

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN, RECICLO Y REUTILIZACIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAS PLANTAS DEL ÁREA DE NITROGENADOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bachiller CARRASCO R., MARÍA G.  
Para optar al Título  
De Ingeniero Químico

Caracas, 2013

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN, RECICLO Y REUTILIZACIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAS PLANTAS DEL ÁREA DE NITROGENADOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María Rincones  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. David Palacios

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Bachiller CARRASCO R., MARÍA G.  
Para optar al Título  
De Ingeniero Químico

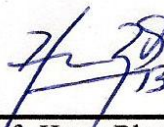
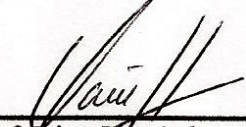
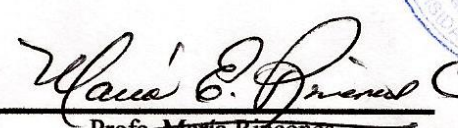
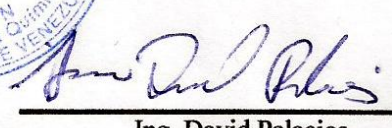
Caracas, 2013

Caracas, noviembre, 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado asignado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller María Gabriela Carrasco Rivas titulado:

**“FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN, RECICLO Y REUTILIZACIÓN DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAS PLANTAS DEL ÁREA DE NITROGENADOS DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Químico, y sin que esto signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **Aprobado**

 _____ Prof. Henry Blanco Jurado		 _____ Prof. Jaime Hernández Jurado
 _____ Profa. María Rincón Tutor Académico		 _____ Ing. David Palacios Tutor Industrial

## DEDICATORIA

*A Oliva Teresa*

La única abuela en mi corazón,

Gracias por mi mejor 25%

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios, mis eggun y mis santos que siempre me acompañan, me cuidan y desde el cielo me dan sus bendiciones. A mi abuela Oliva por enseñarme a leer y a buscar el conocimiento. A mi madre Ilcamar, por darme el ejemplo de intentarlo todas las veces que sea necesario, por enseñarme a ser una mujer luchadora, con valores y por compartir su sabiduría conmigo. A mi hermano del alma Manu por los pequeños detalles y las bromas extrañas, te llevo en el corazón aunque no te lo diga. A mi querido compañero de vida Gustavo, gracias por existir, citándote “por y a pesar de esas manías que te hacen único”.

A la UCV, la casa que vence la sombra, que me acogió en su seno y me oriento a buscar la excelencia, A la coral de la Facultades de Ingeniería y Medicina, “Cantoría Universitaria Aquiles Nazoa”, donde aprendí a ser una ucevista de corazón, a apreciar la belleza de nuestro himno universitario, el valor de una mano amiga, la dulzura del café compartido y la camaradería que nos une a pesar de que estudiemos distintas carreras; como siempre preparados para lo imprevisto. También a diseño vocal “coral de la Facultad de Arquitectura” donde mandaban las armonías raras, las personas extraordinarias y donde ser diferente e irreverente nunca es un problema.

A los profesores de la facultad, en especial a Nelson Macquhae, que me hablo del honor y la constancia, a Anubis Pérez que me dio el mejor consejo que recibí en toda la carrera ya que sin sus palabras no estaría aquí. A la profesora María Rincones que me guio con paciencia y dulzura a el logro de mis objetivos y que siempre tuvo una palabra de ánimo. Al profesor Armando Vizcaya, que me apoyo en todo y me aconsejo con cariño y en especial al profesor Douglas González, que me apoyo incondicionalmente y que me dio todo el respaldo que un tesista puede desear, no solo fue un gran amigo sino un excelente compañero de trabajo y un gran jefe. Dios los bendiga a todos y les permita pasar más años compartiendo su conocimiento y ayudando a otros.

A PEQUIVEN S:A y a las maravillosas personas que trabajan ahí, a todos los ingenieros de procesos y en especial a la gente del laboratorio central, Junior, Maribel

Daniel, Rossany, Jefferson y Mariana que me hicieron sentir parte del mismo. Y por último pero no menos importante a David Palacios, mi hermano, mi amigo mi compadre, un excelente tutor, un gran amigo, una persona de moral intachable, e inteligencia privilegiada, gracias por todo.

Y para terminar gracias a todas y cada una de las personas que conocí y compartieron experiencias durante mi formación profesional, a Ana Carolina Crespo, María Esperanza Farias, María Antonia Ermini, Jenny Marín, Ibel Sierra, Luis Anzola, Alberto Flores, Sarid Gomez, Miguel dell'Uomini, Alexander Pérez y a muchos otros que disfrutaron junto a mí la experiencia de estar en esta, la casa que vence la sombra.

A todos ustedes, Gracias por Existir.

**Carrasco R., María G.**

**FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN, RECICLO Y REUTILIZACIÓN  
DE LOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE LAS PLANTAS DEL ÁREA DE NITROGENADOS  
DEL COMPLEJO PETROQUÍMICO MORÓN**

**Tutor académico: Profa. María Rincones. Tutor industrial: Ing. David Palacios.  
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 121pp.**

**Palabras Clave:** Aguas residuales industriales, Tratamiento de aguas, Recuperación de efluentes, Aprovechamiento de residuos, Reutilización de efluentes.

**Resumen.** Se analizó la factibilidad técnica de la recuperación, reciclaje y reutilización de los efluentes líquidos de las plantas del Área de Nitrogenados del Complejo Petroquímico Morón. Para ello, se identificaron los efluentes líquidos que se producen en el área, así como los equipos que utilizan agua como insumo; luego se aplicó un programa de muestreo que permitió caracterizar los efluentes. Mediante la comparación de la calidad de los efluentes con la requerida por los equipos se establecieron las alternativas de recuperación, reciclaje y reutilización factibles, realizando el proceso de selección por medio de un método de selección múltiple binaria. Como resultado se determinó que el complejo produce un total de 483494TM de efluentes al año de los cuales 164955TM pueden ser recuperados en las plantas de agua desmineralizada y agua de enfriamiento. Se concluye que la planta de Agua desmineralizada es la planta del área que produce mayor cantidad de efluentes (329489TMA) de los cuales el 97% no son recuperables. Se recomienda cambiar la tecnología de esta planta por otra menos agresiva con el ambiente.

## INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
I.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.2.    ANTECEDENTES .....	5
I.3.    OBJETIVOS .....	7
I.3.1.    Objetivo General .....	7
I.3.2.    Objetivos Específicos .....	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	8
II.1.    TECNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN .....	11
II.1.1.    Operaciones Físicas Unitarias.....	11
II.1.2.    Procesos Químicos Unitarios.....	12
II.1.3.    Procesos Biológicos Unitarios .....	13
II.2.    APLICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES RECUPERADAS ....	14
II.2.1.    Irrigación .....	16
II.2.2.    Torres De Enfriamiento.....	16
II.2.3.    Calderas .....	19
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....	22
III.1.    IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DEL ÁREA QUE UTILIZAN AGUA COMO INSUMO Y DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE NITROGENADOS ....	22
III.1.1.    Estudio de los Diagramas de Flujo de Proceso.....	22
III.1.2.    Revisión de los Balances de Masa del Proceso .....	23
III.1.3.    Identificación de los Efluentes Líquidos y Equipos que Requieren Agua en las Plantas del Área de Nitrogenados .....	23
III.2.    CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES IDENTIFICADOS ....	24
III.2.1.    Definición de Programa de Muestreo.....	24



III.2.1.1. Objetivos del muestreo .....	24
III.2.1.2. Sitio de captación de muestra .....	24
III.2.1.3. Cuantificación de caudales .....	24
III.2.1.4. Tipo, número y volumen de las muestras .....	25
III.2.1.5. Precauciones que hay que tomar con las muestras.....	25
III.2.1.6. Cronograma de captación de muestras .....	26
III.2.2. Implementación del Programa de Muestreo .....	26
III.2.3. Realización de los Análisis de Laboratorio Establecidos.....	26
III.2.3.1. Procesamiento de la muestra.....	26
III.2.3.2. Generación de resultados.....	27
III.3. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA EN LOS EQUIPOS .....	28
III.4. ESTABLECIMIENTO DE OPCIONES DE RECUPERACIÓN, RECICLO Y REÚSO PARA CADA EFLUENTE .....	28
III.5. SELECCIÓN DE LA OPCIÓN TÉCNICA QUE MEJOR CONVenga AL DESARROLLO DEL PROCESO.....	29
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	34
IV.1. IDENTIFICACIÓN DE EFLUENTES Y EQUIPOS RECEPTORES DE AGUA 34	
IV.1.1. Planta de Urea.....	35
IV.1.2. Planta de Agua Cruda.....	35
IV.1.3. Planta de Aguas Servidas .....	36
IV.1.4. Planta de Aguas Secundarias .....	37
IV.1.5. Planta de Aguas Terciarias .....	38
IV.1.6. Estación de Gas Natural .....	39
IV.1.7. Planta de Generación de Energía Eléctrica.....	39
IV.1.8. Planta de Agua de Enfriamiento para Nitrogenados .....	40
IV.1.9. Planta de Aire Comprimido Para Nitrogenados.....	41
IV.1.10. Planta de Generación de Vapor.....	42

IV.1.11. Planta de Agua Desmineralizada para Nitrogenados .....	44
IV.1.12. Planta de Amoniacó .....	45
IV.1.12.1. Hidrodesulfuración .....	46
IV.1.12.2. Reformación del Gas Natural.....	46
IV.1.12.3. Conversión del Monóxido de Carbono.....	47
IV.1.12.4. Remoción de Dióxido de Carbono .....	48
IV.1.12.5. Metanación.....	49
IV.1.12.6. Síntesis de Amoniacó .....	50
IV.1.12.7. Refrigeración y Almacenamiento.....	51
IV.1.13. Identificación de Efluentes y Equipos Receptores.....	51
IV.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES .....	52
IV.2.1. Planta de Generación de Vapor.....	53
IV.2.2. Planta se Agua Desmineralizada para Nitrogenados.....	54
IV.2.3. Planta de Amoniacó .....	56
IV.3. CALIDAD DE AGUA REQUERIDA EN LOS EQUIPOS .....	58
IV.3.1. Calderas, Intercambiadores Kettle y Filtros .....	58
IV.3.2. Torre de Enfriamiento .....	58
IV.4. OPCIONES DE RECUPERACIÓN, RECICLO Y/O REUTILIZACIÓN .	
.....	58
IV.4.1. Planta de Generación de Vapor: Purga de Calderas H1, H2, H3 y H4	
.....	59
IV.4.2. Planta de Amoniacó: Purga de Intercambiadores 901-A, 901-B y	
901-C .....	60
IV.4.3. Planta de Amoniacó: Condensado SR-752.....	61
IV.4.4. Planta de Amoniacó: Condensado SR-804.....	63
IV.4.5. Planta de Agua Desmineralizada: Filtros de Carbón Activado .....	64
IV.4.6. Planta de Agua Desmineralizada: Filtros de Resina Catiónica.....	65
IV.4.7. Planta de Agua Desmineralizada: filtros de Resina Aniónica y Lecho	
Mezclado.....	66
IV.5. PROPUESTA FINAL .....	66

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
V.1.    CONCLUSIONES.....	68
V.2.    RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFIA.....	71
APÉNDICES.....	74

