenta tanto la tubería como los accesorios en ella se tiene un gasto de 405.5 BsF (ver apéndice A.11), para la implementación del sistema mostrado en la figura 4.10.

Con respecto a la bomba debido a las disposiciones de la empresa se utilizara una bomba de 2HP que está disponible.

De los ingresos y de los gastos anteriormente señalados para la implementación de dicha alternativa se tiene una ganancia anual de 6.824,5 BsF (ver apéndice A.12), por lo cual la implementación de dicha alternativa es altamente factible, debido a que a pesar de que no disminuye el consumo de solvente, logra proporcionar un beneficio económico a la empresa, y se logra utilizar de dichos efluentes sin afectar el medio ambiente.

Considerando que el lavado de gases no es un proceso constante, a partir de esta investigación se asegurar que la venta de agua amoniacal presenta grandes beneficios a la empresa, sin embargo debido a que requiere de una inversión inicial, se considera que mientras la empresa realice al menos 3 lavados anuales se recupera la inversión inicial y se comienzan a generar ganancias.

Adicionalmente se debe tener un control del número de lavados a realizar debido a que la capacidad del tanque limita el almacenamiento del agua amoniacal. Es importante señalar que el tanque permite el almacenamiento del efluente generado por 2 lavados de amoniaco, por lo tanto se debe adaptar la distribución del agua amoniacal para la venta, dependiendo de la cantidad de lavados realizados.

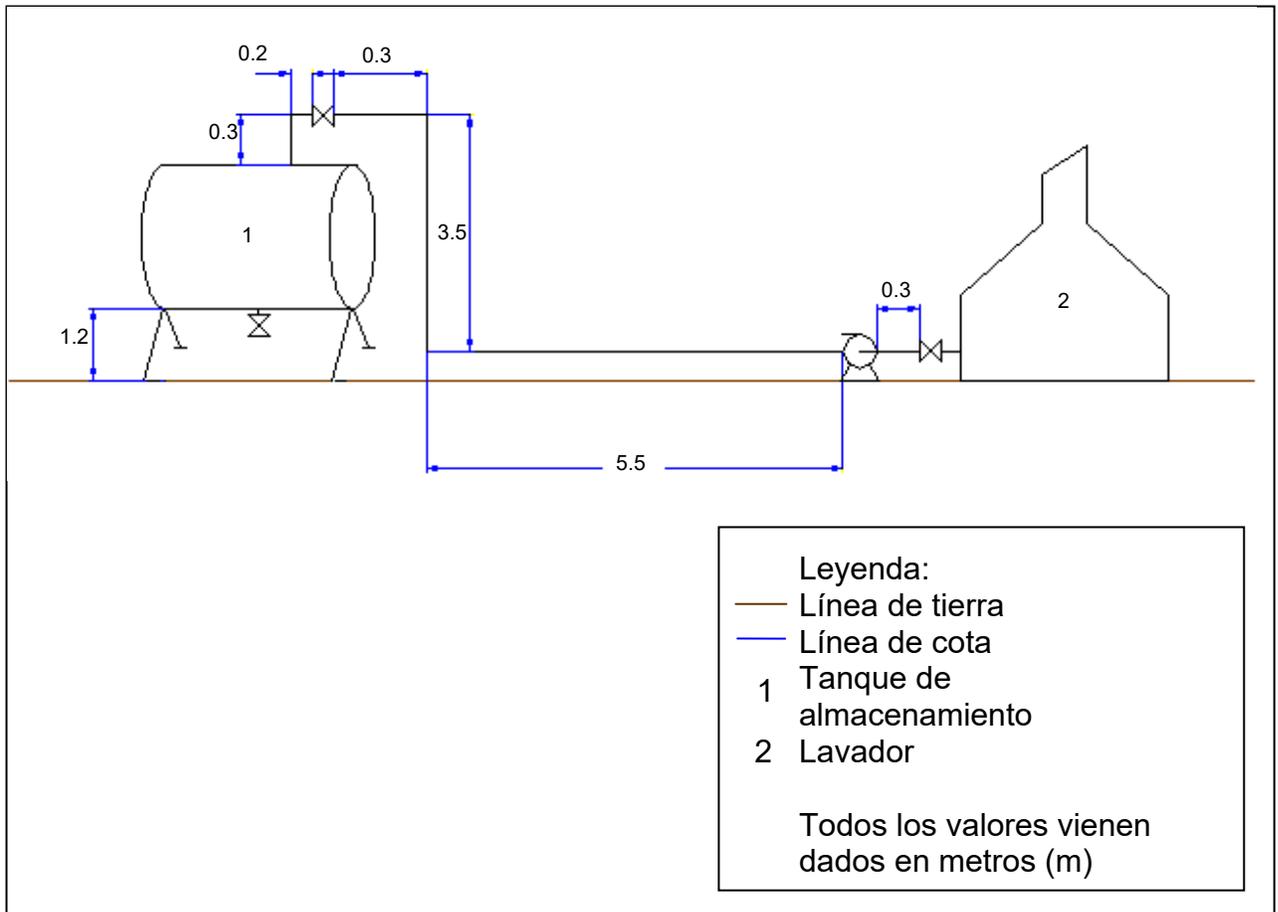


Figura 4.10. Diagrama del sistema de tubería para el almacenamiento del agua amoniacal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección, se exponen las conclusiones y recomendaciones provenientes del análisis y la discusión de los resultados obtenidos en la investigación, cumpliendo así con los objetivos planteados.

CONCLUSIONES

1. Los gases que generan mayor cantidad de efluente y presentan una mayor posibilidad de aprovechamiento son el cloro y el amoníaco.
2. Es indispensable para llevar a cabo el proceso de lavado de gases, adquirir los equipos necesarios para seguir con las normas de seguridad.
3. El requerimiento de agua para la realización del lavado de amoniaco en el año 2006, es de 288.800 L/año. (45 lavados/año).
4. Los requerimientos de agua y de hidróxido de sodio para la realización del lavado de cloro para el año 2006, son de 460.800L/año y 115.200L/año, respectivamente.
5. La cantidad de cloro y de amoníaco que se absorbe en cada lavado es variable.
6. Los valores obtenidos para el DBO y DQO, están dentro de norma, tomando como referencia las concentraciones máximas permitidas para la disposición de dichas aguas en el lago de valencia.
7. La eficiencia obtenida del lavador de gases, al trabajar con cloro gaseoso es de 99,6%.

8. La eficiencia obtenida del lavador de gases, al trabajar con amoníaco gaseoso es de 99,7%
9. La implementación de la hidrolavadora para realizar los enjuagues al equipo, reduce el consumo de agua en esta operación de un 100% a un 80%.
10. La alternativa seleccionada para el efluente generado por el lavado de cloro, es la venta de lejía, la cual es una opción con alta factibilidad de implementación en la empresa, y se espera que genere un ingreso bruto de 61.440,00BsF/año, con una ganancia anual de 9.154,50 BsF.
11. La alternativa seleccionada para el efluente generado por el lavado de amoníaco, es la venta de agua amoniacal, la cual se espera que genere un ingreso bruto de 15.360,00 BsF/año, con una inversión inicial de 855,50BsF/año y una ganancia de 6.824,50 BsF/año.

RECOMENDACIONES

- ✓ Utilizar los gráficos de absorción, después de que se realice cada lavado, a fin de conocer la concentración de la solución obtenida y reutilizar el solvente hasta que el mismo tenga capacidad de absorber el gas.

- ✓ Dictar charlas didácticas de capacitación a los operarios a fin de señalar la importancia de los equipos de seguridad.

- ✓ Realizar un estudio a fin de ampliar el mercado de venta de dichos efluentes, para poder incrementar su precio y generar mayores beneficios económicos a la empresa.

- ✓ Evaluar la factibilidad de implementación de un sistema de dilución de la lejía obtenida a fin de poder vender la misma directamente para uso urbano.

- ✓ Continuar con la búsqueda de propuestas de aprovechamiento o reutilización de todos los efluentes que se generan en el equipo de lavado de gases.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Arocha, J y Castillejo, Z. (1993) *Rediseño de una planta procesadora de lejía clorada para uso industrial y domestico*. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
2. Bravo, V., Camacho, F. y García, A.I. (1999, junio) absorción de gases en disoluciones de regulares de pH. *Ingeniería Química* (189-194).
3. Cleseerl, L. y Greenberg, A. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. (Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual). Washington. (20ma Ed.).
4. Feal, A. (2004, diciembre) Absorbedores de gases, criterios de diseño. *Ingeniería química*. (176-182).
5. Gaceta oficial de la Republica de Venezuela N° 5305, decreto 3209 (1999). Normas para la clasificación y control de calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia.
6. Gaceta oficial de la Republica de Venezuela N° 5021, decreto 883 (1995). Normas para la clasificación el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.
7. Gaceta oficial de la Republica de Venezuela N° 36.344, decreto 2181 (1997). Normas para la clasificación y control de la calidad del agua del Río Yaracuy.
8. Gaceta oficial de la Republica de Venezuela, decreto 1257 (1996). Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente.
9. Giménez, kaplan. (2000). Contabilidad de costos y estrategias de gestión. Madrid: Pearson.
10. Handbook of compressed gases (Third Edition) of Compressed Gas Association, Inc. (Arlington, Virginia)
11. Himmelblau, D. (1997). Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química. (6ª ed.). Pearson, México.
12. Hurtado, J. Metodología de la investigación holística. (2002). Venezuela.
13. Manual de gases especiales y equipos. BOC gases. 1990.

14. Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de aguas residuales: redes de alcantarillado y bombeo. Mc Graw Hill. México. Tomos I y II.
15. Morrison, R y Boyd R. (1998). *Química orgánica*. (5ª ed.). Pearson Addison Wesley.
16. Norma venezolana COVENIN 2461 sobre técnicas de muestreo de aguas naturales, industriales y residuales. (2002, Mayo 28).
17. Norma venezolana COVENIN 2709 sobre aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos (1987, Diciembre 8).
18. Osorio, Victor. *Teoría de muestreo*. Universidad Autónoma de Querétaro (México). <http://www.uaq.mx/matematicas/estadisticas/xu5.html> (5/04/2008)
19. Peña, A y Rueda, M. (2005, enero). Eliminación del nitrógeno amoniacal en aguas sanitarias residuales. *Ingeniería química*. (179-183).
20. Perry, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico*. (7ª ed.). Mc Graw-Hill, México. Volumen I, II, III y IV.
21. Recca, R. (2001) *Mejoramiento de obtención de nitrato de amonio de la empresa CAVIM*. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
22. Sardiñas, O. P. y Pérez, A. (2004, mayo-agosto). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana Hig Epidemiol*. (125-134)
23. Silva, G. (1996) *Evaluación de alternativas para la disposición y tratamiento de efluentes acuosos generados en una fabrica de pinturas*. Trabajo de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
24. Ullmann's. (1988). *Encyclopedia of industrial chemistry*. Tomos 11 y 24.
25. Yaws, Carl L. *Matherson gas data book*. (7º edición) Mc Graw Hill. (Texas)

Páginas Web consultadas

26. http://www.pacificchemical.cl/es/medio_ambiente.htm. (3/8/2007)

27. <http://www.scif.com/safety/safetymeeting/Article.asp?ArticleID=161>).
(3/8/2007)
28. <http://www.bt.cdc.gov/agent/chlorine/espanol/facts.asp> (3/8/2007)
29. <http://aguamarket.com/Diccionario/terminos.asp?Temas=2236&termino=&Id=2236> (3/8/2007)
30. <http://cidta.usal.es/cidta/Analisis/residuales/residuales.htm>. (4/8/2007)
31. <http://www.allstudies.com/pinturas-epoxi.html> (5/8/2007)
32. http://www.pinturaskellam.com/producto_fondo_crom.html (5/8/2007)
33. <http://www.e-campo.com/?event=news.print&id=91FF543F-1027-1FA7-ABA56ED8572B6A67&> (5/8/2007)
34. <http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/G05/d05202/d05202.htm> (6/8/2007)
35. <http://www.lenntech.com/espanol/zeolitas-extraccion.htm> (7/8/2007)
36. <http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/casos-aplicacion>
(10/8/2007)
37. http://ces.unicauca.edu.co/archivos/articulos/tecnicas_decisiones_en_grupo.pdf (12/8/2007)
38. <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=537>
(13/8/2007)

APÉNDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

A continuación, se muestran los cálculos realizados para la obtención de los resultados de interés, con ejemplos de cada uno de los cálculos realizados.