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Ubicación de las Plantas Principales del Complejo Petroquímico Morón .....	34
Figura N° 2. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Agua Cruda .....	35
Figura N° 3. Diagrama de Flujo de la Planta de Aguas Servidas .....	36
Figura N° 4. Diagrama de Flujo de la Planta de Aguas Secundarias .....	37
Figura N° 5. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Terciarias	38
Figura N° 6. Diagrama de Flujo, Subestación de Gas Natural .....	39
Figura N° 7. Diagrama de Flujo de la Planta de Generación de Energía Eléctrica	40
Figura N° 8. Diagrama de flujo de la planta de agua de enfriamiento .....	41
Figura N° 9. Diagrama de Flujo de la Planta de Aire Comprimido para Nitrogenados .....	42
Figura N° 10. Diagrama de Flujo de la Planta de Generación de Vapor.....	43
Figura N° 11. Planta de Agua Desmineralizada para Nitrogenados .....	44
Figura N° 12. Diagrama de Bloques de la Planta de Producción de Amoniaco ....	45
Figura N° 13. Diagrama de flujo de la sección de hidrosulfuración .....	46
Figura N° 14. Diagrama de Flujo de la Sección de Reformación.....	47
Figura N° 15. Diagrama de Flujo de la Sección de Conversión .....	47
Figura N° 16. Diagrama de Flujo de la Sección de Remoción .....	48
Figura N° 17. Diagrama de Flujo de la Sección de Metanación.....	50
Figura N° 18. Diagrama de Flujo de la Sección de Síntesis de la Planta de Producción de Amoniaco.....	50
Figura N° 19. Diagrama de Bloques de la Propuesta Final de Reutilización de Efluentes .....	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Aplicación de las Operaciones Físicas Unitarias en el Tratamiento de Aguas Residuales. ....	12
Tabla N° 2. Aplicaciones de los Procesos Químicos Unitarios en el Tratamiento del Agua Residual .....	13
Tabla N° 3. Aplicaciones de los Procesos Biológicos Unitarios en el Tratamiento del Agua Residual .....	13
Tabla N° 4. Categorías de Reutilización de Aguas Residuales Municipales y Posibles Limitaciones.....	14
Tabla N° 5. Calidad de Agua Exigida en Torres de Enfriamiento.....	18
Tabla N° 6. Calidad del Agua Antes de la Adición de Productos Químicos para el Acontecimiento Interno .....	21
Tabla N° 7. Código de la Instrucción de Trabajo Utilizada para Cada Análisis ...	27
Tabla N° 8. Matriz de Comparación Binaria .....	30
Tabla N° 9. Tabla de Selección.....	33
Tabla N° 10. Plantas donde se producen efluentes y/o se requiere Agua .....	51
Tabla N° 11. Masa Anual de los Efluentes Generados en las Planta de Producción .....	53
Tabla N° 12. Flujo Másico de los Efluentes en la Planta de Generación de Vapor.....	53
Tabla N° 13. Calidad de los Efluentes de la Planta de Generación de Vapor .....	54
Tabla N° 14. Flujo Másico Promedio de los Efluentes Producidos en la Planta de Agua Desmineralizada.....	55
Tabla N° 15. Calidad Promedio de los Efluentes Producidos en la Planta de Agua Desmineralizada.....	55
Tabla N° 16. Caudales Promedio de los Efluentes en la Planta de Amoniaco .....	56
Tabla N° 17. Calidad promedio de los Efluentes Producidos por los Intercambiadores .....	57
Tabla N° 18. pH y Nitrógeno Total de los Efluentes Producidos en los Separadores .....	57

Tabla N° 19 Matriz de Selección, Purga de Calderas .....	59
Tabla N° 20. Matriz de Selección, Purga de Intercambiadores .....	61
Tabla N° 21. Matriz de Selección, Purga Condensado SR-752.....	62
.Tabla N° 22. Matriz de Selección, Condensado SR-804.....	63
Tabla N° 23. Matriz de Selección, Descarga de filtros de Carbón Activado .....	64
Tabla N° 24. Matriz de Selección, Descarga de filtros de Resina Aniónica .....	65
Tabla N° 25. Opciones más Favorables de Recuperación, recicló y/o Reutilización de Efluentes.....	67

## INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años ha aumentado significativamente el impacto que está produciendo el hombre sobre los ecosistemas. Para tratar de reducir dicho impacto muchos países han desarrollado normativas que reducen la cantidad de efluentes que pueden ser descargados, así como las cantidades de contaminantes que pueden estar presentes en los mismos. Por estas razones se han desarrollado nuevas tecnologías denominadas limpias que favorecen la minimización de los efluentes, así como la máxima utilización de la materia prima.

Enmarcado en este contexto, se presenta el siguiente Trabajo Especial de Grado, en el que se evalúa la factibilidad técnica de la recuperación, reciclaje y reutilización de los efluentes líquidos de las plantas del área de nitrogenados del Complejo Petroquímico Morón. Se muestra además, los avances logrados previamente por otros investigadores en el manejo de efluentes en el complejo, se indica la metodología que se siguió para el logro de los objetivos planteados, así como los resultados obtenidos durante el desarrollo del mismo.

Este trabajo es de gran importancia para el complejo ya que la demanda de agua de las plantas que lo conforman ha crecido notablemente, aunado a que el dique que provee el agua ha disminuido su nivel, por lo que es necesario tomar medidas que favorezcan la reducción de la demanda, con el beneficio extra de reducir las descargas de efluentes líquidos que se producen.

Para realizar este trabajo se siguieron dos líneas de acción, la primera fue, una investigación documental, tanto de los trabajos previos realizados en el complejo como de la teoría de manejo de efluentes que se necesita para tomar las decisiones que permitan el logro de los objetivos planteados; mientras que la segunda fue una investigación de campo en la que se identificaron y caracterizaron todos los efluentes líquidos, con el fin de diseñar estrategias de recuperación, reciclaje y reutilización de dichos efluentes.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde mediados del siglo XX, diversos sectores ecológicos y científicos han observado con preocupación el impacto que producen las actividades humanas en una gran variedad de ecosistemas a escala mundial. El tratamiento inadecuado de los desechos, la escasa infraestructura para el tratamiento del agua, la sobrepoblación y la carencia de políticas ambientales adecuadas, han producido la degradación de múltiples ecosistemas y la contaminación de las fuentes de agua potable, tales como: ríos, lagos, quebradas, manantiales, así como también mares y océanos.

A propósito de ello, el informe sobre el desarrollo humano 2006, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señala que para ese año, alrededor de dos mil seiscientos (2.600) millones de personas no tenían acceso a agua mejorada, ni a un saneamiento adecuado, es decir que la fuente de agua segura más cercana a ellas, se encuentra a más de un kilómetro, por lo que obtienen agua proveniente de drenajes, acequias o arroyos que pueden estar infectados con agentes patógenos (ONU, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2006).

En la actualidad, se estima que setecientos ochenta y tres (783) millones de personas no cuentan con acceso a agua mejorada, mientras muchas otras utilizan agua que no es segura para beber (ONU, High Level Forum – World Water Day, 2013, Marzo 22).

Estos datos han sido recabados por la ONU en el marco de las actividades del decenio internacional para la acción “el agua fuente de vida” 2005- 2015, cuyo objetivo es influir de forma positiva en la protección de los cuerpos de agua, generando e implementando normativas y campañas de educación ambiental en los países asociados a esta organización.

Latinoamérica, así como otras regiones en vías de desarrollo, no escapa de esta problemática; los acelerados procesos de industrialización, el uso excesivo de



fertilizantes y plaguicidas en la actividad agrícola, la explotación indiscriminada de recursos naturales, la minería, la sobrepoblación, así como la carencia de una planificación urbanística que permita que las ciudades y pueblos crezcan de forma organizada y con los servicios adecuados de agua potable y aguas servidas; aunado a la falta de una normativa efectiva que regule la disposición de desechos y el cuidado al medio ambiente, han generado una degradación constante del mismo y la pérdida de muchas fuentes de agua potable.

Por estas razones en Venezuela se ha desarrollado una estructura legal que favorece la preservación de las fuentes de agua; en principio, la Ley de Aguas (2007) establece en su artículo 13 que “los generadores de efluentes líquidos deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas,...”, mientras que las Normas para la Clasificación, y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto 883), establecen en su artículo 10, 11 y 15, la cantidad máxima y rangos de contaminantes que las industrias pueden descargar en cuerpos de agua, medio marino-costero y redes cloacales respectivamente.

A pesar de ello, el Estado no ha realizado una supervisión efectiva de las industrias, ni ha desarrollado campañas para crear una conciencia ambiental que favorezca el manejo sustentable del agua como recurso, lo que trae como consecuencia, que gran cantidad de efluentes no tratados terminen en la red de aguas servidas de uso doméstico, lo que dificulta el saneamiento de las mismas, afectando los cuerpos de agua donde se vierten esos efluentes.

Aunado a esto, gran parte del sector industrial se muestra apático y reacio a cumplir la normativa establecida, pues a su parecer, ellos no forman parte del problema, desviando su interés a la actividad productiva, cancelando solo los impuestos correspondientes a la misma, en lugar de desarrollar estrategias de recuperación, reutilización y reciclaje del recurso, lo que además les permitiría ahorrar en materia prima, costos de producción y multas por incumplimiento de la ley.

A pesar de esta situación, algunas empresas han venido realizando esfuerzos para minimizar sus efluentes líquidos; tal es el caso de la empresa estatal Petroquímica de

Venezuela S.A (PEQUIVEN), específicamente en el Complejo Petroquímico Morón, el cual se encuentra ubicado en las costas del estado Carabobo, en las cercanías de la población de Morón y posee una capacidad actual de producción de un millón novecientos setenta mil toneladas métricas anuales (1.970.000 TMA) de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, siendo sus principales productos: Urea, Sulfato de Amonio (SAM) y Fertilizantes Granulados NPK/NP (PEQUIVEN, 2013, octubre 14).

El complejo se divide en dos áreas: área de fosfatados, que contiene las plantas de producción de ácido sulfúrico, ácido fosfórico, NPK, SAM, acidulación parcial de roca fosfática (RPA), aire comprimido para fosfatados, agua desmineralizada para fosfatados y agua de enfriamiento para fosfatados; y el área de nitrogenados que contiene las plantas de producción de urea, amoniaco, tratamiento de agua cruda, aguas servidas, aguas secundarias, aguas terciarias, la planta de generación de energía eléctrica, agua de enfriamiento para nitrogenados, generación de vapor, aire comprimido, subestación de gas natural y por último la planta de agua desmineralizada para nitrogenados.

Toda el agua necesaria para el funcionamiento industrial del complejo proviene del dique ubicado en el Río Morón y es procesada en la planta de tratamiento de agua cruda, que además suministra agua potable para La Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares (CAVIM), las empresas mixtas de la zona y la Urbanización La Playa (PEQUIVEN, Superintendencia de Procesos, Servicios Industriales; 2010).

Sin embargo, en los últimos años, se ha observado una disminución progresiva en el nivel del dique, a la vez que el incremento en la capacidad de producción de las plantas y la necesidad de ampliación de las mismas, ha acrecentado la demanda de agua del complejo, razones por las que se han venido desarrollando e implementando estrategias que permitan por una parte la reducción del consumo de agua en el complejo y por la otra la reducción de los efluentes líquidos generados en el mismo. Razón por la cual se precisa evaluar la factibilidad técnica de recuperar, reciclar y/o reutilizar efluentes generados en las plantas del área de nitrogenados (planta de urea, planta de amoniaco y plantas de servicios industriales de nitrogenados), lo que contribuirá con la disminución de la demanda de agua, así como también con el

medio ambiente, pues se reduce la cantidad de efluentes que previa neutralización son descargados al mar.

## **I.2. ANTECEDENTES**

El desarrollo de estrategias de evaluación, tratamiento y recuperación de efluentes en el Complejo Petroquímico Morón ha venido ejecutándose desde el año 1980, cuando la compañía Calgon Corporation realizó la evaluación de la capacidad de la planta para realizar pruebas al agua y desarrolló una metodología para la medición y caracterización de las aguas residuales (Lavouge y Rawa, 1980).

En el mismo año, se revisó la ventaja de la implementación de un sistema de tratamiento para los efluentes provenientes del proceso de obtención de urea mediante el sistema de evaporación al vacío; este proyecto fue llamado “Sistema de Tratamiento de Efluentes”, propuesto por Snam Progetti. La principal ventaja de este proceso era la eliminación de la descarga de ciento cuarenta y tres mil toneladas métricas anuales (143.000TMA) de efluentes contaminados al mar y la recuperación de productos intermedios tales como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), así como la recuperación de urea (Petroquímica de Venezuela, Sección de Proyectos Departamento de Ingeniería, 1980).

En 1983, se realizó un programa de muestreo para caracterizar los efluentes líquidos del Complejo Morón, evaluando seis puntos a la salida de las fosas de neutralización con el fin de determinar el impacto ambiental e implementar sistemas de tratamiento y control de las aguas residuales (Machado, 1983).

En 1985, el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (INTEVEP) realizó la caracterización de las aguas residuales del complejo Petroquímico Morón, y evaluó la factibilidad técnica y económica de once (11) alternativas de tratamiento de las mismas (González y Sánchez, 1986).

Para el año 1986, se realizó un estudio de los efluentes líquidos de la planta de amoníaco, en el que se determinó que para la fecha, esta planta vertía al canal de drenaje un flujo de 41,2 l/s de efluente, lo que representaba 50% del total de los

efluentes líquidos del complejo. Los efluentes de la planta se clasificaron en tres tipos fundamentales: aguas de enfriamiento, instalaciones y purgas de calderas y una tercera corriente proveniente de fugas y purgas esporádicas de amoniaco (ob. cit.).

Estos autores llegaron a la conclusión de que el 90% de los efluentes líquidos de la planta de amoniaco eran recuperables. De este porcentaje un 45% correspondía a agua de enfriamiento de equipos rotativos, un caudal de 20 l/s totalmente reusable, con la ampliación del sistema secundario de recolección, lo cual representaba para la fecha un ahorro de setecientos mil bolívares al año (Bs 700.000/año) con lo que se recupera el gasto de reparación y ampliación del sistema secundario (González y Sánchez, 1986).