A.1. Determinación de la cantidad total de solvente utilizado para realizar el lavado de ambos gases según los datos reportados desde enero del año 2006 hasta diciembre del mismo año.

- Determinación del número de lavados del cloro gaseoso realizados según los datos reportados para el año 2006.

$$NI = \sum_1^{nv} CI \quad (\text{Perry, 2001}) \text{ (I)}$$

Donde:

NI: Número de lavados (adim)

CI: Número de lavados a la semana durante el año 2006 (adim)

nv: Número de valores registrados (adim)

Tomando los valores reportados en la tabla C.3, correspondientes a la cantidad de cilindros de cloro recibidos por la empresa y cantidad de lavados realizados en el año 2006, y sustituirlos en la ecuación I, se obtiene que se realizaron 90 lavados.

Del mismo modo al determinar la cantidad de lavados realizados con amoníaco en agua, se utilizaron los datos reportados en la tabla C.4, correspondientes a la cantidad de cilindros de amoníaco recibidos por la empresa y la cantidad de lavados realizados en el año 2006, y se sustituyeron en la ecuación I, obteniéndose un total de 45 lavados, para este gas.

- Determinación de la cantidad total de solvente utilizado para realizar el lavado de amoníaco en agua.

$$S_c = Nl \cdot V_l \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{II})$$

Donde

S_c : Cantidad de solvente utilizado (L).

V_l : Volumen del lavador (L)

Al sustituir el número de lavados en la ecuación II y considerando que se tiene que el volumen del lavador es de 6400 L, se obtiene que para el año 2006:

$$S_c = 45 \cdot 6400L$$

$$S_c = 288000 L$$

Debido a que el solvente utilizado al trabajar con amoniaco gaseoso es agua, se tiene que la cantidad de solvente total, corresponde a la cantidad de agua.

- Determinación de la cantidad total de solvente utilizado para realizar el lavado de cloro gaseoso en una solución de hidróxido de sodio al 20 %.

Sustituyendo la cantidad de lavados referentes a este gas (90), en la ecuación II, se obtiene la cantidad de solvente total utilizado, el cual es de 576000 L. Sin embargo debido a que el solvente utilizado es una solución preparada, se determina la cantidad de cada uno de los componentes, siguiendo la siguiente ecuación.

$$S_h = S_c \cdot X_c \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{III})$$

Donde:

S_h : Cantidad de hidróxido de sodio (L)

X_c : Fracción del componente en la solución (adim)

Sustituyendo los datos correspondientes al hidróxido de sodio se obtiene:

$$Sh = 576000L \cdot 0,2$$

$$Sh = 115.200 L$$

Para el caso del otro componente de la solución, la cual es agua, se sustituyeron los valores en la ecuación III, obteniéndose un volumen de agua de 460.800 L.

- Determinación de la cantidad total de agua consumida en el año 2006, para llevar a cabo el lavado de los dos gases.

$$Ca = Vac + Vaa \quad (\text{Perry, 2001}) \text{ (IV)}$$

Donde

Ca: Cantidad de agua (L)

Vac: Volumen de agua al realizar los lavados con cloro en el año 2006 (L)

Vaa: Volumen de agua al realizar los lavados con amoníaco en el año 2006 (L)

Tomando en cuenta los datos reportados tanto en la tabla B.3 y B.4, y sustituirlos en la ecuación (IV), se logra obtener el volumen de agua utilizado para el año 2006.

$$Ca = 460.800L + 288.800L$$

$$Ca = 748.800L$$

A.2. Determinación de la cantidad de gas que se desea absorber en cada lavado.

- Determinación de la cantidad de gas contenido en cada cilindro a vaciar.

$$Cci = PT - T \quad (\text{BOC gases, 1999}) \text{ (V)}$$

Donde

PT: Masa del cilindro lleno (Kg)

T: Masa del cilindro vacío (Kg)

Cci: Cantidad de gas contenido en cada cilindro a vaciar (Kg)

Sustituyendo el valor del primer cilindro de cloro a vaciar, se obtiene:

$$Cci = 77,2Kg - 60,3Kg$$

$$Cci = 16,9Kg$$

Similarmente se utilizaron los datos correspondientes a la tabla B.1 y B.2, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla B.3, B.4, B.5, B.6, B.7, B.8.

El error se determina por derivadas parciales:

$$\Delta Cci = \left| \frac{\partial Cci}{\partial T} \right| * \Delta T + \left| \frac{\partial Cci}{\partial PT} \right| * \Delta PT \quad (VI)$$

Resolviendo se tiene:

$$\Delta Cci = |1| \cdot \Delta T + |1| \cdot \Delta PT$$

Debido a que el valor de la masa del cilindro vacío es un dato bibliográfico, el error del mismo se considera cero. Sustituyendo en VI, se obtiene:

$$\Delta Cci = 0,05Kg$$

- Determinar la cantidad de gas que se desea absorber en cada lavado.

$$mg = \sum_{i=1}^{n1} Cci \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (VII)$$

Donde:

mg: Cantidad de gas total que se desea absorber en cada lavado (kg)

Nv1: Número de valores reportados (adim)

i: Contador (adim)

Utilizando los valores reportado en la tabla B.3 y sustituyéndolo en la ecuación VII, se obtiene que la cantidad de gas (cloro) que se desea absorber para la realización del primer lavado es de 302,5 Kg.

Para el cálculo del error se hizo por derivadas parciales.

$$\Delta mg = \sum_{i=1}^{m1} \left| \frac{\partial Cci}{\partial Cci} \right| * \Delta Cci \quad (\text{VIII})$$

Sustituyendo los valores correspondientes y tomando el mayor error, se tiene que el error es de 1Kg

Del mismo modo, sustituyendo en la ecuación VII los valores reportados en las tablas B.4, B.5, B.6, B.7 Y B.8, se obtienen las cantidades de gas total que se desea absorber.

TABLA A.1
CANTIDAD DE GAS QUE SE DESEA ABSORBER PARA LLEVAR A CABO EL
LAVADO DE LOS MISMOS.

Lavado	Cantidad de gas que se desea absorber (mg ± 1) kg
Cloro en solución de hidróxido de sodio 20%	303
	257
	156
Amoníaco en agua	297
	252
	211

A.3. Determinación de la eficiencia del lavador de gases.

- Conversión de parámetros a estudiar en los efluentes.

Debido a que las caracterizaciones vienen dadas en ppm, se llevó a cabo la conversión de unidades.

$$CN = \frac{D \cdot V_l}{1000000} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{IX})$$

Donde

CN: Conversión del parámetro (Kg)

D: Dato proveniente de la caracterización (ppm)

1000000: Conversión de mg a Kg (Kg/mg)

Para el caso del nitrógeno amoniacal obtenido para el primer lavado, se obtiene:

$$CN = \frac{46.228,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 64000 \text{L}}{1000000 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}} = 295,86432 \text{Kg}$$

TABLA A.2
CONVERSIÓN DE PARÁMETROS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LOS
EFLUENTES

Parámetro	Cantidad obtenida (ppm)	Cantidad obtenida (Kg)
Cloro residual	47.147,5	301,744
	39.885,2	255,26528
	24.885,2	155,93664
Nitrógeno amoniacal	46.228,8	295,86432
	39.317,0	251,6288
	32.843,7	210,19968

- Determinación de la eficiencia del lavador

$$E = \frac{CN}{mg} \cdot 100\% \quad (\text{BOC gases, 1999}) \quad (X)$$

Donde:

E: eficiencia (%)

Inicialmente sustituyendo los valores referentes al primer lavado de cloro, se obtiene:

$$E = \frac{301,744}{303} \cdot 100\% = 99,5854\%$$

Para obtener el error, éste se calcula por derivadas parciales, obteniéndose:

$$\Delta E = \left| \frac{\partial E}{\partial mg} \right| * \Delta mg + \left| \frac{\partial E}{\partial CN} \right| * \Delta CN \quad (XI)$$

Resolviendo se tiene:

$$\Delta E = \left| \frac{1}{mg} \cdot 100 \right| * \Delta CN - \left| \frac{CN}{mg^2} \cdot 100 \right| * \Delta mg$$

Debido a que CN es un valor proveniente de una caracterización se considera que su error es cero. Calculando el error para cada caso, se tiene que el mayor error se obtiene para el tercer lavado de cloro, obteniéndose un valor de:

$$\Delta E = 0,6407 \approx 0,6$$

Sustituyendo los valores reportados en las tablas A.1 y A.2, se obtienen los valores de eficiencia del lavador.

TABLA A.3
EFICIENCIA DEL LAVADO DE GASES

Gas lavado	Número del lavado	Eficiencia del lavador (E±0,6)%
Cloro	1	99,6
	2	99,3
	3	99,9
Amoníaco	1	99,6
	2	99,9
	3	99,6

A.4. Determinación de la desviación estándar de los valores obtenidos de eficiencia.

- Obtención de la media de los valores de eficiencia obtenidos.

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{nve} E_i}{nve} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XII})$$

Donde

\bar{E} : Eficiencia promedio (%)

Nve: Número de valores de eficiencia del lavador obtenidos (adim).

E_i: Eficiencia del lavador al realizar cada uno de los lavados. (%)

$$\bar{E} = \frac{99,6 + 99,3 + 99,9 + 99,6 + 99,9 + 99,6}{6} = 99,65\%$$

El error se calcula por derivadas parciales

$$\Delta \bar{E} = \left| \frac{\partial \bar{E}}{\partial nve} \right| \cdot \Delta nve + \sum_{i=1}^{nve} \left| \frac{\partial \bar{E}}{\partial E_i} \right| \cdot \Delta E_i \quad (\text{XIII})$$

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene que el error asociado al valor medio es de 0,6.

- Determinación de la desviación estándar de los valores obtenidos de eficiencia.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{nve - 1} \cdot \sum_{i=1}^{nve} (\bar{E} - Ei)^2} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XIV})$$

Donde:

σ : Desviación estándar (adim).

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(99,7 - 99,6)^2 \cdot (99,7 - 99,3)^2 \cdot (99,7 - 99,9)^2 \cdot (99,7 - 99,6)^2 \cdot (99,7 - 99,9)^2 \cdot (99,7 - 99,6)^2}{6}}$$

$$\sigma = 0,2258$$

El error se calcula por derivadas parciales

$$\Delta\sigma = \left| \frac{\partial\sigma}{\partial nve} \right| \cdot \Delta nve + \left| \frac{\partial\sigma}{\partial \bar{E}} \right| \cdot \Delta \bar{E} + \sum_{i=1}^{nve} \left| \frac{\partial\sigma}{\partial Ei} \right| \cdot \Delta Ei \quad (\text{XV})$$

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene el error 0,08, por lo tanto el valor de la desviación estándar es de $(0,23 \pm 0,08)$.

A.5. Determinación del volumen total de solución amoniacal que puede contener el tanque.

$$Vt = \Pi \cdot r^2 \cdot h \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XVI})$$

Donde:

Vt: volumen del tanque (m^3)

R: radio del tanque (m)

h: altura del tanque (m)

Π : constante (adim)

De acuerdo a los datos señalados en la tabla 4.10, se obtiene el siguiente volumen:

$$V_t = 3,141592 \cdot (1m)^2 \cdot 4,25m$$

$$V_t = 13,3518m^3$$

A.6. Promedio de la cantidad de lavados realizados en el año 2006.

$$pl = \frac{Nl}{nm} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XVII})$$

Donde:

pl: promedio del número de lavados (adim)

nm: número de meses del año (adim)

Para el caso del cloro se utilizan los valores reportado en la tabla B.3 y sustituyéndolo en la ecuación XVII, se obtiene que la cantidad de lavados promedio para el año 2006 es de 7,5, sin embargo debido a que se trabajó con valores enteros, se consideran 8 lavados mensuales.

Con respecto a los lavados de amoníaco se utilizaron los datos de la tabla B.4 y sustituyéndolo en la ecuación XVII, se obtiene que la cantidad promedio de lavados para el año 2006 es de 3,75, sin embargo igual que en el caso anterior se consideran 4 lavados mensuales.

A.7. Determinación de los costos de solvente empleado para realizar cada lavado.

Para el caso del cloro absorbido en la solución de hidróxido de sodio al 20%, para el año 2007, se tiene utiliza la siguiente ecuación:

$$CS = C_{NaOH} \cdot Sc \cdot \rho_{NaOH} \cdot 0,2 + C_{H_2O} \cdot Sc \cdot 0,8 \quad (\text{Giménez, 2000}) \quad (\text{XVIII})$$

Donde:

cs: costo de solvente involucrado a los lavados en el año 2007 (BsF)

ρ_{NaOH} : Densidad de hidróxido de sodio a 20°C (Kg/L)

C_{NaOH} : costo del hidróxido de sodio (BsF/Kg)

C_{H_2O} : costo del agua (BsF/L)

A partir de los datos suministrados por la tabla 4.2, considerando un volumen de hidróxido de sodio de 122.880L, de agua de 491.520L y sustituyéndolo en la ecuación XVIII, se obtiene que el costo total de solvente necesario para realizar el lavado del cloro gaseoso en el año 2007 es de:

$$cs = 122880L \cdot 0,15BsF / L \cdot 2,17Kg / L + 0,025BsF / L \cdot 491520L$$
$$cs = 52.285,440BsF$$

Para el caso de la absorción de amoníaco en agua, se sigue con el mismo procedimiento anteriormente descrito, considerando que el volumen de hidróxido de sodio es cero y se tiene 307.200L de agua. Por lo tanto se obtiene que el costo total asociado al solvente es de 7.680,00 BsF para llevar a cabo el lavado de amoníaco en agua en el año 2007.

A.8. Ingresos brutos por cada efluente para el año 2007.

$$Ibl = Pvl \cdot Sc \quad (\text{Giménez, 2000}) \quad (\text{XIX})$$

Donde:

Ibl: ingreso bruto por del efluente (BsF)

pvl: precio de venta del efluente (BsF/L)

A partir del volumen de lejía a producir en el año 2007 y los datos de la tabla 4.9, se puede obtener los ingresos brutos generados por dicha efluente:

$$Ibl = 0,10BsF / L \cdot 614400L$$

$$Ibl = 61.440,00 BsF$$

Para el caso del agua amoniacal, se consideran 4 lavados mensuales, se tiene un precio de venta de 0,05 Bs/L y un volumen total de 307.200L para el año 2007, haciendo uso de la ecuación (XIX) se obtiene un ingreso bruto de 15.360,00 BsF.

A.9. Ganancias generadas en la empresa a partir de la venta de lejía

A partir del ingreso bruto y del costo asociado con los solventes para llevar cabo dicho lavado se logra medir la ganancia generada en dicho proceso.

$$G = Ibl - cs \quad (\text{Giménez, 2000}) \quad (\text{XX})$$

Donde

G: ganancias generadas por la implementación de la alternativa seleccionada (BsF)

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$G = 61.440,00BsF - 52.285,44BsF$$

$$G = 9.154,5 BsF$$

A.10. Costos de acondicionamiento del tanque de almacenamiento

Considerando el tamaño del tanque y los requerimientos de pintura, se realizan los siguientes cálculos.

- Superficie del tanque de almacenamiento.

$$A = 2 \cdot r \cdot h \cdot \pi \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XXI})$$

Donde

A: area del tanque (m²)

Sustituyendo los datos señalados en la tabla 4.11, se obtiene:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot 4,25m \cdot 2m$$

$$A = 53,407m^2 \approx 54m^2$$

- Cantidad de galones de pintura a comprar.

$$Cp = A \cdot Ren \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{XXII})$$

Donde:

Cp: cantidad de pintura (gal)

Ren: rendimiento de 1 gal de pintura. (gal/m²)

$$Cp = 54m^2 \cdot \frac{1gal}{20m^2} = 2,7gal$$

- Costos por la adquisición de pintura para la aplicación de las 2 capas al tanque.

$$Ctp = Cpe \cdot Pe + Cpcz \cdot Pcz \quad (\text{Giménez, 2000}) \quad (\text{XXIII})$$

Donde

Ctp: costos por la adquisición de pinturas (BsF)

Cpe: cantidad de pintura epoxy (gal)

Cpcz: cantidad de pintura de cromato zinc (gal)

Pe: precio de la pintura epoxy (BsF/gal)

Pcz: precio de la pintura de cromato zinc (BsF/gal)

Sustituyendo los datos correspondientes, se tiene un costo total de:

$$Ctp = 3gal \cdot 70BsF / gal + 3gal \cdot 80BsF / gal$$

$$Ctp = 450,00 BsF$$

A.11. Costos asociados al sistema de tuberías implementado

- Costo de tubería de PVC

$$C_{tub} = C_t \cdot L_t \text{ (Giménez, 2000) (XXIV)}$$

Donde

C_{tub} : costo de tubería (BsF)

C_t : costos de la tubería (BsF/m)

L_t : longitud de tubería (m)

$$C_{st} = 12m \cdot \frac{12,90BsF}{6m}$$

$$C_{st} = 25,80BsF$$

A partir de los requerimientos señalados en la figura 4.10 y el precio de los accesorios se logra establecer el costo total.

$$C_{st} = C_{tub} + C_c \cdot N_c + C_v \cdot N_v \text{ (Giménez, 2000) (XXV)}$$

Donde

C_{st} : costos asociados al sistema de tubería a implementar (BsF)

C_c : Costo de los codos (BsF)

N_c : número de codos (adim)

C_v : Costos de las válvulas (BsF)

N_v : número de válvulas (adim)

Sustituyendo los respectivos valores se obtiene:

$$C_{st} = 25,80BsF + 3 \cdot 4,73BsF + 3 \cdot 121,82BsF$$

$$C_{st} = 25,80BsF + 14,20BsF + 365,5BsF$$

$$C_{st} = 405,50BsF$$

A.12. Ganancia por la implementación de la venta de agua amoniacal

Para ellos se utilizan los datos anteriormente señalados sustituyéndolos en la siguiente ecuación:

$$G = Ibl - cs - cst - ctp \text{ (Giménez, 2000) (XXVI)}$$

Posteriormente se obtiene una ganancia de:

$$G = 15.360,00BsF - 7.680,00BsF - 450,00BsF - 405,50BsF$$

$$G = 6.824,50 BsF$$

A. 13. Cantidad de muestras requeridas para que el muestreo sea representativo.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{N \cdot E^2 + Z^2 \cdot p \cdot q} \text{ (Osorio, 2000) (XXVII)}$$

Donde

n : es el tamaño de la muestra;

Z : es el nivel de confianza;

p : es la variabilidad positiva;

q : es la variabilidad negativa;

N : es el tamaño de la población;

E : es la precisión o el error.

Para el caso del efluente de cloro se considera que el tamaño de la población es la cantidad de lavados realizados, del mismo modo se sabe asume que Se considerará una confianza del 95%, un porcentaje de error del 5% y la máxima variabilidad por no existir antecedentes sobre la investigación y porque no se puede aplicar una prueba previa. A partir de dichos valores se logra obtener que el nivel de confianza requerido es de 1,96. Sustituyendo estos valores se tiene:

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 90}{90 \cdot (0,05)^2 + (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 73$$

Se requirieren 73 muestras del efluente del lavado de cloro para lograr que el muestreo sea representativo, mientras que para el caso del amoniaco se requieren 41 muestras.

APÉNDICE B
DATOS EXPERIMENTALES

En esta sección se presentan los datos experimentales que fueron obtenidos.

TABLA B.1
CANTIDAD DE CLORO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A VACIAR.

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
1	77,20	60,3
2	78,90	60,3
3	72,90	60,3
4	76,10	60,7
5	76,60	60,5
6	75,50	60,3
7	77,30	60,0
8	76,00	60,1
9	76,80	60,2
10	77,90	60,3
11	71,20	60,1
12	79,20	60,7
13	74,00	60,6
14	70,90	60,1
15	77,90	60,3
16	74,70	60,5
17	68,80	60,7
18	78,60	60,3
19	76,10	60,7
20	73,50	60,6
21	78,80	60,5
22	73,10	60,7

TABLA B.1
CANTIDAD DE CLORO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A
VACIAR.(CONTINUACIÓN)

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
23	76,10	60,5
24	70,50	60,1
25	70,20	60,7
26	69,10	60,2
27	70,80	60,3
28	74,50	60,2
29	77,80	60,3
30	71,00	60,7
31	69,40	60,5
32	69,70	60,2
33	70,50	60,5
34	79,20	60,7
35	79,80	60,5
36	77,70	60,1
37	76,40	60,5
38	74,60	60,1
39	73,10	60,2
40	79,00	60,1
41	77,70	60,1
42	79,50	60,7
43	79,60	60,5
44	71,30	60,2
45	71,40	60,5
46	69,00	60,1
47	67,30	60,5
48	72,70	60,7

TABLA B.1
CANTIDAD DE CLORO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A
VACIAR.(CONTINUACIÓN)

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
49	72,00	60,5
50	72,30	60,5
51	71,60	60,7

Temperatura ambiente ($28,00 \pm 0,05$)°C

Presión ambiente ($746,00 \pm 0,05$) mmHg

TABLA B.2.
CANTIDAD DE AMONÍACO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A VACIAR.

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
1	81,20	60,9
2	73,10	60,6
3	74,90	60,0
4	79,20	60,5
5	76,00	60,1
6	79,20	60,9
7	76,00	60,5
8	76,50	60,1
9	78,90	60,2
10	80,20	60,9
11	81,10	60,8
12	76,10	60,2
13	70,20	60,0
14	71,40	60,1
15	69,40	60,9
16	70,20	60,6

TABLA B.2
CANTIDAD DE AMONÍACO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A VACIAR.
(CONTINUACIÓN)

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
17	67,60	60,1
18	76,80	60,5
19	74,20	60,0
20	72,90	60,6
21	60,5	73,00
22	60,9	77,80
23	60,2	72,90
24	60,1	76,70
25	60,6	75,40
26	71,00	60,1
27	78,50	60,9
28	73,70	60,2
29	75,00	60,8
30	76,40	60,9
31	79,40	60,6
32	71,40	60,9
33	72,00	60,7
34	71,40	60,6
35	77,10	60,2
36	73,00	60,5
37	74,80	60,2
38	72,40	60,9
39	75,60	60,1
40	77,20	60,3
41	72,90	60,6
42	74,80	60,1

TABLA B.2
CANTIDAD DE AMONÍACO CONTENIDA EN CADA CILINDRO A VACIAR.
(CONTINUACIÓN)

Nº de cilindros	Masa del cilindro lleno ($m_c \pm 0.05$) kg	Masa del cilindro vacío (kg)
43	79,10	60,4
44	80,40	60,6
45	77,00	60,5
46	74,60	60,3
47	71,30	60,1
48	71,30	60,4
49	70,10	60,3
50	66,20	60,6
51	72,10	60,1
52	65,60	60,3
53	77,00	60,6
54	71,30	60,1

Temperatura ambiente ($28,00 \pm 0,05$)°C

Presión ambiente ($746,00 \pm 0,05$) mmHg

TABLA B.3
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
PRIMER LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
1	16,90
2	18,60
3	12,60
4	15,40
5	16,10

TABLA B.3
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
PRIMER LAVADO (CONTINUACIÓN)