A la par de esa investigación, en ese mismo año, se estudió la factibilidad de recuperación del efluente del enfriador del condensado de proceso de la planta de urea, propuso el uso de un sistema hidrolizador - despojador que remueva de las corrientes acuosas: urea,  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ , y retornarlos a la planta de síntesis, Este autor evaluó cuatro alternativas para la reutilización del efluente líquido: Producción de agua desmineralizada, agua de enfriamiento en planta de urea, agua de enfriamiento en el área de servicios industriales y agua de lavado; llegando a la conclusión de que se puede descargar el efluente a la piscina de aguas calientes de la torre de enfriamiento, estimando que se lograría una recuperación del orden de 5 l/s (Pinto, 1986).

En 2006, se evaluaron los efluentes líquidos del área de fosfatados del Complejo Petroquímico Morón, donde se caracterizaron todos los efluentes que se producen en esa área, además se planteó y seleccionó estrategias de reutilización para dichos efluentes (Aramendi, 2006).

A partir de 2006 y hasta la fecha, no se han realizado otros estudios de los efluentes que se producen en el complejo, siendo la razón principal, el inicio de la construcción de las nuevas instalaciones del complejo.

### **I.3. OBJETIVOS**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantean los siguientes objetivos:

#### **I.3.1. Objetivo General**

Analizar la factibilidad técnica de la recuperación, reciclaje y reutilización de los efluentes líquidos de las plantas del área de nitrogenados del Complejo Petroquímico Morón.

#### **I.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Identificar los efluentes generados en el proceso de producción del área de nitrogenados (planta de amoníaco, planta de urea y plantas de servicios industriales de nitrogenados).
- b) Caracterizar los efluentes identificados.
- c) Identificar los equipos y sistemas que utilizan agua como insumo, así como la calidad de agua necesaria en ellos.
- d) Establecer las opciones de recuperación, reciclaje y reutilización de los efluentes.
- e) Seleccionar la opción técnica que mejor convenga al desarrollo del proceso.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Con el paso de los años las actividades industriales han aumentado considerablemente y con estas se ha incrementado la generación de residuos; como contraparte se originó y se ha ido fortaleciendo a nivel mundial una conciencia ambiental que ha fomentado el desarrollo de numerosas políticas reguladoras de la contaminación.

La implementación de un marco legislativo que fije las cargas máximas de contaminantes, así como la disminución de los suministros de agua potable, han ocasionado que las nuevas tendencias industriales estén enfocadas hacia la denominada tecnología limpia, la cual fue definida por la Comisión Económica para Europa de la ONU en el año 1979 como “el método de fabricar productos en el que todas las materias primas y energías son utilizadas en la forma más racional e integrada en el ciclo, ... de manera que el impacto sobre el normal funcionamiento del medio ambiente sea mínimo” (Díaz y Carrasco, 1992).

Estos autores también señalan que para usar tecnología limpia existen dos alternativas: la primera es el diseño de nuevos procesos productivos o la modificación de los existentes para reducir la cantidad de residuos que se genera. La segunda alternativa, consiste en el aprovechamiento de los efluentes durante el proceso productivo, lo cual permite a las empresas reducir costos en materias primas, minimizar gastos de tratamiento de efluentes finales, y sobre todo evitar multas y sanciones por una mala disposición de los residuos.

En lo que se refiere al aprovechamiento de los efluentes, existen tres posibilidades: el recicló, la reutilización y la recuperación; el recicló se refiere a la recirculación de las aguas residuales sin ningún tratamiento dentro del mismo sistema, la recuperación consiste en someter el agua residual a un tratamiento o proceso para poder utilizarla,

por último la reutilización implica captar el agua, sin tratamiento y utilizarla en otro sistema o para otros usos beneficiosos.

Siempre que se desee plantear estrategias de recuperación, reutilización y reciclaje de aguas residuales industriales, es necesario poseer un conocimiento profundo del proceso productivo, pues este determina la cantidad, periodicidad y composición de los efluentes que se producen en el mismo, por otra parte el proceso establece la calidad del agua necesaria en las diferentes etapas de producción.

En Venezuela, las Normas para Clasificación de Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto 883) en su Art. 2 establecen que la calidad de un cuerpo de agua "son las características físicas, químicas y biológicas de aguas naturales, que determinan su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos". Sin embargo el término calidad del agua tiene un significado bastante amplio, ya que cada uno de nosotros está interesado en el agua desde su punto de vista, es por eso que las características deseables de un agua cualquiera varían según la utilización a la que quiera destinársela, así mismo su uso determina la cantidad de contaminantes aceptables en la misma (American Water Association, 1975).

De ahí que, la calidad del agua requerida en un proceso industrial va a ser determinada por características intrínsecas del sistema, las condiciones a las que se realice la operación de los equipos, y del uso que se le va a dar; un ejemplo de esto es la industria alimentaria, donde el agua de enfriamiento, va a ser de menor calidad que el agua utilizada como materia prima para la producción de alimentos.

En definitiva, la determinación de la calidad del agua juega un papel fundamental en el planteamiento de opciones de recuperación, reutilización y reciclaje del agua residual industrial, pues estas opciones se establecen a partir de la comparación de la calidad de los efluentes y la calidad de agua requerida en las diferentes etapas del proceso. Si la calidad del efluente es igual o mejor que la necesaria en una etapa del proceso, se plantea el reciclaje o la reutilización de ese efluente; si el efluente es de menor calidad, se plantean las opciones de recuperación factibles.

Para determinar la calidad del agua de un efluente, se necesita implementar un programa de muestreo, que permita reproducir el comportamiento del efluente. El

propósito del muestreo es recolectar una porción de aguas residuales lo suficientemente pequeña en volumen para ser manejada cómodamente en laboratorio, y que a su vez, sea representativa del agua residual que se va a tratar (Valdez y Vásquez González, 2003).

Durante la creación de dicho programa es necesario considerar varios factores, siendo los más importantes: los objetivos del estudio, el número total de muestras, punto, método y frecuencia de toma; la época del año, los datos que se desean obtener, la formulación estadística de los datos y por último las precauciones que hay que tomar con las muestras antes del análisis (Nemerow y Dasgupta, 1998).

Evidentemente los objetivos generales del estudio, determinan los demás factores que se consideran en el programa de muestreo, estos autores indican además que el número de muestras necesario, no solo depende de los objetivos, sino del tiempo y esfuerzo que se dedique al estudio, además hay que considerar el costo de los análisis y la capacidad que tiene el laboratorio para procesar las muestras antes de realizar la toma de las mismas.

Por otra parte el número y tipo de muestra va a depender de la estabilidad del proceso productivo, así como de la cantidad, periodicidad y duración de la producción del efluente, por lo cual, se utilizan dos tipos de muestras, muestras instantáneas o simples y muestras compuestas.

Una muestra simple consiste en coleccionar todo el volumen a examinar en un mismo tiempo, por lo que representan las características de las aguas residuales solamente para el momento en que se capta (Valdez y Vásquez González, 2003). Se utiliza cuando el flujo de agua residual no es continuo, la descarga de contaminantes es intermitente, las características del efluente son relativamente constantes o el parámetro que se va a analizar puede cambiar de manera significativa durante el periodo de muestreo. Las muestras compuestas se forman a partir de muestras simples mezcladas en proporción directa al caudal aforado en cada instante de muestreo y son preferibles cuando se desea conocer resultados promedios (Romero, 1999). Este autor indica además que el programa debe asegurar que las muestras tomadas representen el total del efluente, por lo que generalmente se prefiere



seleccionar puntos de muestreo donde el flujo sea turbulento para asegurar que el agua esté bien mezclada.

Otro aspecto fundamental del programa de muestreo son las precauciones que se deben tomar con las muestras antes del análisis, en líneas generales todas las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible, incluso en el mismo sitio de toma. Todas las muestras que puedan sufrir cambios físicos, químicos o biológicos deben ser enfriadas inmediatamente. Además es importante verificar que los envases de almacenamiento sean de un material que no reaccione con las sustancias que se espera estén presentes en el agua, así como evitar que el contenedor pueda alterar los resultados de los análisis, tal es el caso de tapas metálicas en envases para transportar muestras que necesiten determinación de metales (Nemerow y Dasgupta, 1998).

## **II.1. TECNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN**

Para lograr que el agua residual pueda ser recuperada, se utiliza un sistema de tratamiento, que básicamente es un conjunto de operaciones unitarias diseñadas para remover ciertos contaminantes presentes en el agua. Estas operaciones pueden ser de tipo químico, físico o biológico y son diseñadas de acuerdo a las características del agua residual a tratar. Sin embargo, el factor que determina el grado de tratamiento es el uso al que se destina el agua (Metcalf & Eddy, 1995).

En líneas generales no existe ningún método de tratamiento que sea mejor para alcanzar un objetivo determinado o modificar la composición del agua. Por lo que antes de elegir el método de tratamiento, hay que evaluar la situación tomada en su conjunto para cada caso (American Water Association, 1975).

### **II.1.1. Operaciones Físicas Unitarias**

Son aquellas operaciones unitarias en la que los cambios en las propiedades del agua residual se realizan por medio de la aplicación de fuerzas físicas. Sus principales aplicaciones se listan en la Tabla N°1

Tabla N° 1. Aplicación de las Operaciones Físicas Unitarias en el Tratamiento de Aguas Residuales.

Operación	Aplicación
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción.
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos.
Homogenización del caudal	Homogenización del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de sólidos en suspensión.
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación.
Sedimentación	Eliminación de los sólidos sedimentables y espesado de fangos.
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua.
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.
Microtamizado	Mismas funciones que filtración.
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases.
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual.

Tomada de Metcalf & Eddy (1995)

### II.1.2. Procesos Químicos Unitarios

En estos procesos la separación se produce a través de reacciones químicas, en consecuencia, en la mayoría de estas operaciones la eliminación de un constituyente se consigue añadiendo otra sustancia, lo que generalmente produce un aumento neto de los constituyentes disueltos en el agua residual (Metcalf & Eddy, 1995). Las principales aplicaciones de estas operaciones se encuentran descritas en la tabla N° 2.

Tabla N° 2. Aplicaciones de los Procesos Químicos Unitarios en el Tratamiento del Agua Residual

Proceso	Aplicación
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión.
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento.
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades.
Decloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración.

Tomado de Metcalf & Eddy (1995)

### II.1.3. Procesos Biológicos Unitarios

En estos procesos las transformaciones se producen por la acción de uno o más agentes biológicos comúnmente bacterias, aunque también se pueden utilizar hongos, algas, protozoos y rotíferos, cuyo objetivo principal es la eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual.

Tabla N° 3. Aplicaciones de los Procesos Biológicos Unitarios en el Tratamiento del Agua Residual

Proceso	Aplicación
Procesos aerobios	Eliminación de la DBO carbonosa.
Procesos anóxicos	Desnitrificación.
Procesos anaerobios	Estabilización de residuos y eliminación de la DBO carbonosa.
Procesos aerobios, anóxicos o aerobios combinados	Eliminación de la DBO carbonosa, nitrificación y desnitrificación y eliminación de fosforo.

Tomado de Metcalf & Eddy (1995)

Las principales aplicaciones de estas operaciones se encuentran descritas en la tabla N° 3. Estos procesos se clasifican según las condiciones en la que se

desarrollan, si los agentes biológicos se encuentran en presencia de oxígeno se denominan procesos aerobios, por el contrario los procesos anaerobios ocurren en ausencia de oxígeno, mientras que un proceso anóxico es aquel por el cual el nitrógeno de los nitratos se transforma biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1995), también existen procesos biológicos denominados combinados o mixtos en los que el sistema presenta zonas con diferentes condiciones.

## II.2. APLICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES RECUPERADAS

Existen múltiples opciones a la hora de utilizar un agua residual recuperada, en el caso del agua residual doméstica, las aplicaciones más comunes, así como las principales limitaciones técnicas, económicas y socioculturales que éstas presentan, se encuentran reportadas en la tabla N°4:

Tabla N° 4. Categorías de Reutilización de Aguas Residuales Municipales y Posibles Limitaciones

Categorías de Reutilización	Posibles limitaciones
Riego en agricultura	Si la gestión no es adecuada, contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
Riego de cultivos	Comercialización de las cosechas y aceptación pública.
Plantaciones comerciales	Efecto de la calidad del agua sobre el suelo y las cosechas.
Riesgo de espacios verdes	Problemas de salud pública relacionados con la presencia de patógenos.
Parques	Control de zona de utilización, incluidos los espacios de amortiguamiento. Puede implicar elevados costes para los usuarios.
Patios de colegio	
Medianas de autopistas	
Campos de golf	
Cementerios	
Zonas verdes	
Zonas residenciales	

Tabla N° 4 (Continuación): Categorías de Reutilización de Aguas Residuales Municipales y Posibles Limitaciones

Categorías de Reutilización	Posibles limitaciones
<p>Reciclaje y reutilización industrial:</p> <p>Refrigeración</p> <p>Calderas</p> <p>Aguas de proceso</p> <p>Construcciones pesadas.</p>	<p>Presencia de constituyentes que puedan provocar problemas de corrosión, incrustaciones carbonatadas, crecimientos bacterianos y ensuciamiento en los sistemas.</p> <p>Problemas de salud pública especialmente la transmisión de patógenos por aerosoles en el agua de refrigeración.</p>
<p>Recarga de aguas subterráneas:</p> <p>Recarga de acuíferos</p> <p>Control de intrusión de aguas saladas</p> <p>Control de subsidencias</p>	<p>Compuestos químicos orgánicos presentes en el agua recuperada y sus efectos tóxicos.</p> <p>Presencia de sólidos disueltos, nitratos y patógenos.</p>
<p>Usos recreativos / ambientales:</p> <p>Lagos y estanques</p> <p>Mejora de zonas pantanosas</p> <p>Incremento de los caudales de los cursos de agua</p> <p>Piscifactorías</p> <p>Fabricación de nieve artificial</p>	<p>Problemas de salud pública relacionados con bacterias y virus.</p> <p>Eutrofización debido a la incorporación de N y P a las aguas receptoras.</p> <p>Toxicidad para la vida acuática.</p>
<p>Usos urbanos no potables:</p> <p>Protección contra incendios</p> <p>Aire acondicionado</p> <p>Lavabos</p>	<p>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos en aerosoles.</p> <p>Efecto de la calidad del agua sobre la formación de costras carbonatadas, corrosión, crecimientos biológicos y fallos en los sistemas.</p> <p>Conexiones cruzadas.</p>
<p>Reutilización en usos potables:</p> <p>Mezclas en depósitos de agua de abastecimiento</p> <p>Abastecimiento de agua directo</p>	<p>Presencia de constituyentes tales como los compuestos químicos orgánicos de trazas y sus efectos tóxicos.</p> <p>Estética y aceptación pública.</p> <p>Problemas de salud pública relacionados con la transmisión de patógenos.</p>

Tomada de Metcalf & Eddy (1995)

### **II.2.1. Irrigación**

Los efluentes de aguas residuales ha sido utilizados con éxito en la agricultura, donde suelen aplicarse a superficies de terreno para proporcionar agua y nutrientes que favorezcan el crecimiento de las plantas. El grado de tratamiento previo a la utilización depende de la naturaleza del cultivo. Los cultivos que no se consumen crudos pueden aceptar un efluente de calidad inferior que los cultivos de legumbres y verduras que se consumen crudas (Valdez y Vásquez González, 1993).

Entre las desventajas del uso de efluentes de aguas residuales para la irrigación estos autores señalan que la naturaleza estacional de las necesidades de riego trae como consecuencia grandes requerimientos de almacenamiento, aunado a esto, cuando se usan aspersores a alta presión, pueden formarse aerosoles que transporten microorganismos patógenos.

### **II.2.2. Torres De Enfriamiento**

A nivel industrial, la aplicación a la que se destina el mayor volumen de agua recuperada es a la refrigeración, ya que durante la operación de un sistema de enfriamiento con torres, se producen pérdidas de volumen de agua por evaporación y arrastre en la torre de intercambio, por lo que es necesaria la reposición continua de este volumen (Nordel, 1981).

En estos sistemas suele ocurrir un aumento en la composición del agua durante el proceso de recirculación, por causa de la composición del agua de aportación, la evaporación y el contenido del aire que entra en contacto con el agua en recirculación, que influye en la restauración constante con oxígeno y otros gases tomados del aire, así como el lavado de la materia sólida presente en el mismo, incluyendo bacterias y esporas (American Water Asociation, 1975).

El principal problema que se puede presentar en un sistema de refrigeración es el taponamiento, que se produce comúnmente por cuatro factores: incrustaciones, depósitos de corrosión, crecimientos orgánicos y sedimentos. En este sentido el

compuesto que genera la mayor cantidad de incrustaciones es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), seguido por el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), estos compuestos tienen una baja solubilidad, por lo que se debe tener cuidado al recircular las aguas de enfriamiento de purgar lo suficiente para mantener su concentración dentro del rango de solubilidad (Nordel, 1981).

Por otra parte, la corrosión se suele producir cuando se crea una diferencia de potencial eléctrico entre superficies de metales diferentes, este fenómeno se favorece en los sistemas de refrigeración, pues la presencia de contaminantes en el agua aumenta continuamente la conductividad de la solución (Metcalf & Eddy, 1995), los productos que se forman por efecto de la corrosión, se depositan en la superficie del metal trayendo como consecuencia una reducción del área de flujo.

En cuanto a los crecimientos orgánicos, estos suelen ser producidos por las bacterias del hierro y manganeso conocidas como “crenotherix”, además, se pueden presentar algas, limo, esponjas, moluscos y líquenes (Nordel, 1981). Si hay presencia de nutrientes en el agua (especialmente nitrógeno y fósforo), estos favorecerán el crecimiento de microorganismos que se pueden adherir y depositar en las zonas de intercambio de calor dificultando la transferencia de calor y el flujo de agua (Metcalf & Eddy, 1995).

Por último, los sedimentos pueden formar lodos y ocasionar taponamiento en el sistema, por lo que es recomendable evitar las aguas que contienen turbidez o sedimentos (Nordel, 1981).

En vista de estos problemas, el agua que se encuentra en circulación en la torre debe tratarse constantemente para mantener unos niveles no corrosivos y de inhibición de la formación de incrustaciones razonables, evitando además el desarrollo de agentes biológicos.

En el caso de los sedimentos, la manera más común de controlar este problema es mediante la adición de compuestos químicos que evitan la formación de agregados de partículas que posteriormente sedimentan (Nordel, 1981); sin embargo los límites de concentración de los constituyentes de un agua de refrigeración circulante, van a depender de los detalles de construcción y operación del sistema de refrigeración, así

como del tipo de tratamiento que se le aplique al agua de recirculación (American Water Association, 1975).

Como regla general la concentración de sólidos totales disueltos en las aguas de circulación de una torre de refrigeración no debe superar los 2000 ppm, con lo que se logra mantener al mínimo la corrosión galvánica en los equipos. Cuando se añade ácido sulfúrico para controlar las incrustaciones de carbonato cálcico, la alcalinidad del agua de aportación suele mantenerse entre 15 y 25 ppm y la del agua en circulación entre 50 y 100 ppm, con un pH para aguas de circulación entre 6 y 8 y una concentración máxima de sólidos en suspensión entre 100 y 150 ppm (ob. cit).

En el caso de los sistemas de recirculación abiertos, el agua de aportación debe tener baja dureza cálcica y baja alcalinidad para que el agua que circula por el mismo contenga varias veces la concentración del agua de aportación, antes de que se formen incrustaciones a velocidad significativa, pues como es de esperar los cambios de composición del agua que se registran mientras circula por la torre influyen de forma determinante en el desarrollo de problemas operativos (American Water Association, 1975).

Adicionalmente el mínimo de calidad exigido para un agua de aportación se presenta en la tabla N°5

Tabla N° 5. Calidad de Agua Exigida en Torres de Enfriamiento

Características	Agua Limpia (ppm)	Agua Salobre (sólidos disueltos > 1000 ppm) (ppm)
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	50	25
Aluminio (Al)	0,1	0,1
Hierro (Fe)	0,5	0,5
Manganeso (Mn)	0,5	0,02
Calcio (Ca)	50	420
Magnesio (Mg)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Amonio (NH <sub>4</sub> )	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	24	140
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	200	2700
Cloro (Cl)	500	19000
Sólidos disueltos	500	35000



Tabla N° 5 (Continuación): Calidad de Agua Exigida en Aporte en Sistema de Recuperación

Características	Agua Limpia (ppm)	Agua Salobre (sólidos disueltos > 1000 ppm) (ppm)
Cobre (Cu)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Cinc (Zn)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	650	6250
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> )	350	115
pH, unidades	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Demanda química de Oxígeno (DQO)	75	75
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> )	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Temperatura	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Sólidos suspendidos	100	100

Tomado de Metcalf & Eddy (1995)

### II.2.3. Calderas

Otra aplicación industrial muy común es en la alimentación de calderas. La mayoría de las calderas de uso industrial son del tipo acuotubular e incluyen instalaciones en las que todo el vapor se condensa y devuelve a la caldera, otras en las que tan solo se devuelve una parte del vapor y aquellas en las que no se recircula en absoluto. La evaporación en las calderas del agua aumenta el contenido de sólidos disueltos en la misma, este aumento de la concentración puede ocasionar la formación de incrustaciones, intensificar la corrosión y producir una acumulación de fangos arrastrados por el agua de aportación y de recirculación (American Water Association, 1975).

Las incrustaciones se producen por la adherencia de sales de baja conductividad térmica, a la superficie de la caldera, formando puntos de mayor transferencia

térmica, lo que produce un aumento del gradiente térmico entre el agua y la pared metálica de una caldera incrustada. Sin embargo, el aumento de la resistencia no es lo más perjudicial para el proceso, ya que, si el grueso de la incrustación es suficiente, se puede producir sobrecalentamiento y en consecuencia fallas del metal; además, las partículas precipitadas que no se adhieren a la superficie, generan lodos capaces de ocasionar taponamiento de las tuberías (Nordel, 1981). Por otra parte, un vapor de baja calidad puede dar lugar a la formación de depósitos indeseables de sales y álcalis en los álabes de las turbinas de vapor, lo que se traduce en una reducción de su rendimiento (American Water Association, 1975).

Las principales sustancias presentes en el agua natural que forman lodos e incrustaciones son el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice; la sílice puede formar silicato de calcio incrustante, además es soluble en el vapor de alta presión, de manera que puede ser arrastrada y depositarse en los álabes de las turbinas (Nordel, 1981).

Las calderas de vapor a mayor presión también están expuestas a la fragilización o fisuración cáustica que se registra cuando un agua de caldera que contiene hidróxidos, estos se concentra al entrar en contacto con partes metálicas en tensión o con extremidades laminadas de las tuberías. A presiones del vapor muy altas, se registra un ataque cáustico directo al metal de la caldera (American Water Association, 1975).

En el caso de la corrosión, las sustancias más desfavorables para las calderas son: el sulfato y el cloruro de magnesio, pues forman ácido sulfúrico y ácido clorhídrico respectivamente; si el agua de las calderas lleva alcalinidad de sodio, esta reaccionará con el cloruro y/o sulfato de magnesio para precipitar hidróxido de magnesio (Nordel, 1981).

Para evitar que se produzcan incrustaciones, formación de lodos o procesos de corrosión dentro de las calderas, es de vital importancia el monitoreo de algunos parámetros tales como conductividad y dureza, con base a los que se fija la purga continua de los equipos, adicionalmente el agua de aporte debe tener baja turbidez, pocos sedimentos y bajas concentraciones de sílice, carbonato de calcio, hidróxido de magnesio y sulfato de calcio, por lo que al agua cruda que va hacia calderas debe

recibir un tratamiento compuesto de filtrado y desmineralización en el que se eliminan los contaminantes perjudiciales (Metcalf & Eddy, 1995).

Con base en estas consideraciones se determinó que la calidad del agua de alimentación de la caldera es la siguiente:

Tabla N° 6. Calidad del Agua Antes de la Adición de Productos Químicos para el Acontecimiento Interno

Características	Baja Presión (ppm)	Presión Intermedia (ppm)	Alta Presión (ppm)
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	30	10	0,7
Aluminio (Al)	5	0,1	0,01
Hierro (Fe)	1	0,3	0,005
Manganeso (Mn)	0,3	0,1	0,01
Calcio (Ca)	Se acepta tal como llega	0.4	0,01
Magnesio (Mg)	Se acepta tal como llega	0,25	0,,1
Amonio (NH <sub>4</sub> )	0,1	0,1	0,1
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	170	120	48
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Cloro (Cl)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Sólidos disueltos	700	500	200
Cobre (Cu)	0,5	0,05	0,05
Cinc (Zn)	Se acepta tal como llega	0,01	0,01
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	350	1,0	0,007
Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> )	350	100	40
pH, unidades	7,0 – 10,0	8,2 – 10,0	8,2 – 9,0
Demanda química de Oxígeno (DQO)	5	5	1,0
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> )	2,5	0.007	0.007
Temperatura	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega	Se acepta tal como llega
Sólidos suspendidos	10	5	0,5

Tomada de Metcalf & Eddy (1995)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se desglosará la estrategia metodológica que se siguió para el logro de los objetivos planteados.