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
6	15,20
7	17,30
8	15,90
9	16,60
10	17,60
11	11,10
12	18,50
13	13,40
14	10,80
15	17,60
16	14,20
17	8,10
18	18,30
19	15,40
20	12,90

TABLA B.4
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
SEGUNDO LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
1	18,30
2	12,40
3	15,60
4	10,40
5	9,50
6	8,90

TABLA B.4
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
SEGUNDO LAVADO (CONTINUACIÓN)

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
7	10,50
8	14,30
9	17,50
10	10,30
11	8,90
12	9,50
13	10,00

TABLA B.5
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
TERCER LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
1	18,50
2	19,30
3	17,60
4	15,90
5	14,50
6	12,90
7	18,90
8	17,60
9	18,80
10	19,10
11	11,10
12	10,90
13	8,90
14	6,80
15	12,00

TABLA B.5
CONTENIDO DE CLORO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
TERCER LAVADO (CONTINUACIÓN)

Número del cilindro	Cantidad de cloro contenida ($m_{cl} \pm 0.05$) kg
16	11,50
17	11,80
18	10.90

TABLA B.6
CONTENIDO DE AMONIACO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
PRIMER LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de amoníaco contenida ($m_a \pm 0.05$) kg
1	20,30
2	12,50
3	14,90
4	18,70
5	15,90
6	18,30
7	15,50
8	16,40
9	18,70
10	19,30
11	20,30
12	15,90
13	10,20
14	11,30
15	8,50
16	9,60
17	7,50
18	16,30

TABLA B.6
CONTENIDO DE AMONIACO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
PRIMER LAVADO (CONTINUACIÓN)

Número del cilindro	Cantidad de amoníaco contenida ($m_a \pm 0.05$) kg
19	14,20
20	12,30

TABLA B.7
CONTENIDO DE AMONIACO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
SEGUNDO LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de amoníaco contenida ($m_a \pm 0.05$) kg
1	12,50
2	16,90
3	12,70
4	16,60
5	14,80
6	10,90
7	17,60
8	13,50
9	14,20
10	15,50
11	18,80
12	10,50
13	11,30
14	10,80
15	16,90
16	12,50
17	14,60
18	11,50

TABLA B.8
CONTENIDO DE AMONIACO EN LOS CILINDROS PARA LA REALIZACIÓN DEL
TERCER LAVADO

Número del cilindro	Cantidad de amoníaco contenida ($m_a \pm 0.05$) kg
1	15,50
2	16,90
3	12,30
4	14,70
5	18,70
6	19,80
7	16,50
8	14,30
9	11,20
10	10,90
11	9,80
12	5,60
13	12,00
14	5,30
15	16,40
16	11,20

TABLA B.9.
MUESTREO DE LAS EFLUENTES DEL EQUIPO DE LAVADO DE GASES
TRABAJANDO CON CLORO Y SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO AL 20 %.

Fecha del muestreo: 23 de octubre de 2007

Número de muestra	Cantidad de gas lavado (Kg)	Volumen de la muestra tomada ($V \pm 0.05$) mL	Hora de la toma de muestra
1	303	500,00	8 : 35
2	257	500,00	10:45
3	156	500,00	3.30

Temperatura ambiente ($28,00 \pm 0,05$)°C

Presión ambiente ($746,00 \pm 0,05$) mmHg

TABLA B.10.
MUESTREO DE LAS EFLUENTES DEL EQUIPO DE LAVADO DE GASES
TRABAJANDO CON AMONACO Y AGUA

Fecha del muestreo: 10 de octubre de 2007

Número de muestra	Cantidad de gas lavado (Kg)	Volumen de la muestra tomada ($V \pm 0.05$) mL	Hora de la toma de muestra
1	297	500,00	10:25
2	252	500,00	2.30
3	211	500,00	4.30

Temperatura ambiente ($28,00 \pm 0,05$)°C

Presión ambiente ($746,00 \pm 0,05$) mmHg

APÉNDICE C
TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se presentan las tablas de origen bibliográfico que fueron utilizadas para el procesamiento de los datos y obtención de los resultados plasmados

TABLA C.1
RELACIÓN ENTRE DBO Y DQO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES

Relación DBO/DQO	Tratamiento sugerido
0,1 – 0,4	Físico – Químico (TFQ) o Químico (TQ)
0,4 – 0,6	Ambos TFQ/TQ y tratamiento Biológico
Mayor a 0,6	Tratamientos biológicos (Lodos activados)

Fuente: (Metcalf, 1996)

TABLA C.2
Parámetros y regulaciones del lago de Valencia.

Parámetros Físico - Químicos	Límites Máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Al Mercurio	No detectable
Aldehídos	2.0 mg/l
Aluminio total	1.0 mg/l
Arsénico total	0.1 mg/l
Bario total	5.0 mg/l
Boro	5.0 mg/l
Cadmio total	0.1 mg/l
Cianuro total	0.1 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobalto total	0.05 mg/l
Cobre total	0.5 mg/l
Cromo total	2.0 mg/l
Cromo hexavalente	0.1 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS, 20)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2.0 mg/l
Dispersantes	2.0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5.0 mg/l
Fenoles	0.05 mg/l

. TABLA C.2

Parámetros y regulaciones del lago de Valencia (CONTINUACIÓN)

Parámetros Físico - Químicos	Límites Máximos o rangos
Fluoruros	5.0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	1.0 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2.0 mg/l
Mercurio total	0.01 mg/l
Níquel total	1.0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
PH	6 - 9
Plata total	0.1 mg/l
Plomo total	0.5 mg/l
Selenio	0.05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1.0 mg/l
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sulfitos	2.0 mg/l
Sulfatos	600 mg/l
Sulfuros	0.5 mg/l
Zinc	5.0 mg/l

Fuente: Decreto 5305 gaceta oficial

TABLA C.3
 CANTIDAD DE CILINDROS DE CLORO RECIBIDOS POR LA EMPRESA Y
 CANTIDAD DE LAVADOS REALIZADOS EN EL AÑO 2006.

Fecha	Número cilindros	Número de lavados	Fecha	Número de cilindros	Número de lavados
8 de enero – 13 de enero	60	2	1 de mayo – 5 de mayo	54	2
16 de enero – 20 de enero	46	2	8 de mayo – 12 de mayo	54	2
23 de enero – 27 de enero	66	2	15 de mayo – 19 de mayo	55	2
30 de enero – 3 de febrero	50	2	22 de mayo – 26 de mayo	36	1
6 de febrero – 10 de febrero	60	2	29 de mayo – 2 de junio	46	2
13 de febrero – 17 de febrero	30	1	5 de junio – 9 de junio	45	2
20 de febrero – 24 de febrero	50	2	12 de junio – 16 de junio	46	2
27 de febrero – 3 de marzo	52	2	19 de junio – 23 de junio	66	2
6 de marzo – 10 de marzo	66	2	26 de junio – 30 de junio	55	2
13 de marzo – 17 de marzo	66	2	3 de julio – 7 de julio	25	1
20 de marzo – 24 de marzo	59	2	10 de julio – 14 de julio	33	1
27 de marzo – 31 de marzo	76	2	17 de julio – 21 de julio	39	2
3 de abril - 7 de abril	46	2	24 de julio - 28 de julio	66	2
10 de abril - 14 de abril	52	2	31 de julio – 4 de agosto	38	2
17 de abril - 21 de abril	39	2	7 de agosto – 11 de agosto	65	2
24 de abril - 28 de abril	46	2	14 de agosto – 18 de agosto	25	1

TABLA C.3 (CONTINUACIÓN)
CANTIDAD DE CILINDROS DE CLORO RECIBIDOS POR LA EMPRESA Y
CANTIDAD DE LAVADOS REALIZADOS EN EL AÑO 2006.

Fecha	Número de cilindros	Número de lavados	Fecha	Número de cilindros	Número de lavados
21 de agosto - 25 de agosto	26	1	23 de octubre - 27 de octubre	46	2
28 de agosto - 1 septiembre	25	1	30 de octubre - 1 de noviembre	35	2
4 de septiembre - 8 de septiembre	64	3	6 de noviembre - 10 de noviembre	36	2
11 de septiembre - 15 de septiembre	61	2	13 de noviembre - 17 de noviembre	22	1
18 de septiembre - 22 de septiembre	14	1	20 de noviembre- 24 de noviembre	26	2
25 de septiembre - 29 de septiembre	58	2	27 de noviembre - 1 de diciembre	43	2
2 de octubre - 6 de octubre	55	2	4 de diciembre - 8 de diciembre	36	2
9 de octubre - 13 de octubre	25	1	11 de diciembre - 15 de diciembre	34	2
16 de octubre - 20 de octubre	33	1	18 de diciembre - 22 de diciembre	29	2

TABLA C.4
 CANTIDAD DE CILINDROS DE AMONIACO RECIBIDOS POR LA EMPRESA Y
 CANTIDAD DE LAVADOS REALIZADOS EN EL AÑO 2006.

Fecha	Número cilindros	Número de lavados	Fecha	Número de cilindros	Número de lavados
8 de enero – 13 de enero	20	1	1 de mayo – 5 de mayo	0	0
16 de enero – 20 de enero	13	1	8 de mayo – 12 de mayo	0	0
23 de enero – 27 de enero	16	1	15 de mayo – 19 de mayo	16	2
30 de enero – 3 de febrero	18	1	22 de mayo – 26 de mayo	36	1
6 de febrero – 10 de febrero	13	1	29 de mayo – 2 de junio	26	1
13 de febrero – 17 de febrero	0	0	5 de junio – 9 de junio	0	0
20 de febrero – 24 de febrero	11	1	12 de junio – 16 de junio	45	2
27 de febrero – 3 de marzo	12	1	19 de junio – 23 de junio	18	1
6 de marzo – 10 de marzo	18	1	26 de junio – 30 de junio	15	1
13 de marzo – 17 de marzo	5	1	3 de julio – 7 de julio	10	1
20 de marzo – 24 de marzo	28	1	10 de julio – 14 de julio	13	1
27 de marzo – 31 de marzo	22	1	17 de julio – 21 de julio	16	1
3 de abril - 7 de abril	0	0	24 de julio - 28 de julio	13	1
10 de abril - 14 de abril	35	1	31 de julio – 4 de agosto	28	1
17 de abril - 21 de abril	30	1	7 de agosto – 11 de agosto	33	1
24 de abril - 28 de abril	31	1	14 de agosto – 18 de agosto	25	1

TABLA C.4 (CONTINUACIÓN)
 CANTIDAD DE CILINDROS DE AMONIACO RECIBIDOS POR LA EMPRESA Y
 CANTIDAD DE LAVADOS REALIZADOS EN EL AÑO 2006.

Fecha	Número de cilindros	Número de lavados	Fecha	Número de cilindros	Número de lavados
21 de agosto - 25 de agosto	19	1	23 de octubre - 27 de octubre	18	1
28 de agosto - 1 septiembre	16	1	30 de octubre - 1 de noviembre	21	1
4 de septiembre - 8 de septiembre	14	1	6 de noviembre - 10 de noviembre	22	1
11 de septiembre - 15 de septiembre	19	1	13 de noviembre - 17 de noviembre	15	1
18 de septiembre - 22 de septiembre	0	0	20 de noviembre- 24 de noviembre	18	1
25 de septiembre - 29 de septiembre	0	0	27 de noviembre - 1 de diciembre	40	2
2 de octubre - 6 de octubre	13	1	4 de diciembre - 8 de diciembre	15	1
9 de octubre - 13 de octubre	16	1	11 de diciembre - 15 de diciembre	19	1
16 de octubre - 20 de octubre	22	1	18 de diciembre - 22 de diciembre	0	0

TABLA C.5
INFORMACIÓN PARA FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

Parámetro de diseño	Unidades	Intervalo	Valor típico
Tiempo de contacto para un efluente con DQO de			
10 – 20 mg/l	min	15 – 20	
5 – 15 mg/l	min	30 – 35	
Carga Hidráulica			
Columnas de flujo ascendente	m ³ / m ² . h	9,77 – 24,44	
Columnas de flujo descendente	m ³ / m ² .h	7,33 – 12,22	
Profundidad de carbón	m	3 - 12	4,50 – 6.0
Presión de funcionamiento	kPa		< 6,7

Fuente: Metcalf, 1996.