#### **III.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DEL ÁREA QUE UTILIZAN AGUA COMO INSUMO Y DE LOS EFLUENTES GENERADOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ÁREA DE NITROGENADOS**

Las plantas de procesos correspondientes al área de nitrogenados están divididas en dos grupos, las plantas de producción que incluyen las plantas de producción de urea y de amoníaco, y las plantas de servicios industriales de nitrogenados donde se encuentran: la planta de tratamiento de agua cruda, aguas servidas, aguas secundarias, aguas terciarias, subestación de gas natural, aire comprimido para nitrogenados, generación de energía eléctrica, agua de enfriamiento para nitrogenados, generación de vapor, y por último la planta de agua desmineralizada para nitrogenados.

Para realizar la identificación de los efluentes producidos en estas plantas, así como los equipos y procesos que requieren agua como insumo fue necesario conocer los diferentes procesos que ocurren en dichas instalaciones, por lo cual se siguieron los siguientes pasos.

##### **III.1.1. Estudio de los Diagramas de Flujo de Proceso**

Estos diagramas fueron suministrados por los ingenieros de procesos responsables de las diferentes plantas del área, a través de los documentos denominados descripción de proceso; que además del diagrama de flujo de cada planta contiene una descripción general del funcionamiento de las plantas.

El análisis de las descripciones de proceso, arrojó una cifra preliminar del número de efluentes de cada planta, así como de los equipos que requieren agua como insumo, además de datos acerca del tipo de operación que se realiza en cada equipo y si el proceso es por carga o continuo. Este análisis se realizó para las 12 plantas del área, (2 de procesos y 10 de servicios).

### **III.1.2.Revisión de los Balances de Masa del Proceso**

Los balances de masa del proceso permitieron estimar la cantidad de efluente que se produce en el mismo; estos balances unidos a la descripción de los procesos se utilizaron para determinar cuáles son los constituyentes de los efluentes, así como los requerimientos de agua a la entrada de los equipos.

Para verificar esta información se realizaron visitas a las plantas, para contrastar la información escrita, con la situación real. Durante estas visitas se entrevistó a los ingenieros y operadores de las plantas, ya que ellos están en contacto directo con las mismas y tienen información valiosa que puede no estar reflejada en los manuales y documentos técnicos de dichas plantas.

Esta revisión se realizó en todas las plantas, en especial en aquellas en las que teóricamente no se producían efluentes.

### **III.1.3.Identificación de los Efluentes Líquidos y Equipos que Requieren Agua en las Plantas del Área de Nitrogenados**

Luego de analizar toda la información recabada en los pasos anteriores, se generó como primer resultado una breve descripción de los procesos productivos de cada planta, usando como soporte las imágenes de los diagramas de flujo de cada planta de servicios y para el caso de la planta de amoniaco, los diagramas de las diferentes secciones de proceso. Cada diagrama tendrá señalado los efluentes que se producen en color azul y los equipos que requieren agua como insumo se señalaran en color verde.

## **III.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES IDENTIFICADOS**

Para la realizar la caracterización de los efluentes se procedió de la siguiente manera:

### **III.2.1. Definición de Programa de Muestreo**

El programa de muestreo se consolidó de la siguiente manera.

#### **III.2.1.1. Objetivos del muestreo**

El objetivo principal del programa de muestreo fue caracterizar los efluentes del área de nitrogenados del Complejo Petroquímico Morón. Los datos para la caracterización se determinaron a partir del análisis de los balances de masa, que indicarán cuales son los constituyentes probables de los efluentes.

#### **III.2.1.2. Sitio de captación de muestra**

Se seleccionaron dependiendo de la situación en planta, si el equipo a evaluar posee punto de captación de muestra, se utilizó ese punto, de lo contrario se utilizó la descarga del equipo (para mayor información ver apéndice 1).

#### **III.2.1.3. Cuantificación de caudales**

La cuantificación del caudal se realizó dependiendo del efluente y del acceso al mismo:

- En equipos en los que la descarga es variable y conocida, se utilizaron los datos estadísticos del funcionamiento del proceso para determinar el caudal promedio que se genera.
- En los equipos de las plantas que trabajan en un proceso continuo, se utilizó la información proporcionada por el balance de masa correspondiente al funcionamiento de la planta

La forma de cuantificación utilizada para cada efluente evaluado se encuentra reportada en el apéndice 1.

#### III.2.1.4. Tipo, número y volumen de las muestras

Para establecer el tipo de muestra se utilizaron los siguientes criterios:

- En los equipos que trabajan en proceso continuo, se tomó una muestra simple de cada efluente.
- En los equipos que trabajan por cargas se tomaron varias muestras simples.
- Si las características del proceso variaban con el tiempo se tomaron muestras compuestas.

El número total de muestras se estableció a partir de las condiciones anteriores, contabilizando el tipo de muestra que se debe tomar a cada efluente y a la cantidad de efluentes que se analizaron, para un total de 69 muestras simples y 14 muestras compuestas (para mayor información ver Apéndice N° 1).

Para establecer la cantidad de muestra a coleccionar se tomaron en cuenta estos factores:

- Cantidad de muestra requerida para realizar los análisis solicitados.
- Cantidad de muestra que queda como muestra testigo en el laboratorio, las cuales son almacenadas por tres meses como parte de la política de calidad de la empresa.
- Cantidad de muestra simple requerida para formar una muestra compuesta.
- Disponibilidad de envases para coleccionar la muestra.

La cantidad de muestra que se coleccionó para cada efluente se encuentra reportada en el Apéndice N° 1.

#### III.2.1.5. Precauciones que hay que tomar con las muestras

Estas precauciones fueron indicadas por el laboratorio central de la empresa, con base en los análisis que se solicitaron y en lo establecido en los manuales de procedimiento del Standard Methods.

#### III.2.1.6. Cronograma de captación de muestras

Las fechas de captación de muestras fueron fijadas de acuerdo con la capacidad de análisis del laboratorio central del complejo y la periodicidad de producción de los efluentes.

#### **III.2.2. Implementación del Programa de Muestreo**

Una vez realizados los pasos anteriores se procedió a la implementación del programa de muestreo.

#### **III.2.3. Realización de los Análisis de Laboratorio Establecidos**

A la par que se implementó el programa de muestreo, se efectuaron los análisis de laboratorio solicitados, estos análisis fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio Central del Complejo Petroquímico PEQUIVEN Morón, por la tesista.

Para que la muestra fuera analizada se envió al laboratorio, junto con un documento denominado solicitud de ensayos (ver apéndice 2), en el momento de la recepción se generó el documento denominado recepción de muestras (ver apéndice 3), según el cual se le asigna a la muestra un código en la base de datos del laboratorio y se procede a la identificación de la misma, mediante el uso de las etiquetas de identificación de muestra (ver apéndice 4), en la cual se rellena el cuadro correspondiente a muestra por analizar.

Cabe acotar que para el caso específico de las calderas, el laboratorio central realiza análisis diarios de la composición de las aguas dentro de la misma, para establecer el caudal de purga necesario para mantener las condiciones operativas óptimas en los equipos, por lo que estos resultados fueron suministrados por el laboratorio sin incluirse en el programa de muestreo.

#### III.2.3.1. Procesamiento de la muestra

Como el laboratorio cuenta con certificación ISO-9001 para practicar los análisis solicitados, se siguieron las instrucciones de trabajo particulares a cada análisis que



están codificadas como se indica en la tabla N° 7. Estas instrucciones se encuentran ubicadas en el subproceso del laboratorio denominado ejecución de análisis y están basadas en los Standard Methods publicados por la American Public Health Association, en 1995, con adaptaciones a las condiciones del laboratorio.

Tabla N° 7. Código de la Instrucción de Trabajo Utilizada para Cada Análisis

Análisis	Código del Documento
pH	M-FE-VP-EA-I-040
Conductividad	M-FE-VP-EA-I-025
Dureza total	M-FE-VP-EA-I-036
Dureza cálcica	M-FE-VP-EA-I-037
Hierro por Absorción Atómica	M-FE-VP-EA-I-017
Sílice en Agua	M-FE-VP-EA-I-042
Sodio en Aguas	M-FE-VP-EA-I-044
• Cloruros en Aguas	M-FE-VP-EA-I-041
Sólidos en Suspensión	M-FE-VP-EA-I-380
Sólidos Totales	M-FE-VP-EA-I-039
Sulfato en Aguas	M-FE-VP-EA-I-043

Luego de realizar todos los análisis se debe marcar en la etiqueta de identificación el cuadrado de muestra analizada.

### III.2.3.2. Generación de resultados

Una vez generados los datos experimentales existen dos alternativas: si el método de análisis es directo se reportaron los resultados, si el método de análisis es indirecto, se realizaron los cálculos indicados por la instrucción de trabajo correspondiente, para determinar el valor requerido.

Los resultados obtenidos se almacenaron en la base de datos del laboratorio central, bajo el código asignado a la muestra durante la recepción. La cantidad de muestra que no se utilizó fue llevada al almacén del laboratorio, donde se guarda por

tres meses. La etiqueta de identificación de muestra se marca en la casilla correspondiente a muestra testigo.

La compilación de los resultados de laboratorio obtenidos para cada efluente, indicará la calidad de los mismos y fue reportado después de las descripciones de procesos.

### **III.3. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA EN LOS EQUIPOS**

Esta determinación se estableció de forma documental, en base a las características de los equipos y del proceso, así como los datos tabulados para equipos y procesos que utilizan agua comúnmente en las industrias (calderas, sistemas de enfriamiento, entre otras). Estas caracterizaciones teóricas se reportaron después de las caracterizaciones de los efluentes.

### **III.4. ESTABLECIMIENTO DE OPCIONES DE RECUPERACIÓN, RECICLO Y REÚSO PARA CADA AFLUENTE**

Luego de compilar la información anterior, se compararon las calidades del agua requerida por los equipos y sistemas con las calidades de los efluentes, para con base a eso establecer las posibles opciones de recuperación, reciclaje y reutilización de los efluentes.

También se revisaron los antecedentes de reutilización, reciclaje y recuperación encontrados durante la investigación documental, y las sugerencias hechas por los ingenieros de planta.

Las opciones de recuperación para cada efluente agrupadas por planta, se encuentran reportadas después de las calidades de los equipos.

### **III.5. SELECCIÓN DE LA OPCIÓN TÉCNICA QUE MEJOR CONVenga AL DESARROLLO DEL PROCESO**

Para seleccionar la opción técnica más conveniente, se utilizó un método de selección múltiple. El primer paso de este método es determinar el porcentaje de importancia de cada ítem con respecto a los demás, utilizando para ello una matriz de comparación binaria (ver apéndice N° 5), con esta matriz se pueden excluir criterios que tengan poco impacto para la selección inicial.

La matriz se llena comparando los criterios por parejas de filas contra columnas (los criterios se colocan abreviados en las columnas utilizando las siglas colocadas en las filas para hacer la tabla mas manejable) y asignando el valor uno (1) para la más importante y cero (0) para la menos importante, luego se suman los resultados por fila y se calcula el porcentaje de importancia que tiene cada opción.

Al desarrollar la matriz inicial, se determinó que la inversión requerida no era un parámetro de peso (2%) con respecto a los otros, por lo que este criterio se retiró de la matriz original (ver apéndice 6).

Por otra parte la demanda de agua del complejo está aumentando debido a la construcción de las nuevas plantas del mismo, por lo que cualquier forma de minimizar esta demanda es prioritaria sobre el costo de la misma.

Los costos de producción estimados inicialmente, están asociados al gasto energético que se realiza en los equipos, sin embargo el Complejo Petroquímico Morón posee su propia planta de generación de energía eléctrica, a partir de gas natural proveniente de un gaseoducto de PDVSA. Aunado a esto, esta planta produce energía en exceso que se descarga en el sistema eléctrico nacional, por lo que el gasto energético a pesar de ser importante, no es determinante en la selección de la opción, lo que excluye la estimación inicial de los costos de operación de la matriz de selección.

La matriz de selección resultante se muestra en la tabla N°8.

Tabla N° 8. Matriz de Comparación Binaria

Criterio	R	F	D	SP	VU	C	TD	DI	Total	%
Rendimiento	1	1	1	0	1	1	1	0	6	17
Flexibilidad	0	1	1	0	0	1	0	1	4	11
Posibilidad de desarrollo	0	0	1	0	0	0	1	0	2	6
Subproductos y residuos	1	1	1	1	1	1	1	0	7	19
Vida útil	0	1	1	0	1	0	0	0	3	8
Complejidad	0	0	1	0	1	1	0	0	3	8
Tiempo de desarrollo	0	1	0	0	1	1	1	0	4	11
Disponibilidad de insumos	1	0	1	1	1	1	1	1	7	19

A cada criterio se le asigna un valor, que va del uno (1) en la condición menos favorable hasta cinco (5) en la condición más favorable, estos criterios de selección y los valores asignados a cada criterio se describen a continuación:

Rendimiento: Mide la eficiencia de la opción con respecto a la cantidad del agua recuperada. El rango de valores utilizado para su evaluación es el siguiente:

- 1→ 1-25 %
- 2→ 26-50%
- 3→ 51-75%
- 4→ 76-90%
- 5→ 91-100%

Flexibilidad: capacidad de las máquinas y materias primas para ser utilizadas para hacer otros productos o servicios, en este caso se evaluó la capacidad de la opción adaptarse a otro sistema y la del manejo de caudal por medio del siguiente tabulador:

- 6→ Caudal constante, no se puede adaptar a otro sistema
- 7→ Caudal constante y se puede adaptar a otro sistema
- 8→ Maneja caudal variable, no se puede adaptar a otro sistema

- 9→ Maneja un caudal variable y se puede adaptar a otro sistema.
- 10→ Caudal variable, puede trabajar en varios sistemas a la vez.

Posibilidad de desarrollo: capacidad de la opción para aumentar el flujo de agua que maneja, para esta opción se utilizó el siguiente rango de valores.

- 11→ No se puede aumentar la capacidad.
- 12→ Para aumentar la capacidad hay que cambiar todos los equipos.
- 13→ Se puede aumentar la capacidad cambiando algunos equipos.
- 14→ Se puede aumentar la capacidad cambiando piezas de los equipos.
- 15→ Se puede aumentar la capacidad de sin modificar el sistema.
- 16→

Subproductos y residuos de proceso: Indica si una opción genera subproductos utilizables y/o residuos durante su aplicación y se evaluó de la siguiente manera:

- 17→ No tiene subproductos y genera grandes cantidades de residuos.
- 18→ No tiene subproductos y genera pequeñas cantidades de residuos.
- 19→ Genera subproductos y pequeñas cantidades de residuos.
- 20→ No genera residuos ni subproductos.
- 21→ Genera subproductos, sin residuos.

Vida útil: Tiempo de duración de la opción planteada, se le asignó el siguiente rango de valor:

- 22→ 1-5 años
- 23→ 6-10 años
- 24→ 11-15 años
- 25→ 16-20 años
- 26→ 21- 25 años

Complejidad: Grado de dificultad para el diseño y desarrollo de la opción, se estimó a través de la cantidad de equipos de proceso (sedimentadores, intercambiadores, etc.) necesarios para aplicar la opción y las condiciones utilizadas.

- 27→ Sistemas de tuberías y equipos de procesos con aprovechamiento de energía en el mismo sistema o con recirculaciones múltiples.
- 28→ Sistemas de tuberías y equipos de proceso con aprovechamiento de energía en intercambiadores que están en funcionamiento.
- 29→ Sistemas de tuberías y equipos de proceso sin aprovechamiento energético.
- 30→ Sistemas de tuberías con bombas.
- 31→ Sistemas de tuberías sin equipos acoplados.

Tiempo de desarrollo: se refiere al tiempo que necesita esta opción para completar la fase de ingeniería de detalle, se evaluó de la siguiente manera:

- 32→ Más de 1 año
- 33→ 1 año
- 34→ 6 meses
- 35→ 3 meses
- 36→ 2 meses

Disponibilidad de Insumos: Facilidad de acceso a los insumos que se necesitan para esta opción, fue evaluado según el siguiente tabulador:

- 37→ Insumos producidos en el exterior
- 38→ Insumos producidos en Venezuela
- 39→ Insumos producción local
- 40→ Insumos producidos en la misma planta
- 41→ No requiere insumos

Una vez que se establecieron los valores para cada criterio, se procedió a llenar la tabla de selección correspondiente a cada efluente (ver tabla N°9), en la columna valor, se coloca el valor del uno (1) al cinco (5) que tiene cada opción y se le aplica el porcentaje indicado, al final se suman los valores ponderados y la opción que obtuvo el puntaje más alto fue la seleccionada.

Tabla N° 9. Tabla de Selección

Criterio	%	Opción 1		Opción 2	
		valor	Ponderación	valor	Ponderación
Rendimiento	17				
Flexibilidad	11				
Posibilidad desarrollo	6				
Subproductos y residuos	20				
Vida útil	8				
Complejidad	8				
Tiempo de desarrollo	11				
Disponibilidad de insumos	19				
Total					

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El Complejo Petroquímico Morón, está conformado por 21 plantas, junto a talleres y almacenes y se organizan en dos sectores según su ubicación geográfica: área de fosfatados y área de nitrogenados. La Figura N° 1 muestra la distribución física del complejo así como las principales plantas de producción (para mayor detalle consultar el Apéndice N° 7) las plantas de tratamiento de agua, están separadas físicamente de esta zona del complejo, y se encuentran más cercanas a la población Morón.

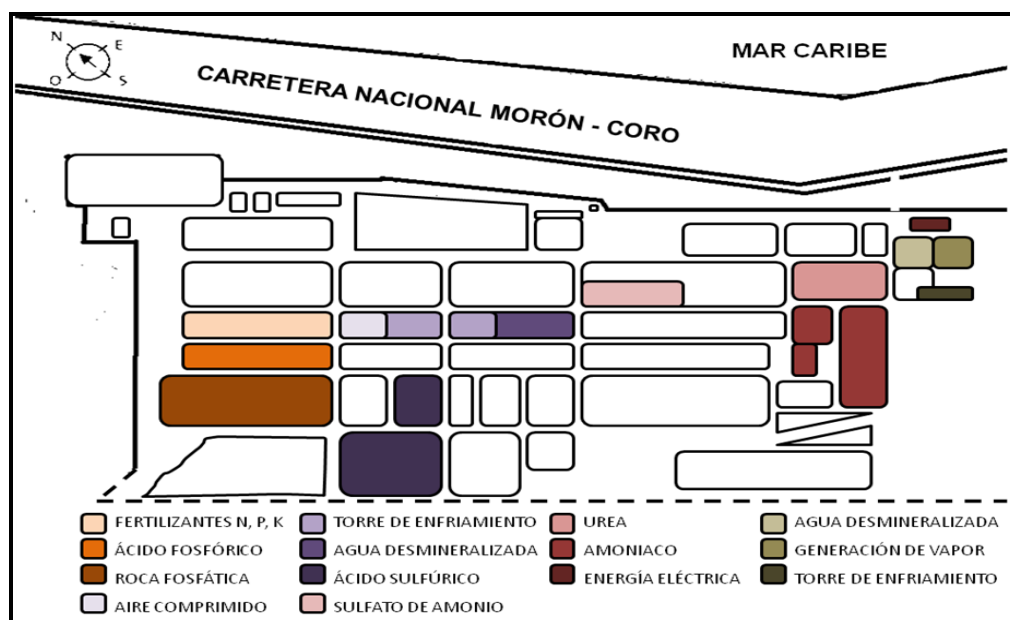


Figura N° 1. Ubicación de las Plantas Principales del Complejo Petroquímico Morón

#### IV.1. IDENTIFICACIÓN DE EFLUENTES Y EQUIPOS RECEPTORES DE AGUA

En esta sección se muestra un resumen del proceso productivo, además se señalan los efluentes y los equipos receptores de agua que se encuentran en las diferentes plantas de acuerdo con lo indicado en el marco metodológico.



### IV.1.1. Planta de Urea

La planta de producción de urea fue clausurada en abril 2012, por lo que no se realizó el estudio de la misma.

### IV.1.2. Planta de Agua Cruda

En esta planta se trata toda el agua necesaria para el funcionamiento industrial del Complejo Petroquímico Morón, CAVIM y las empresas mixtas de la zona, siguiendo el diagrama presentado en la Figura N° 2.

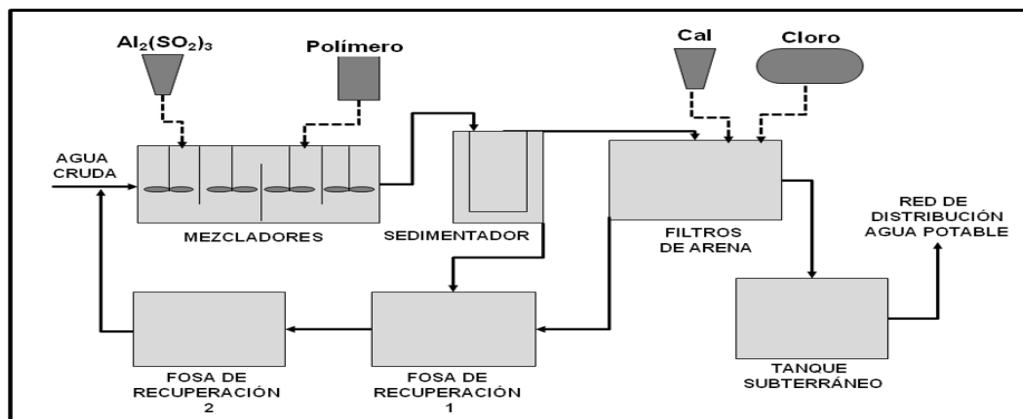


Figura N° 2. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Agua Cruda

El agua cruda llega a la planta por gravedad desde el dique Morón, e ingresa a los mezcladores donde es sometida a un proceso de coagulación-floculación utilizando sulfato de aluminio y un polímero coagulante, que favorecen la formación de flóculos. El agua cargada de flóculos pasa a los sedimentadores, donde sedimentan. El agua clara, pasa por una serie de filtros con el fin de eliminar las partículas en suspensión, posteriormente se agrega cloro al agua para eliminar los microorganismos presentes en la misma, por último el agua es almacenada en un tanque subterráneo, desde donde se bombea a las diferentes instalaciones.

Los sedimentadores cuentan con un sistema automático de descarga de lodos que utiliza agua tratada para el arrastre de los mismos, esta mezcla va a la primera fosa de

recuperación, donde también se colecta los efluente del lavado de los filtros, el agua superficial es enviada a la segunda fosa de recuperación desde donde se recircula a la entrada de los mezcladores, por lo que esta planta no produce ningún efluente líquido.

Parte del agua que se produce en esta planta es enviada al área administrativa del complejo, como agua potable y para la preparación de alimentos en los comedores, por lo que la administración solicitó que no se considere este sistema en la lista de los posibles receptores de efluentes.

#### IV.1.3. Planta de Aguas Servidas

En esta planta se procesa el agua servida proveniente del complejo, así como de la urbanización La Playa, según el esquema que se muestra en la Figura N° 3.

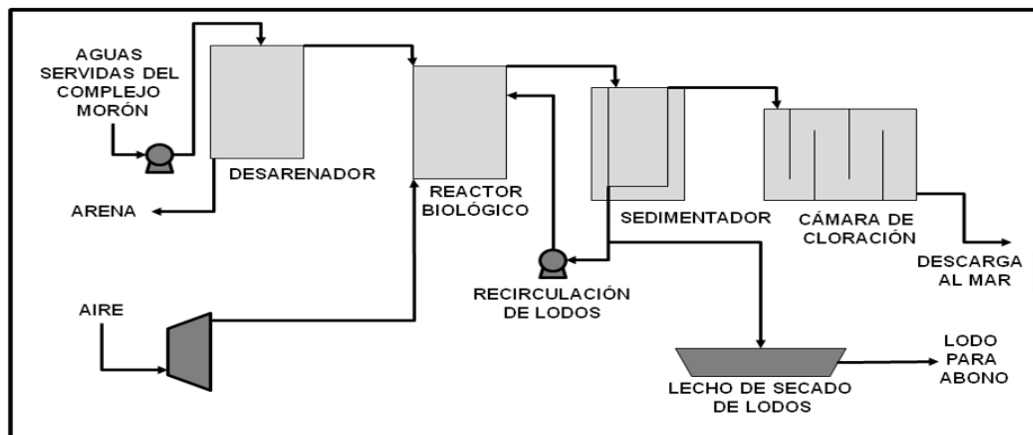


Figura N° 3. Diagrama de Flujo de la Planta de Aguas Servidas

Las aguas servidas ingresan a la planta y son enviadas al desarenador, desde este equipo el agua va al reactor biológico tipo lodos activados, donde las bacterias presentes degradan la materia orgánica produciendo un aumento de la biomasa en el mismo. El agua, que contiene biomasa, pasa al sedimentador donde se clarifica el efluente, el lodo acumulado sale por gravedad, y se divide en dos corrientes, la primera se recircula al reactor y la segunda se envía a los lechos de secado. Por

último, el agua clarificada es sometida a un proceso de cloración, previa descarga al mar.

Actualmente existe un plan para recuperar este efluente en la planta de aguas terciarias del complejo, por lo que para los efectos de este trabajo, no se producen efluentes.

#### IV.1.4. Planta de Aguas Secundarias

Esta planta procesa parte de las aguas servidas de la población Morón, siguiendo la secuencia que se muestra en la Figura N° 4.