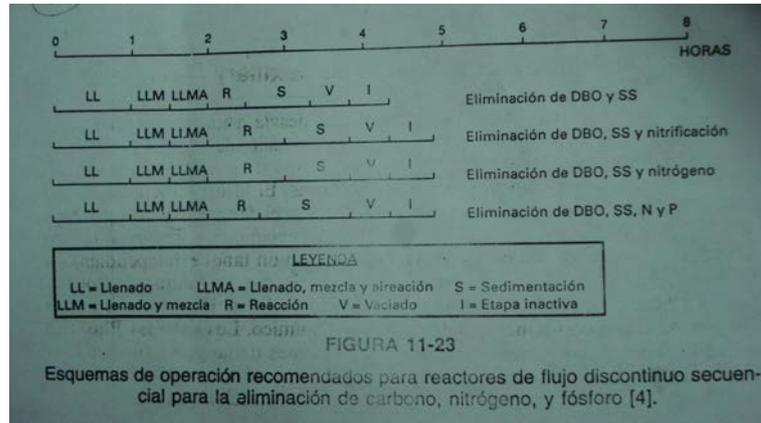
TABLA C.6
DIMENSIONES Y PESOS TÍPICOS DE LOS CILINDROS DE AMONIACO.

DOT Cylinder Spec. No.	Ammonia capacity		Average tare Weight pounds (Kg)		Overall Length		Outside Diameter		Wall Thickness		Minimum Volume	
	Pounds	(Kg)	Less Cap	With Cap	Inches	(mm)	Inches	(mm)	Inches	(mm)	Cu. In.	(L)
3AA1800	2	(0,91)	5	(2.28)	16	(406)	3.50	(89)	0.070	(1.78)	108	(1.77)
3A480	100	(45.4)	134	(60.8)	59	(1499)	12.50	(317)	0.176	(4.47)	5158	(84.59)
3A480	150	(68.0)	195	(88.4)	60	(1524)	15.00	(381)	0.212	(5.38)	7710	(126.44)
3A480X	100	(45.4)	88	(39.9)	57	(1448)	12.25	(311)	0.120	(3.05)	5158	(84.59)
3A480X	150	(68.0)	35	(61.2)	58	(1473)	14.75	(375)	0.125	(3.17)	7710	(126.44)
4AA480	25	(11.3)	43	(19.5)	30	(508)	12.25	(311)	0.153	(3.89)	1344	(22.04)
4AA480	100	(45.4)	114	(51.7)	56	(1422)	12.25	(311)	0.153	(3.89)	5158	(84.59)
4AA480	150	(68.0)	158	(71.7)	58	(1473)	14.75	(375)	0.185	(4.70)	7710	(126.44)

Fuente: Handbook of compressed gases

FIGURA C.1.

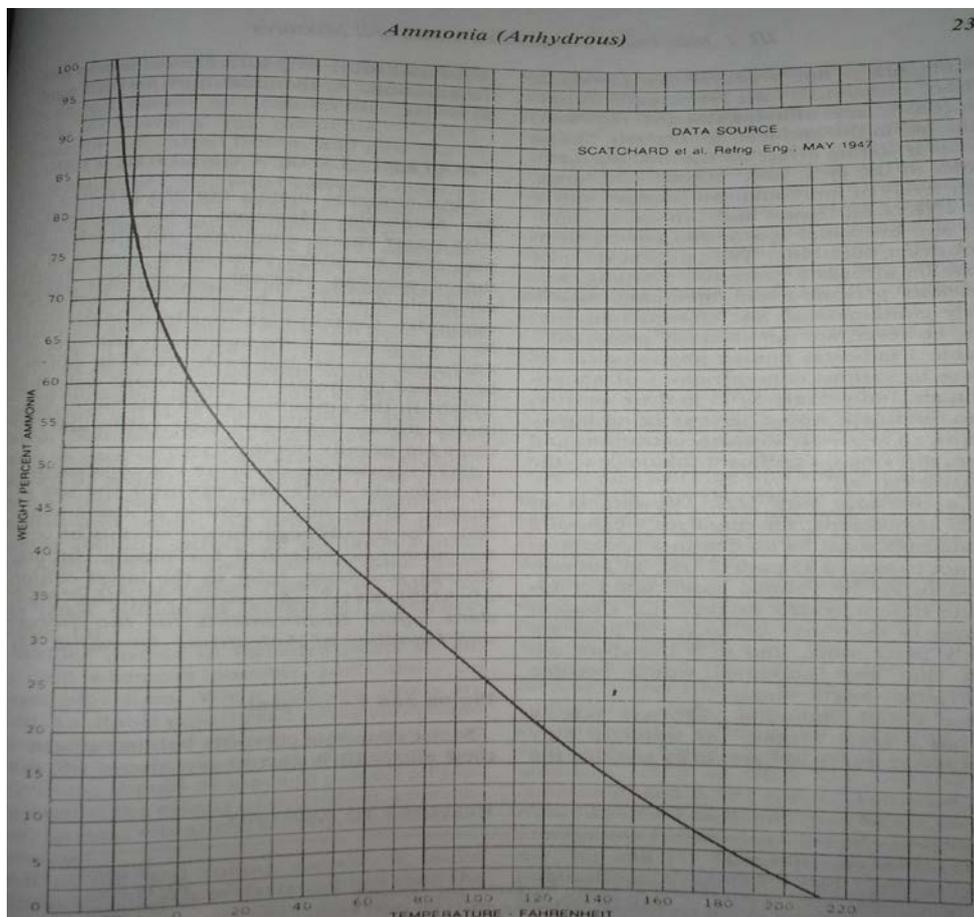
ESQUEMA DE OPERACIÓN DE REACTORES DE FLUJO DISCONTINUO SECUENCIAL PARA LA ELIMINACIÓN DE CARBONO, NITRÓGENO Y FÓSFORO.



Fuente: (Metcalf, 1996)

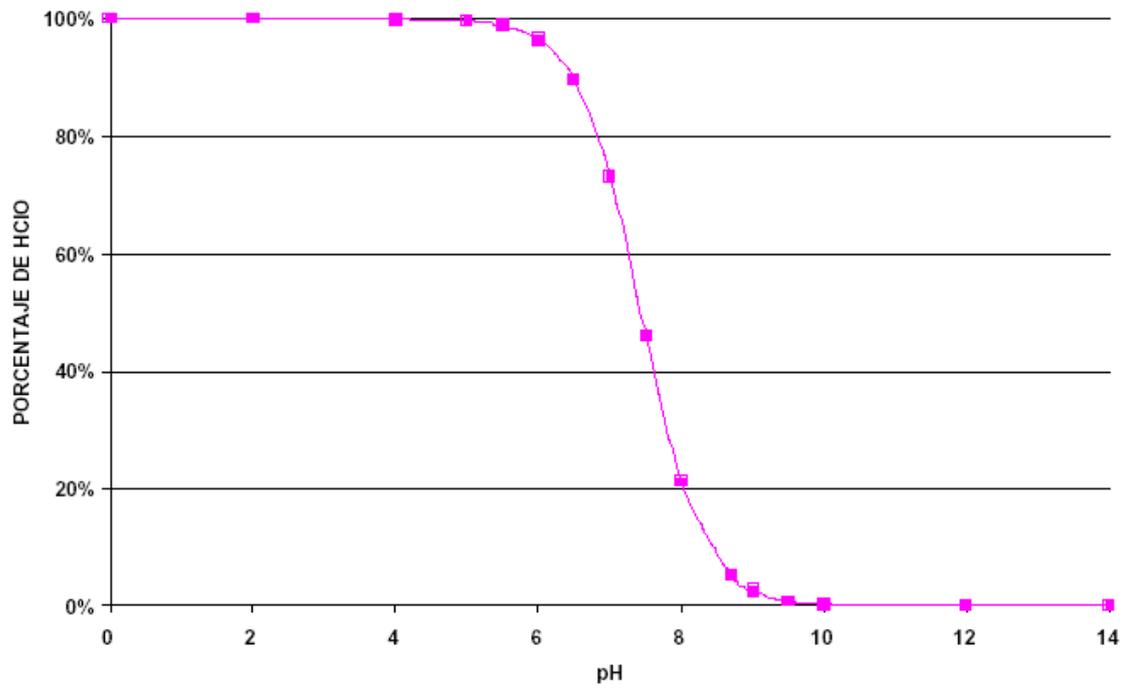
FIGURA C-2

CURVA DE SOLUBILIDAD DEL AMONIO.



Fuente: Handbook of compressed gases

FIGURA C.3
DEGRADACIÓN DEL ÁCIDO HIPOCLOROSO EN FUNCIÓN DEL pH



El gráfico 1 muestra la variación del porcentaje de ácido hipocloroso en la solución de hipoclorito de sodio en función del pH de dicha solución.

Fuente: Arocha, J y Castillejo, Z. (1993)

ANEXO A
NORMAS VENEZOLANAS COVENIN

**NORMA VENEZOLANA
AGUAS NATURALES, INDUSTRIALES
Y RESIDUALES. GUÍA PARA LAS
TÉCNICAS DE MUESTREO**

**COVENIN
2709:2002
(1^{ra} Revisión)**

1 OBJETO

Esta Norma Venezolana establece lineamientos generales sobre las técnicas de captación de muestras de agua, con el fin de determinar sus características.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente.

COVENIN 1431:1982 Agua potable envasada. Requisitos.

COVENIN 2634:2002 Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones.

3 GENERALIDADES

Para que una muestra de agua, sea satisfactoria debe llenar los requisitos básicos: representar con precisión la masa muestreada grande o pequeña, y tener el tamaño adecuado para análisis subsecuente. Puesto que el agua puede muestrearse bajo diversas condiciones, no existe un procedimiento único que pueda aplicarse de modo universal. El método, lugar y tiempo de muestreo deben combinarse de tal manera que los resultados obtenidos satisfagan el propósito para el que se decidió captar la muestra. El agua no tiene una composición fija, sino que presenta cambios apreciables que dependen de múltiples factores como son origen, temperatura, contaminación, entre otros.

4 TIPOS DE MUESTRAS

Para la caracterización de cuerpos de agua, corrientes de proceso o aguas residuales se utilizan tres tipos de muestras: instantáneas, compuestas e integradas.

En función de los objetivos del programa, la variabilidad de las corrientes y los recursos disponibles, se puede planificar la captación de alguno de los tipos de muestras mencionadas anteriormente.

4.1 Muestras instantáneas

Reflejan las características del cuerpo de agua, corrientes de proceso o aguas residuales en el momento de su captación. Se captan muestras instantáneas cuando:

- La corriente no fluye continuamente, por ejemplo un afluente o efluente intermitente o un tanque que se vacía periódicamente.
- Las características de la corriente son relativamente constantes.
- Se desea determinar condiciones extremas, referidas tanto a caudal como a composición.
- Se desea analizar parámetros como gases disueltos, cloro residual, sulfuros, temperatura, análisis microbiológicos, análisis radiológicos, o cualquier otra característica que puede cambiar durante el periodo de almacenamiento.
- Se observan descargas imprevistas.
- Lo exijan las normativas de control.

4.2 Muestras compuestas

Representan las características promedio del cuerpo de agua, corriente o agua residual durante el período de captación.

Para la preparación de la muestra compuesta, se captan submuestras instantáneas durante el período que se desea evaluar. Antes de la combinación de las submuestras, debe verificarse que los parámetros de interés no varíen significativamente durante el período de muestreo.

La composición de la muestra compuesta puede ser:

4.2.1 Proporcional al caudal

Las submuestras son captadas a intervalos de tiempo regulares, que van desde minutos hasta horas dependiendo de la variabilidad del caudal. Se prepara la muestra compuesta mezclando volúmenes de submuestras proporcionales al caudal.