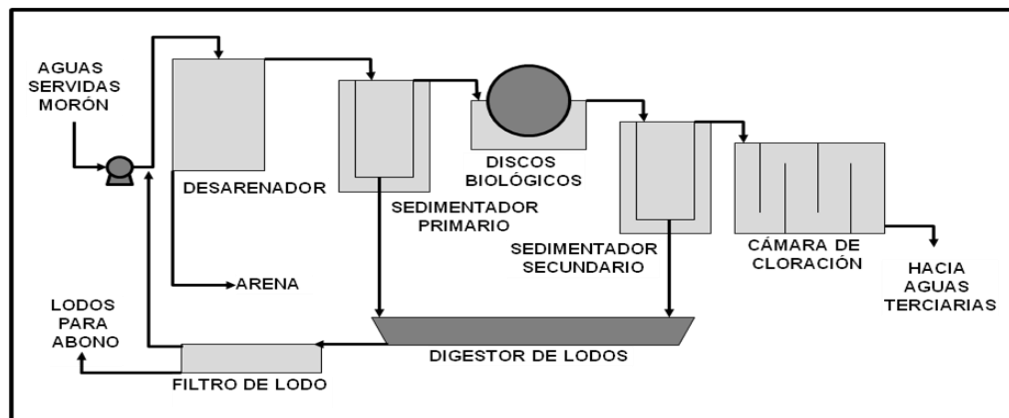


Figura N° 4. Diagrama de Flujo de la Planta de Aguas Secundarias

El agua proveniente de la red cloacal entra en el desarenador, para ser enviada al sedimentador primario, desde donde pasa al reactor de biodiscos, en el que se degrada la materia orgánica y se dirige hacia el sedimentador secundario y de ahí a la cámara de cloración donde se eliminan los microorganismos presentes; el agua procesada se envía hacia la planta de aguas terciarias.

El lodo que se forma en los sedimentadores se envía al digestor de lodos, y de ahí al espesador de lodos para ir a un filtro de prensa, el agua que se recoge en el filtro es recirculada a la entrada del desarenador, y el filtrado se despacha como abono sin producción de efluentes líquidos.

El caudal de entrada a esta instalación va aumentando a medida que crece la población en Morón, por lo que no se considera receptora de efluentes.

#### IV.1.5. Planta de Aguas Terciarias

Esta instalación tiene como objetivo suministrar el agua necesaria para abastecer las plantas de agua de enfriamiento, especialmente en época de sequía, siguiendo el proceso descrito en la Figura N° 5.

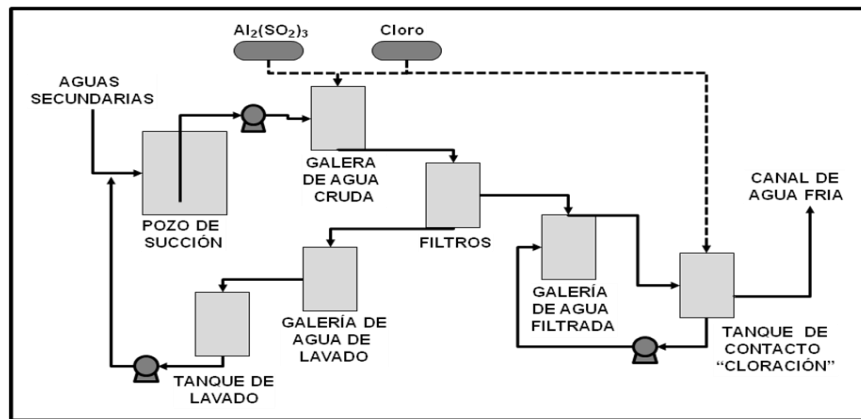


Figura N° 5. Diagrama de Flujo de la Planta de Tratamiento de Aguas Terciarias

La alimentación de esta planta proviene de la planta de aguas secundarias y es recibida en el pozo de succión, para ser bombeada a la galería de agua cruda, donde es mezclada con sulfato de aluminio y cloro, tras lo cual atraviesa un sistema de filtros para ser descargados en la galería de agua filtrada, desde la que es enviada al tanque de contacto con cloro para su desinfección y posterior uso.

El agua utilizada en el lavado de los filtros es recogida en la galería de agua de lavado y enviada al tanque de lavado desde donde se recircula al sistema. Esta planta no produce efluentes líquidos.

Al igual que la planta de aguas secundarias, esta planta procesará un caudal mayor a medida que aumente la población de Morón, y además va a procesar el caudal proveniente de aguas servidas, por lo que no se considera receptora de efluentes.

#### IV.1.6. Estación de Gas Natural

Esta estación tiene como función la medición y limpieza del gas natural que ingresa al complejo, por medio de un oleoducto de PDVSA GAS, y opera como se muestra en la Figura N° 6.

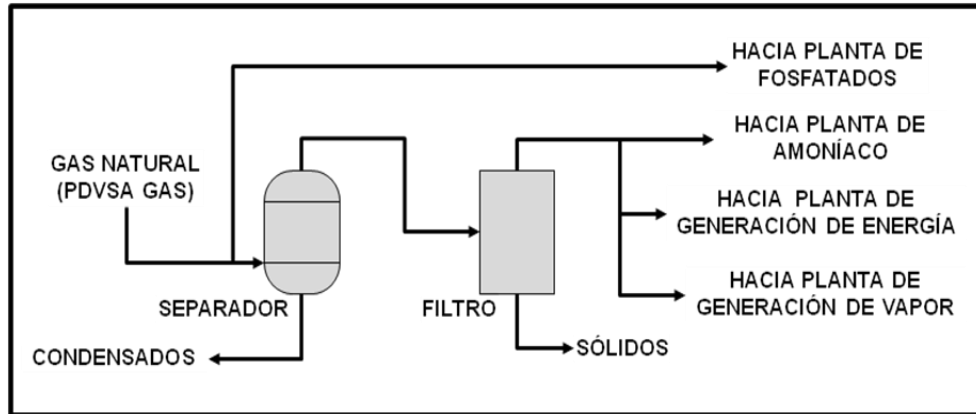


Figura N° 6. Diagrama de Flujo, Subestación de Gas Natural

El flujo de alimentación que ingresa a la subestación de gas natural se bifurca en la entrada, una parte del mismo es enviada al área de fosfatados, mientras que la otra pasa por un separador de condensados y un filtro, para luego ser distribuida, hacia la planta de amoníaco, planta de generación de energía eléctrica y planta de generación de vapor.

El separador de condensados tiene como función prevenir que ingrese gas húmedo al sistema, en el caso de que el gas natural ingrese al complejo fuera de especificaciones. En condiciones normales de operación, no se generan condensados en ese punto, por lo que no se producen efluentes líquidos en esta planta, por otra parte, tampoco hay equipos que necesiten agua como insumo.

#### IV.1.7. Planta de Generación de Energía Eléctrica

En esta planta se produce toda la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del complejo, opera tal como se muestra en la Figura N° 8.

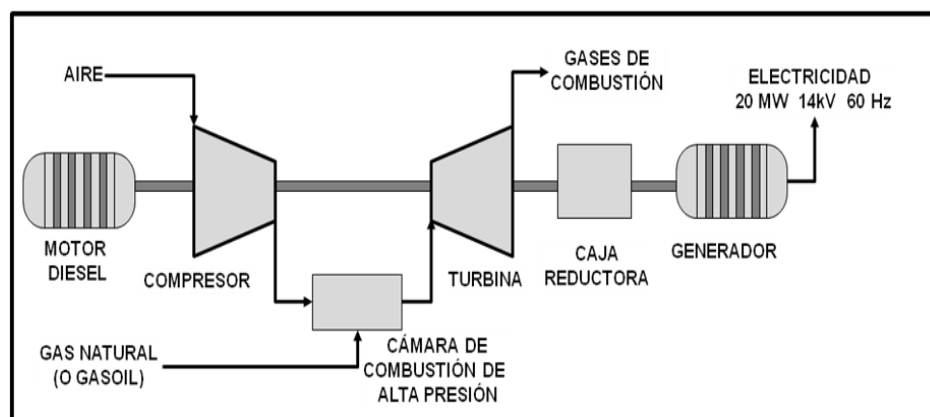


Figura N° 7. Diagrama de Flujo de la Planta de Generación de Energía Eléctrica

Esta planta está compuesta por dos generadores turbo-gas, en los cuales se produce la compresión de aire atmosférico, que se mezcla con gas natural en la cámara de combustión y entra a la turbina, donde se produce la expansión del mismo; el trabajo mecánico se transfiere al generador que lo transforma en energía eléctrica.

Esta planta cuenta con un ciclo de refrigeración que utiliza agua para evitar el sobrecalentamiento de los turbogeneradores, el ciclo contiene un tanque de almacenamiento al que se retorna el agua utilizada, cabe destacar que en este ciclo se producen pocas pérdidas de agua, por lo que y la reposición se realiza directamente en el tanque de almacenamiento de agua cada seis meses. Con base a esto se asume que no se generan efluentes líquidos, ni hay equipos que requieran agua.

#### IV.1.8. Planta de Agua de Enfriamiento para Nitrogenados

Esta planta enfría el agua que proviene de las plantas de producción de amoníaco, urea y servicios industriales tal como se muestra en la figura N° 8.

En la fosa de agua caliente se reciben las aguas de retorno de las plantas de servicios industriales y producción de amoníaco; esta fosa posee un sistema de cuatro filtros de arena que procesan parte del agua caliente y la devuelven a la misma con el fin de controlar la cantidad de sólidos presentes, Cada 24 horas se procede a regenerar los filtros con agua potable, que luego es enviada a la fosa de neutralización de efluentes.

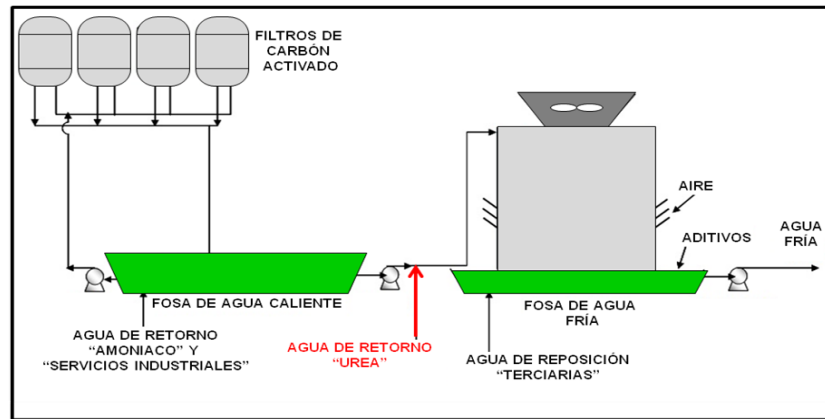


Figura N° 8. Diagrama de flujo de la planta de agua de enfriamiento

La corriente proveniente de la fosa de agua caliente es mezclada con el agua de retorno de la planta de producción de urea y entra a la torre de enfriamiento de diez celdas, en donde se distribuye por las boquillas y cae por gravedad a través del relleno, en contracorriente con aire atmosférico. El agua se recolecta en la fosa de agua fría ubicada debajo de la torre de enfriamiento y es bombeada a las plantas de urea, amoniaco y servicios industriales; esta fosa también dispone de la infraestructura necesaria para la reposición del agua que se pierde por evaporación u otras causas.

En condiciones normales de operación, esta planta produce un efluente diario por filtro de arena, sin embargo por una falla técnica estos filtros de arena no están operativos, por lo que no fue posible analizar estos efluentes. Por otra parte, esta planta requiere la reposición continua de agua, la cual puede ser recibida en la fosa de agua caliente o en la fosa de agua fría.

#### IV.1.9. Planta de Aire Comprimido Para Nitrogenados

El objetivo de esta instalación es producir aire limpio y seco, por medio de la secuencia que se muestra en la figura N° 9.

El aire a presión atmosférica es succionado por los compresores a través de los filtros de tejido sintético (cuatro filtros en paralelo), la compresión se realiza en dos etapas, el aire descargado de la segunda etapa es enfriado en sus respectivos

intercambiadores, y luego van a los separadores donde se retira la humedad residual. En este punto las cuatro líneas de aire son colectadas en una línea principal y entra a un separador de condensado, para luego ser almacenado en el tanque pulmón. Del tanque pulmón, el aire pasa a través de dos separadores más para luego dividir el flujo hacia dos sistemas: el de secado y el de distribución de aire de servicio.