Debe conocerse el caudal asociado a cada submuestra, o algún parámetro indicador del mismo, como por ejemplo la altura de agua.

4.2.2 A volumen constante

Cuando la variación de caudal no es significativa o no se pueda medir el caudal, las submuestras se captan a intervalos regulares de tiempo. La muestra compuesta se prepara mezclando volúmenes iguales de las submuestras.

4.2.3 Casos especiales

Cuando el flujo es intermitente, como en condiciones de bombeo y por carga donde las submuestras son captadas a intervalos de tiempo definido en función de la operación.

4.3 Muestra integrada

Consiste en la mezcla de muestras instantáneas, captadas en diferentes sitios simultáneamente. Se utiliza especialmente en los ríos, lagos y aguas costeras, donde ocurren variaciones en la composición dependiendo de la profundidad y el ancho de la corriente.

4.3.1 Muestras captadas en perfil vertical

Son una serie de muestras captadas a diferentes profundidades de una masa de agua, en un lugar específico.

4.3.2 Muestras captadas en perfil horizontal

Son una serie de muestras captadas a una profundidad particular de una masa de agua, en diferentes lugares.

5 MODALIDAD DE CAPTACIÓN

La captación de la muestra puede realizarse en forma manual o automática. La selección depende de cada caso en particular y esta fundamentada en elementos como la posibilidad o no de instalación de equipos automáticos, el conocimiento previo de la variabilidad de las corrientes y los costos asociados, entre otros.

5.1 Captación Manual

La captación es realizada directamente por el personal involucrado en el programa. Permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación. Resulta más económica cuando se trata de programas de caracterización relativamente sencillos, donde el número de puntos y la frecuencia de captación de muestras es reducida. No requiere mantenimiento. Cuando sea necesario se pueden captar muestras adicionales o modificar el programa de captación.

Tiene las desventajas de que requiere de técnicos de campo entrenados y la posibilidad de ocurrencia de errores humanos producto de las dificultades de captación y el cansancio. Puede ser costoso en términos de gastos de personal y tiempo consumido para programas de muestreo rutinarios o a gran escala.

5.2 Captación Automática

La captación se realiza con equipos de muestreo automáticos diseñados especialmente para ello. Es útil cuando es necesario captar en muchos sitios simultáneamente o se requiera de un registro más continuo. Los equipos se pueden programar para preparar muestras compuestas en función del tiempo o del caudal. Entre las ventajas se puede mencionar consistencia en la captación, disminución de posibles errores causados por manipulación de las muestras, requiere poco personal, permite mayor frecuencia de captación de muestras en un mayor número de sitios.

Tiene las desventajas de que requiere inspección y mantenimiento permanente de fuente de energía y los equipos los cuales son susceptibles a obstrucción por presencia de sólidos, el tamaño es restringido e inflexible y son susceptibles a hurto y daños, representan un alto costo de inversión y no permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación.

6 TIPOS DE MUESTREO

En este punto se desarrollan las diferentes modalidades de muestreo dependiendo del sitio de interés a caracterizar.

6.1 Aguas naturales

6.1.1 Ríos y cursos de agua

A fin de obtener muestras representativas, los puntos de captación deben elegirse preferiblemente donde las variaciones sensibles de calidad sean probables, o donde ocurra una modificación importante del caudal, como confluencias de ríos, vertidos o tomas importantes.

- Si las condiciones de mezcla en la corriente se aproximan a la uniformidad, puede captarse una muestra en cualquier punto de la sección transversal de la misma.
- Si existe una corriente o estratificación importante en el punto de captación de muestra, deben captarse muestras en diferentes puntos y se combinan para obtener una muestra integrada.
- Se debe dejar suficiente distancia entre el sitio de la captación de la muestra y la confluencia de un tributario o fuente de contaminación para permitir una buena homogeneización. Si esto no es factible, se recomienda captar una muestra aguas arriba de la descarga del tributario o fuente de contaminación.
- Cuando las captaciones de muestra se destinan a controlar los efectos de un vertido deben efectuarse aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga. El muestreo debe extenderse aguas abajo, sobre una distancia que permita una evaluación global del estado del río.
- En la captación de muestras en las descargas de presa y saltos de agua, el punto de muestreo se debe ubicar a una distancia suficiente aguas abajo del punto de caída para permitir la liberación del aire mezclado con el agua. Cuando se usen botes, se debe evitar la captación donde haya turbulencia causada por la hélice del motor o los remos que modifiquen las condiciones del sitio de muestro.
- Para todos los casos aquí mencionados es recomendable conocer los caudales asociados a cada corriente de interés.
- Sin perjuicio de la metodología antes descrita, podrá utilizarse modelajes matemáticos para la selección de los puntos de captación de muestras.

6.1.2 Estuarios, aguas costeras, mares y océanos

- Los límites de la zona sometida a investigación deben estar claramente definidos, considerando las relaciones con las zonas vecinas. En la elección de los lugares de captación de muestras debe tenerse en cuenta que las corrientes de las mareas y su modificación por el viento, la densidad del agua, la irregularidad del fondo, la proximidad de una costa y la navegación pueden producir perturbaciones considerables del agua y variaciones de la calidad de la misma en un lugar de captación establecido. Además, debe tenerse muy en cuenta la acción de cualquier descarga local sobre la captación de muestras.

6.1.3 Aguas subterráneas

- Cuando la captación de muestras se efectúa con el fin de evaluar la calidad del agua en un acuífero es necesario antes de efectuar la captación, bombear en los pozos o en las perforaciones de forma que se asegure que el agua captada proviene del acuífero y para eliminar del sistema cualquier producto de corrosión.
- La profundidad a la cual se realiza la captación de muestras debe registrarse a partir del nivel del suelo o de un nivel de referencia.
- El agua de los pozos y perforaciones puede estar estratificada, pudiendo ser necesaria la captación de muestras suplementarias para evaluar el grado de estratificación.

6.1.4 Embalses y lagos

- Debido a que generalmente estos cuerpos de agua son de grandes extensiones, lo usual es dividirlo en sectores y captar muestras que pueden ser instantáneas o integradas en cada una de las áreas seleccionadas. Otros puntos de interés adicionales serían los tributarios a estos cuerpos de agua, siendo recomendable captar muestras en los mismos y verificar su aporte en caudal.
- Si hay descargas sobre estos cuerpos de agua, también deben ser evaluadas captando muestras en la descarga y cuantificando el caudal de la misma.

6.1.5 Sedimentos de ríos, estuarios, lagos y embalses

- Los planes de muestreo se deben establecer considerando las variaciones de composición en los sentidos horizontal y vertical. Los sedimentos son generalmente heterogéneos y se debe tener cuidado a fin de garantizar un número suficiente de muestras para obtener una estimación representativa del parámetro o de los parámetros de interés; como puede ser la profundidad a que se encuentra, espesor del sedimento, o sobre su composición a diferentes niveles.

6.2 Agua potable

- Las muestras deben captarse en sitios fijos, como: plantas de potabilización, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo y en sitios donde muestreos previos han revelado que existen problemas. Adicionalmente se deben captar muestras al azar en todo el sistema de distribución, incluyendo edificios de uso colectivo como hospitales, escuelas, dependencias públicas, edificios de apartamentos, hoteles, fábricas y otros lugares donde haya probabilidad de contaminación a causa de conexiones cruzadas y el retrosifonaje.
- Las autoridades sanitarias y los encargados del abastecimiento de agua deben escoger sitios de muestreos de acuerdo con un programa previamente convenido.
- Es necesario captar muestras de tanques de almacenamiento que abastecen a comunidades o edificios de gran altura. No se deben captar muestras en grifos que gotean entre el vástago y el cuello ya que el agua del exterior del grifo puede contaminar la muestra. Los grifos escogidos deben estar limpios y deben recibir el agua directamente de la aducción. Se requiere quitar los accesorios externos como filtros, boquillas de goma o material plástico y otros dispositivos para evitar salpicaduras, flamear y dejar correr el agua por lo menos tres (3) minutos. (Véase tabla 1) antes de captar la muestra, para asegurar que se ha eliminado el agua estancada.

NOTA. Para el agua potable envasada, véase COVENIN 1431.

Tabla 1. Diámetros y tiempos de purga para líneas de muestreo

Diámetro de tubería, mm (pulg.)	Tiempos de purga por metro de tubería, s
3,18 (1/8)	16
6,36 (1/4)	33
9,54 (3/8)	49
12,72 (1/2)	82
19,08 (3/4)	131
25,40 (1)	196
Estos tiempos de purga equivalen a drenar 3 ó 4 veces el volumen de la tubería de muestreo.	

6.3 Aguas residuales domésticas

- Las aguas residuales domésticas tienen una variación horaria, semanal y estacional. Al caracterizarlas se deben captar muestras compuestas que permitan obtener valores representativos
- Las estaciones o puntos de muestreo deben ser ubicados donde las características del flujo sean tales que favorezcan al máximo las condiciones de mezclas de las aguas. En alcantarillas y canales estrechos y profundos, las muestras deben captarse en el centro del canal y cerca de la superficie, debido a que en este punto la velocidad es mayor y en consecuencia hay menor asentamiento de sólidos. El punto de captación en canales anchos debe ir variándose a lo ancho del canal.
- En el momento de recoger la muestra, es conveniente asegurar la no formación de excesiva turbulencia que puede liberar gases disueltos, lo cual conduce a muestras no representativas.

6.4 Aguas industriales

- Para la captación de muestras de aguas industriales aplican las recomendaciones relativas al muestreo para aguas naturales. En el caso de aguas residuales, el objetivo del muestreo puede diferir debido a que no solo es necesario obtener muestras representativas sino también estudiar la carga de contaminantes, los métodos de tratamiento y la posibilidad de recuperar material.
- Es importante la selección de sitios adecuados de captación de muestras, tomando en cuenta el objetivo del muestreo, periodos de producción, facilidad de acceso, entre otros. Cada situación se debe manejar de forma individual.

NOTA: Para el diseño del plan de muestreo es importante conocer los planos de las instalaciones, drenajes y alcantarillado.

6.5 Sistemas de tratamiento

- En los sistemas de tratamientos de agua es necesario evaluar las características y el flujo de entrada y salida. Esta evaluación permite determinar la eficiencia del sistema, verificar el objetivo del tratamiento y el cumplimiento de las normas ambientales.
- En caso de que se requiera determinar la eficiencia de una unidad se deben captar muestras a la entrada y a la salida de la misma tomando en cuenta las variables críticas y el tiempo de retención.

7 CAPTACIÓN, PRESERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS

El objetivo del muestreo es captar una porción de material suficientemente pequeño en volumen para ser transportado convenientemente, analizado en el laboratorio y que represente en forma precisa el material a evaluar. Es decir, las proporciones o concentraciones relativas de todos los componentes deben ser las mismas tanto en la muestra como en los puntos donde fueron captadas, y la muestra debe ser manipulada de tal manera que no se produzcan cambios significativos en su composición antes de someterlos a las determinaciones analíticas correspondientes.

Pueden ocurrir cambios químicos como precipitación de cationes metálicos en forma de hidróxidos o formación de complejos, cambio de valencia por reducción u oxidación, adsorción de cationes metálicos en las superficies plásticas o de vidrio. También la actividad biológica puede cambiar la concentración de materia orgánica u ocasionar cambios en las formas de nitrógeno y fósforo orgánico. Por estas razones las muestras deben analizarse lo más pronto posible, pero sin embargo en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual debe recurrirse a su preservación.

7.1 Tipos de envases y requisitos de preservación de muestras

En la Tabla 2 se presenta una lista con los requisitos de preservación y tipo de envase para cada parámetro a analizar.

En general se recomienda:

- Llenar los recipientes sin enjuagar con la muestra, el enjuague puede ocasionar la pérdida de algún preservativo añadido y puede ocasionar resultados altos cuando algunos componentes se adhieren a las paredes del recipiente. Dependiendo de las determinaciones a realizar, llenar el recipiente completamente (para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos) o dejar un espacio para aireación, mezcla, etc.

- El recipiente utilizado para captar y conservar la muestra, debería elegirse tomando en cuenta los siguientes criterios: resistencia a temperaturas extremas, resistencia mecánica, facilidad de cierre hermético y de reapertura, tamaño, forma, masa, disponibilidad, costo, posibilidades de limpieza y de reutilización.
- Los recipientes seleccionados deben estar libres del analito de interés a ser determinado, esta situación es más crítica cuando se analizan compuestos a muy bajas concentraciones.
- Los recipientes utilizados son de plástico o vidrio, pero dependiendo del caso un material se prefiere respecto al otro. Por ejemplo, el sodio, la sílice y el boro pueden lixivarse del vidrio suave pero no del plástico, también los niveles trazas de algunos plaguicidas y metales pueden adsorberse a las paredes de vidrio de los recipientes. Por esto se prefieren recipientes de vidrio duro (pyrex o equivalente).
- Para muestras que contienen compuestos orgánicos no usar recipientes plásticos, excepto aquellos hechos con polímeros fluorados tales como el politetrafluoroetileno (PTFE). Algunos analitos de la muestra pueden disolverse (ser adsorbidos) en las paredes de los recipientes plásticos, de igual manera un componente de los recipientes plásticos pueden pasar a las muestras.
- Usar recipientes de vidrio para todos los análisis de orgánicos tales como: volátiles, semivolátiles, plaguicidas, bifenilo policlorado (BPC), aceites y grasas. Algunos analitos como por ejemplo compuestos que contienen bromo, algunos plaguicidas, compuestos aromáticos polinucleares, etc; son sensibles a la luz, captar estas muestras en recipientes de vidrio ámbar para minimizar la fotodegradación.
- Las tapas de los recipientes también pueden representar un problema. No usar tapas con forros de papel. Se debe usar papel de aluminio o forros de PTFE pero se debe tener presente que los forros metálicos pueden contaminar las muestras captadas para análisis de metales y también pueden reaccionar con la muestra si ésta es ácida o alcalina. Los viales de suero con tapas de goma de PTFE o septum plásticos son útiles.
- Las muestras se deben almacenar asegurando que las características a ser analizadas no se alteren, Casi siempre es necesaria la refrigeración (4°C), siendo ésta una buena medida de preservación para las submuestras de la muestra compuesta durante el período de captación. Preferiblemente utilizar hielo comercial o sustitutos de hielo. Evitar el uso de hielo seco puesto que puede congelar las muestras y ocasionar la rotura de los envases de vidrio por congelamiento. Adicionalmente se pueden agregar preservativos químicos cuando éstos no interfieran en los análisis.
- Algunos parámetros tales como: temperatura, pH, alcalinidad, gases disueltos pueden variar en instantes o pocos minutos, y para los cuales no existe método de preservación, se deben analizar inmediatamente en el lugar de muestreo.

7.2 Volumen de muestra

- El volumen de muestra (Véase tabla 2) debe ser suficiente para llevar a cabo todos los análisis requeridos. El volumen mínimo para muestras instantáneas debe ser de 1 ó 2 litros y los volúmenes de las submuestras para preparar la muestra compuesta debe ser de por lo menos entre 50 y 1000 ml, dependiendo de la frecuencia y duración del periodo de captación. Para ciertas determinaciones es necesario captar volúmenes mayores de muestra.

7.3 Identificación y manejo de muestras

- La identificación de las muestras debe incluir: localización exacta del lugar de captación, fecha y hora de captación, tipo de muestra (instantánea, compuesta o integrada), determinaciones en el lugar de muestreo, información de las condiciones climáticas y ambientales, nivel del agua, caudal y si es posible hacer uso del sistema de posicionamiento global (SPG) entre otras.
- Como una parte esencial de cualquier esquema de captación de muestra/análisis de laboratorio se encuentra el aseguramiento de la integridad de la muestra desde que es captada hasta que los datos correspondientes se generen en el laboratorio. La posesión y el manejo de las muestras deben ser rastreable desde su captación hasta su disposición final. Esta documentación histórica de la muestra se denomina cadena de custodia.
- La cadena de custodia es necesaria si existe una posibilidad de que los datos analíticos, o las conclusiones basadas en ellos fueran usados en litigios legales. En aquellos casos donde no se involucren problemas legales, los procedimientos de cadena de custodia siguen siendo útiles para el

control rutinario del flujo de muestras. Los componentes de la misma son: etiquetas, libro de campo, formato de cadena de custodia y requisitos de análisis de laboratorio

7.4 Consideraciones de seguridad

- Como algunos constituyentes de la muestra pueden ser tóxicos, captar las precauciones adecuadas durante el muestreo y el manejo de las muestras. Las sustancias tóxicas pueden penetrar a través de la piel, los ojos y en algunos casos por las vías respiratorias. La ingestión puede ocurrir directamente por contacto de las sustancias tóxicas con la comida o por la adsorción de los vapores sobre la comida. Las precauciones en estos casos van desde el uso de guantes hasta batas, delantales y otros equipos de protección. Siempre se deben usar equipos de protección adecuados para cada situación y siguiendo las indicaciones del fabricante. Se recomienda también usar lentes de seguridad.
- Al trabajar con muestras que generen gases o vapores en el laboratorio, destapar los recipientes de las muestras en la campana, o utilizar un equipo de protección respiratoria con el filtro adecuado.
- Si conoce o sospecha de la presencia de compuestos inflamables en la muestra, las mismas se deben refrigerar, usando únicamente refrigeradores diseñados a prueba de explosiones.
- No permitir comer, beber, ni fumar en el laboratorio o cerca de los lugares de captación de muestras.
- Se deben lavar las manos cuidadosamente antes de ingerir alimentos.
- Captar las muestras de manera segura, evitar situaciones que puedan generar riesgos. Cuando tenga dudas sobre el nivel de precaución o con respecto a algunas muestras consultar a los profesionales en el área de la seguridad, higiene y salud ocupacional.
- Las muestras con contaminantes radiactivos requieren otras consideraciones de seguridad. Colocar etiquetas adecuadas en muestras donde se conozca o sospeche que hay peligro debido a la naturaleza inflamable, corrosiva, tóxica, oxidante o radiactiva, para captar las debidas precauciones en el manejo, almacenamiento y disposición de la muestra.
- El residuo de las muestras analizadas, debe ser manejado de acuerdo a los establecido en los instrumentos legales en el área ambiental vigentes.

BIBLIOGRAFÍA

- EPA SW-846 Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewater. 1998
- HIBJAN, Andrés Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas. Editorial Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1983.
- ISO 5667-2:1991 Water quality – Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques.
- Manual de aguas para uso industrial. American Society for Testing and Materials. Ed. Limusa. Tercera edición, 1976
- Metcalf & Eddy Ingeniería de Aguas Residuales, Vol I. Tratamiento, vertido y reutilización. Mc Graw-Hill Tercera edición, 1995.
- AWWA-WEF-APHA "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 20th, 1998.
- UNE-EN 25667-1 Calidad del agua. Muestreo, Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo

Participaron en la primera revisión de esta norma: Alberdi, Rosario; Bastardo, Zidy; Carpi, Maruja; Costa, Julia; Fuentes, Judith; Gómez, Eumelia; Latouche, María; Olivier, Gladys; Ortiz, María J.; Picón, Ana Raquel; Plaza, Dorania; Sánchez, Cesar; Sánchez, Ramón.

Tabla 2. Requisitos de preservación y tipo de envase para cada parámetro

Análisis	Envase	Volumen Mínimo de Muestra (ml)	Tipo de Muestra	Preservación	Tiempo Máximo Recomendado de Almacenamiento según SME ¹
Aceites y grasas	V(*)	1000	I	H ₂ SO ₄ o HCl a pH < 2, refrigerar	28 días
Acidez	P, V (B)	100	I	Refrigerar	24 horas
Alcalinidad	P, V	200	I	Refrigerar	24 horas
Boro	P (PTFE) o cuarzo	1000	I, C	No requiere	28 días
Bromuro	P, V	100	I, C	No requiere	28 días
Carbono Orgánico Total	V (B)	100	I, C	Analizar inmediatamente o añadir HCl, H ₃ PO ₄ o H ₂ SO ₄ a pH < 2, refrigerar	7 días
Cianuro Total	P, V	1000	I, C	NaOH a pH > 12, refrigerar en oscuridad	24 horas
Cloro Residual Total	P, V	500	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Clorofila	P, V	500	I	Sin filtrar, oscuridad 4°C, filtrado, oscuridad -20°C	24-48 horas
Cloruros	P, V	50	I, C	No requiere	NC
Color	P, V	500	I, C	Refrigerar	48 horas
Conductividad	P, V	500	I, C	Refrigerar	28 días
DBO	P, V	1000	I, C	Refrigerar	6 horas
DQO	P, V	100	I, C	Analizar inmediatamente o añadir H ₂ SO ₄ a pH<2	7 días
Dióxido de Carbono	P, V	100	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Dióxido de Cloro	P, V	500	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Dureza	P, V	100	I, C	HNO ₃ o H ₂ SO ₄ a pH<2	6 meses
Fenol	P, V, PTFE	500	I, C	H ₂ SO ₄ a pH <2, refrigerar, analizar inmediatamente	NC
Fosfatos	V (A)	100	I	Para fosfatos disueltos, filtrar inmediatamente, refrigerar	48 horas
Fluoruro	P	100	I, C	No requiere	28 días
Yodo	P, V	500	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Mercurio	P (A), V (A)	1000	I, C	HNO ₃ a pH<2, refrigerar a 4°C	28 días

Tabla 2. Requisitos de preservación y tipo de envase para cada parámetro. (Continuación)

Análisis	Envase	Volumen Mínimo de Muestra (ml)	Tipo de Muestra	Preservación	Tiempo Máximo Recomendado de Almacenamiento según SME ^{1*}
Metales	P (A), V (A)	1000	I, C	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, HNO ₃ a pH<2,	6 meses
Cromo IV	P (A), V (A)	1000	I	Refrigerar	24 horas
Nitrato	P, V	100	I, C	Analizar inmediatamente refrigerar	48 horas
Nitrato + Nitrito	P, V	200	I, C	H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	1-2 días
Nitrito	P, V	100	I, C	Analizar inmediatamente refrigerar	Ninguna
Nitrógeno Amoniacal	P, V	500	I, C	Analizar inmediatamente o añadir H ₂ SO ₄ a pH<2, refrigerar	7 días
Nitrógeno Orgánico (Kjeldahl)	P, V	500	I, C	Refrigerar, añadir H ₂ SO ₄ a pH<2	7 días
Olor	V	500	I	Analizar inmediatamente refrigerar	6 horas
O.D (a) (Electrodo)	V (1)	300	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
O.D (Winkler)	V (1)	300	I	La titulación puede esperar, si la muestra ha sido acidificada	8 horas
Ozono	V	1000	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Pesticidas	P (S)	1000	I, C	1000 mg/l de ácido ascórbico. Si hay presencia de cloro residual, refrigerar	7 días
pH	P, V	50	I	Analizar inmediatamente	0,25 horas
Salinidad	V, sello de cera	240	I	Sellar con cera. Analizar inmediatamente	6 meses

Tabla 2. Requisitos de preservación y tipo de envase para cada parámetro. (Continuación)

Análisis	Envase	Volumen Mínimo de Muestra ml	Tipo de Muestra	Preservación	Tiempo Máximo Recomendado de Almacenamiento según SME ¹ *
Sílice	PTFE o cuarzo	200	I, C	Refrigerar, no congelar	28 días
Sulfatos	P, V	100	I, C	Refrigerar	28 días
Sulfuros	P, V	100	I, C	4 gotas de acetato de Zinc 2N/100ml y NaOH hasta pH>9, refrigerar	6 meses
Sólidos	P, V	200	I, C	Refrigerar	7 días
Temperatura	P, V	--	I	Determinar en el sitio de muestreo	0,25 horas
Turbiedad	P, V	100	I, C	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas	24 horas
<p>P = Plástico V = Vidrio (1) = Utilizar botella Winkler (*) = Envase con boca ancha y calibrado (a) = Oxígeno disuelto (**) = Véase método específico (A) = Envase enjuagado con ácido nítrico 1+1 V(B) = Vidrio borosilicato (S) = Envase enjuagado con solvente orgánico I = Instantánea C = Compuesta NC = No se Cita PTFE = Politetrafluoruro ¹ = Standard Methods for the Examination</p>					

ANEXO B

HOJA TECNICA DE LOS GASES ESTUDIADOS



Ficha de Datos de Seguridad
Según Directiva 2001/58/CE

141129 Amoníaco 25% (en NH₃) PRS

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación:
Amoníaco 25% (en NH₃)

1.2 Uso de la sustancia o preparado:

Para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

1.3 Identificación de la sociedad o empresa:

PANREAC QUIMICA, S.A.U. C/Garraf, 2 E-08211 Castellar del Vallès

(Barcelona) España Tel.:(+34) 937 489 400

Urgencias:

Número único de teléfono para llamadas de urgencia: 112 (UE)

Tel.:(+34) 937 489 499

2.

2. Composición/Información de los componentes

Solución acuosa

Amoníaco 25% (en NH₃)

CAS [1336-21-6] Fórmula: NH₃ M.=17,03

Número CE (EINECS): 215-647-6

Número de índice CE: 007-001-01-2

R: 34-50

<p>3. Identificación de los peligros</p> <p>Provoca quemaduras. Muy tóxico para los organismos acuáticos.</p> <p>4.</p>
<p>4. Primeros auxilios</p> <p>4.1 Indicaciones generales: En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.</p> <p>4.2 Inhalación: Trasladar a la persona al aire libre. En caso de que persista el malestar, pedir atención médica.</p> <p>4.3 Contacto con la piel: Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas. En caso de irritación, pedir atención médica.</p> <p>4.4 Ojos: Lavar con agua abundante (mínimo durante 15 minutos), manteniendo los párpados abiertos. Pedir atención médica.</p> <p>4.5 Ingestión: Beber agua abundante. Evitar el vómito (existe riesgo de perforación). Pedir atención médica. No neutralizar.</p> <p>5.</p>
<p>5. Medidas de lucha contra incendio</p> <p>5.1 Medios de extinción adecuados: Agua. Espuma.</p> <p>5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:</p> <p>5.3 Riesgos especiales: En caso de incendio pueden formarse vapores de NH₃. Precipitar los vapores formados con agua. Refrigerar los recipientes con agua. Incombustible.</p>
<p>6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental</p> <p>6.1 Precauciones individuales: No inhalar los vapores.</p> <p>6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente: -----</p> <p>6.3 Métodos de recogida/limpieza: Recoger con materiales absorbentes (Absorbente General</p>

Panreac, Kieselguhr, etc.) o en su defecto arena o tierra secas y depositar en contenedores para residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normativas vigentes. Limpiar los restos con agua abundante. Neutralizar con ácido sulfúrico diluido.

7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Manipulación:

Sin indicaciones particulares.

7.2 Almacenamiento:

Recipientes bien cerrados. En local bien ventilado. Temperatura ambiente.

8. Controles de exposición/protección personal

8.1 Medidas técnicas de protección:

8.2 Control límite de exposición:

VLA-ED: 25 ppm ó 18 mg/m³

VLA-EC: 35 ppm ó 25 mg/m³

8.3 Protección respiratoria:

En caso de formarse vapores/aerosoles, usar equipo respiratorio adecuado. Filtro K. Filtro P₃.

8.4 Protección de las manos:

Usar guantes apropiados (neopreno, PVC, nitrilo, látex).

8.5 Protección de los ojos:

Usar gafas apropiadas.

8.6 Medidas de higiene particulares:

Quitarse las ropas contaminadas. Usar equipo de protección completo. Lavarse manos y cara antes de las pausas y al finalizar el trabajo.

8.7 Controles de la exposición del medio ambiente:

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

El proveedor de los medios de protección debe especificar el tipo de protección que debe usarse para la manipulación del producto, indicando el tipo de material y, cuando proceda, el tiempo de penetración de dicho material, en relación con la cantidad y la duración de la exposición.

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto:

Líquido transparente e incoloro.

Olor:

Característico.

Presión de vapor: (20°C) 500 hPa

Densidad (20/4): 0,91

Solubilidad: Miscible con agua

10. Estabilidad y reactividad**10.1 Condiciones que deben evitarse:**

10.2 Materias que deben evitarse:

Soluciones alcalinas. Yodo. Acidos fuertes. Metales y sus aleaciones.

10.3 Productos de descomposición peligrosos:

10.4 Información complementaria:

Los gases / vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire.

11. Información toxicológica**11.1 Toxicidad aguda:**

DL₅₀ oral rata: 350 mg/kg.

CL₅₀ inh rata: 2000 ppm(V)/4h (anh.)

11.2 Efectos peligrosos para la salud:

Por inhalación de vapores: tos, bronquitis, edema pulmonar. En caso de formación de vapores, fuertemente irritante.

En contacto con la piel: Irritaciones, quemaduras.

Por contacto ocular: quemaduras, ceguera (lesión irreversible del nervio óptico).

Por ingestión: Irritaciones en mucosas dolores de estómago, náuseas, vómitos, colapso, pérdida del conocimiento, dificultades respiratorias. Puede provocar perforación intestinal y de esófago.

12. Información Ecológica

12.1 Movilidad :

12.2 Ecotoxicidad :

12.2.1 - Test EC₅₀ (mg/l) :

Peces (*Salmo gairdneri*) = EC₁₀ 0,3 mg/l ; Clasificación :

Extremadamente tóxico.

Crustáceos (*Daphnia Magna*) = 60 mg/l ; Clasificación :

Extremadamente tóxico.

12.2.2 - Medio receptor :

Riesgo para el medio acuático = Medio

Riesgo para el medio terrestre = Bajo

12.2.3 - Observaciones :

Extremadamente tóxico en medios acuáticos. La ecotoxicidad se debe a la desviación del pH.

12.3 Degradabilidad :

12.3.1 - Test :-----

12.3.2 - Clasificación sobre degradación biótica :

DBO₅/DQO Biodegradabilidad = ----

12.3.3 - Degradación abiótica según pH : -----

12.3.4 - Observaciones :

12.4 Acumulación :

12.4.1 - Test :

12.4.2 - Bioacumulación :

Riesgo = ----

12.4.3 - Observaciones :

12.5 Otros posibles efectos sobre el medio natural :

No permitir su incorporación al suelo ni a acuíferos.

13. Consideraciones sobre la eliminación

13.1 Sustancia o preparado:

En la Unión Europea no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos.

2001/573/CE: Decisión del Consejo, de 23 de julio de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE de la Comisión en lo relativo a la lista de residuos.

Directiva 91/156/CEE del Consejo de 18 de marzo de 1991 por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los

residuos.

En España: Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Publicada en BOE 22/04/98.

ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Publicada en BOE 19/02/02.

13.2 Envases contaminados:

Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos.

Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de diciembre de 1994, relativa a los envases y residuos de envases.

En España: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicada en BOE 25/04/97.

Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. Publicado en BOE 01/05/98.

14. Información relativa al transporte

Terrestre (ADR):

Denominación técnica: AMONIACO EN SOLUCIÓN acuosa con más del 10% pero no más del 35% de amoniaco
ONU 2672 Clase: 8 Grupo de embalaje: III

Marítimo (IMDG):

Denominación técnica: AMONIACO EN SOLUCIÓN acuosa con más del 10% pero no más del 35% de amoniaco
ONU 2672 Clase: 8 Grupo de embalaje: III

Aéreo (ICAO-IATA):

Denominación técnica: Amoníaco en solución
ONU 2672 Clase: 8 Grupo de embalaje: III
Instrucciones de embalaje: CAO 813 PAX 819

15. Información reglamentaria

15.1 Etiquetado según Directiva de la CE

Símbolos:  

Indicaciones de peligro: Corrosivo Peligroso para medio ambiente

Frases R: 34-50 Provoca quemaduras. Muy tóxico para los

organismos acuáticos.

Frases S: 26-36/37/39-45-61 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Usense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos-la cara. En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico (si es posible, muéstrela la etiqueta). Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad. Número de índice CE: 007-001-01-2

16. Otras informaciones

Respecto a la revisión anterior, se han producido cambios en los apartados: 8.

Información de los componentes:

Amoníaco 25% (en NH₃)

CAS [1336-21-6] NH₃ M.=17,03

215-647-6 007-001-01-2



R: 34-50

Provoca quemaduras. Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Número y fecha de la revisión: 1 18.12.02

Los datos consignados en la presente Ficha de Datos de Seguridad, están basados en nuestros conocimientos actuales, teniendo como único objeto informar sobre aspectos de seguridad y no garantizándose las propiedades y características en ella indicadas.

(<http://www.panreac.com/new/esp/fds/ESP/X141129.htm>)

ANEXO C

LISTA DE SÍMBOLOS

A continuación, se presentan todos los símbolos utilizados a lo largo del trabajo de investigación.

LATINOS

A: area del tanque (m²)

Ca: Cantidad de agua (L)

Cc: Costo de los codos (Bs)

Cci: Cantidad de gas contenido en cada cilindro a vaciar (Kg)

Cl: Número de lavados a la semana (adim)

CN: Conversión del parámetro (Kg)

C_{NaOH}: costo del hidróxido de sodio (Bs/Kg)

C_{H₂O}: costo del agua (Bs/L)

Cp: cantidad de pintura (gal)

Cpcz: cantidad de pintura de cromato zinc (gal)

Cpe: cantidad de pintura epoxy (gal)

Ct: costos de la tubería (Bs/m)

Ctp: costos por la adquisición de pinturas (Bs)

Ctub: costo de tubería (Bs)

cs: costo de solvente involucrado a los lavados en el año 2007 (Bs)

Cst: costos asociados al sistema de tubería a implementar (Bs)

Cv: Costos de las válvulas (Bs)

D: Dato proveniente de la caracterización (ppm)

E: eficiencia (%)

Ei: Eficiencia del lavador al realizar cada uno de los lavados. (%)

G: ganancias generadas por la implementación de la alternativa seleccionada

h: altura del tanque (m)

i: Contador (adim).

lbl: ingreso bruto por del efluente (Bs)

Lt: longitud de tubería (m)

mg: Cantidad de gas total que se desea absorber en cada lavado (kg)

Nc: número de codos (adim)
NI: Número de lavados (adim)
nm: número de meses del año (adim)
Nv: número de válvulas (adim)
nv: Número de valores registrados (adim)
Nve: Número de valores de eficiencia del lavador obtenidos (adim).
Nv1: Número de valores reportados (adim)
Pcz: precio de la pintura de cromato zinc (Bs/gal)
Pe: precio de la pintura epoxy (Bs/gal)
pl: promedio del número de lavados (adim)
PT: Masa del cilindro lleno (Kg)
pvl: precio de venta del efluente (Bs/L)
R: radio del tanque (m)
Ren: rendimiento de 1 gal de pintura. (m²/gal)
Sc: Cantidad de solvente utilizado (L).
Sh: Cantidad de hidróxido de sodio (L)
T: Masa del cilindro vacío (Kg)
Vaa: Volumen de agua al realizar los lavados con amoníaco en el año 2006 (L)
Vac: Volumen de agua al realizar los lavados con cloro en el año 2006 (L)
VI: Volumen del lavador (L)
Vt: volumen del tanque (m³)
Xc: Fracción del componente en la solución (adim)

GRIEGOS

ρ_{NaOH} : Densidad de hidróxido de sodio a 20°C (Kg/L)
 Π : constante (adim)
 σ : Desviación estándar (adim).

SIMBOLOS

\bar{E} : Eficiencia promedio (%)