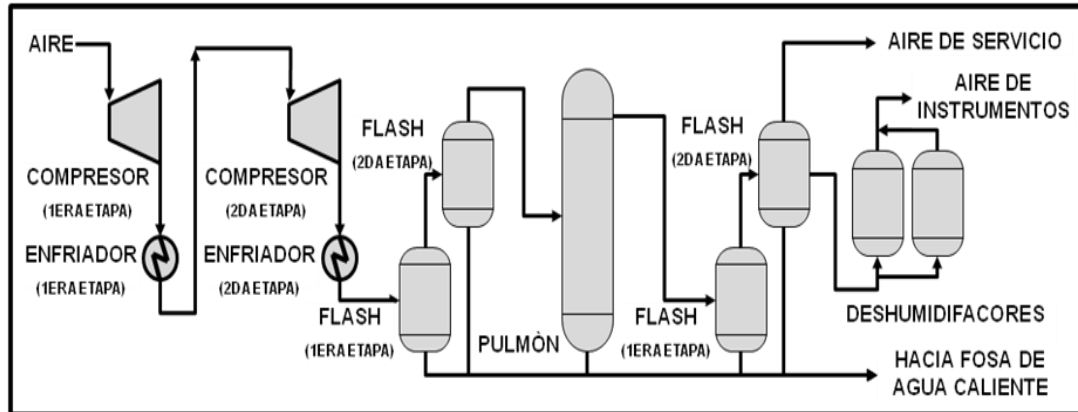


Figura N° 9. Diagrama de Flujo de la Planta de Aire Comprimido para Nitrogenados

La sección de secado está compuesta de dos pulmones cilíndricos verticales, en cuyo interior se encuentra un absorbedor de humedad compuesto por alúmina activada. El aire proveniente de la sección de secado se identifica como aire de instrumentos.

El condensado recuperado es enviado a la fosa de agua caliente de la planta de agua de enfriamiento para nitrogenados, por lo que esta planta no produce efluentes y tampoco hay equipos que necesiten agua.

#### IV.1.10. Planta de Generación de Vapor

Esta planta procesa el agua proveniente de la planta de agua desmineralizada para nitrogenados y los condensados de las plantas de urea y amoniaco siguiendo el esquema indicado en la Figura N° 10.

El agua desmineralizada y los condensados se recuperan en el desaereador, en el cual se retiran los gases no condensables presentes en el agua, del fondo de este



equipo se envía el agua al sistema de calderas que tiene cuatro calderas trabajando en paralelo para producir vapor, parte de este vapor se inyecta directamente a la línea de vapor de 30-33 Kg/cm<sup>2</sup>, que tiene temperatura entre 375-410 °C, el resto del vapor se divide en dos líneas, una en la que se reduce temperatura para producir vapor de 30-33 Kg/cm<sup>2</sup> y temperatura entre 280-330°C, en la otra línea se expande el vapor hasta una presión de 17-19 Kg/cm<sup>2</sup> y temperatura entre 280-330°C, parte de la cual se mezcla con vapor de baja presión y se envía al fondo del desaireador.

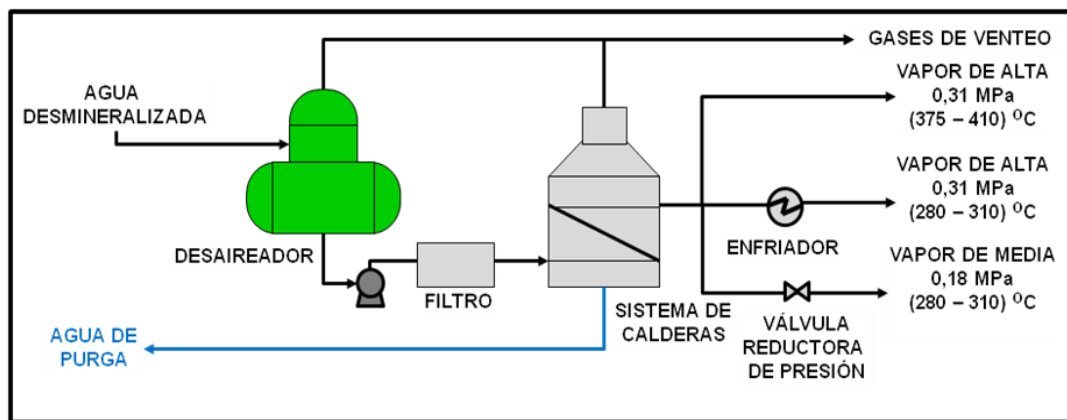


Figura N° 10. Diagrama de Flujo de la Planta de Generación de Vapor

En el fondo de las calderas de esta planta se acumula agua que con la recirculación de los condensados va aumentando su concentración de sedimentos, por lo que para mantener la calidad de agua en las mismas, se realiza una purga continua del agua de fondo, los efluentes generados en esta planta se identifican de acuerdo al código que tienen los equipos asignados, como:

Purga de la Caldera H1 → Purga H1

Purga de la Caldera H2 → Purga H2

Purga de la Caldera H3 → Purga H3

Purga de la Caldera H4 → Purga H4

Para el funcionamiento adecuado de las calderas, se requiere un flujo continuo de agua en las mismas, como todos los flujos de entrada se colectan en el desaireador, se identifica este equipo como posible receptor de efluentes.

#### IV.1.11. Planta de Agua Desmineralizada para Nitrogenados

Esta planta trata el agua procedente de la planta de tratamiento de agua cruda, y está organizada como se muestra en la figura.

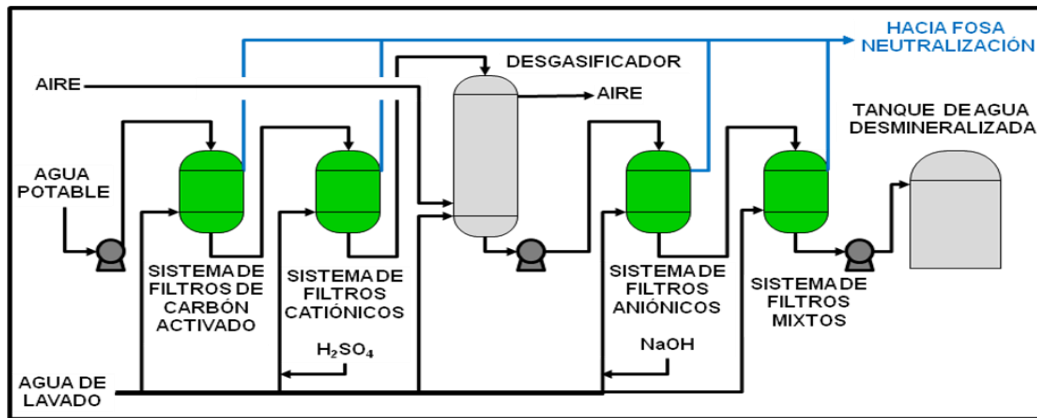


Figura N° 11. Planta de Agua Desmineralizada para Nitrogenados

El agua cruda llega por gravedad y es filtrada en cuatro filtros de carbón activado luego se hace pasar a través de cuatro columnas de resina catiónica donde se intercambia los iones metálicos contenidos en el agua por iones hidrógeno ( $H^+$ ), seguidamente entra a una columna de desgasificación y circula a través de cuatro columnas de resina aniónica donde se intercambian los iones negativos presentes en el agua con los iones hidróxidos ( $OH^-$ ) de la resina, por último el agua ingresa a dos columnas de lecho mezclado, en el cual se intercambian aniones y cationes simultáneamente, el agua desmineralizada es enviada a un tanque de almacenamiento para su uso en la planta de generación de vapor.

Los filtros de carbón activado se regeneran cada 24 horas en dos pasos, las columnas de resina catiónica se regeneran cada 17 horas en cinco pasos, que además de agua potable incluyen la adición de ácido sulfúrico; cada vez que se regenera una de las columnas catiónica, se regenera la columna aniónica que tiene la misma numeración, utilizando agua potable y soda caustica como regenerante; las columnas de lecho mezclado se regeneran cada 300 horas en 10 pasos utilizando agua, soda

caustica y ácido sulfúrico. Todos los efluentes producidos son enviados a la fosa de neutralización de efluentes, y se identifican de la siguiente manera:

Regeneración de filtro de carbón activado A/B/C/D → Carbón A/B/C/D

Regeneración de filtro de resina catiónica A/B/C/D → Cation A/B/C/D

Regeneración de filtro de resina aniónica A/B/C/D → Anión A/B/C/D

Regeneración de filtro de lecho mezclado A/B → Mezclado A/B

Esta planta requiere de un flujo continuo de agua a la entrada, por lo que se identifica los filtros de carbón activado como posibles equipos receptores de efluentes, además esta planta requiere de agua para el lavado de filtros y la regeneración de las resinas, por lo que estos equipos se identifican también como receptores

#### IV.1.12. Planta de Amoniaco

Esta planta fue construida en 1972 por Mitsubishi Heavy Industries bajo el diseño tecnológico de CHEMICO, produce amoniaco líquido y CO<sub>2</sub>, utilizando como materia prima: gas natural, vapor de agua y aire, además de monoetanolamina (MEA) y trietanolamina (TEA), a través del el proceso de modificación de gas natural con vapor de agua (PEQUIVEN, Superintendencia de Procesos, Planta de Amoniaco; 2010).

Esta planta se divide en 8 secciones, tal como se muestra en la Figura N° 12:

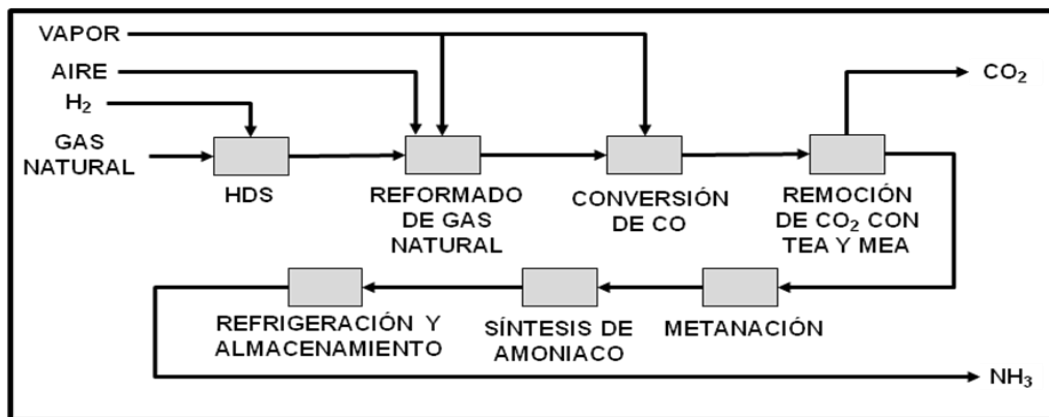


Figura N° 12. Diagrama de Bloques de la Planta de Producción de Amoniaco

#### IV.1.12.1. Hidrodesulfuración

En esta sección se realiza el tratamiento preliminar del gas, con el fin de eliminar los componentes dañinos que pueden envenenar los catalizadores según se muestra en la figura N°13.

El gas natural que ingresa es mezclado con hidrógeno gaseoso ( $H_2$ ) y es enviado al túnel de convección para aumentar la temperatura de entrada al hidrogenador, donde los compuestos orgánicos de azufre reaccionan para producir una mezcla de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y cadenas carbonadas de diferentes longitudes.

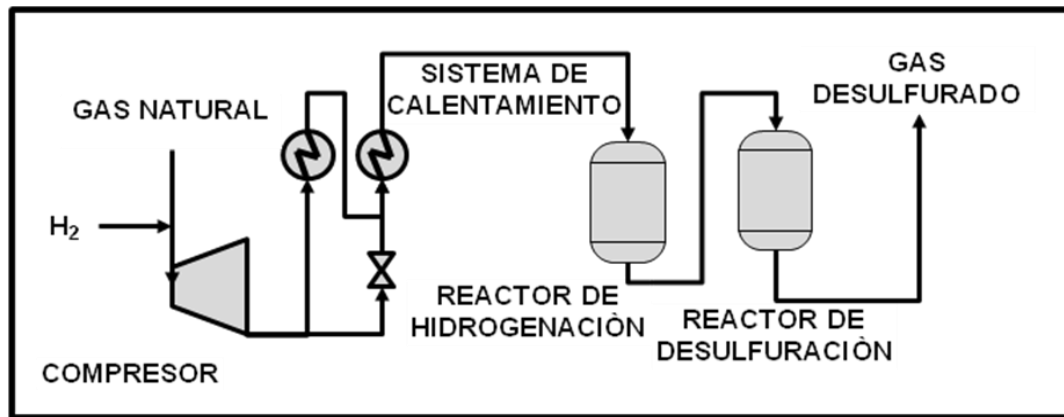


Figura N° 13. Diagrama de flujo de la sección de hidrodesulfuración

La mezcla gaseosa a la salida del reactor de hidrogenación, es introducida a los desulfuradores donde los compuestos de azufre quedan retenidos por adsorción química, produciendo agua,  $CO_2$ . En esta sección no se producen efluentes líquidos, ni hay equipos que requieran agua como insumo.

#### IV.1.12.2. Reformación del Gas Natural

En esta sección se produce el hidrógeno que se requiere para la síntesis de amoníaco y consta de dos pasos: reformación primaria y reformación secundaria, según el diagrama que muestra la figura N° 14.

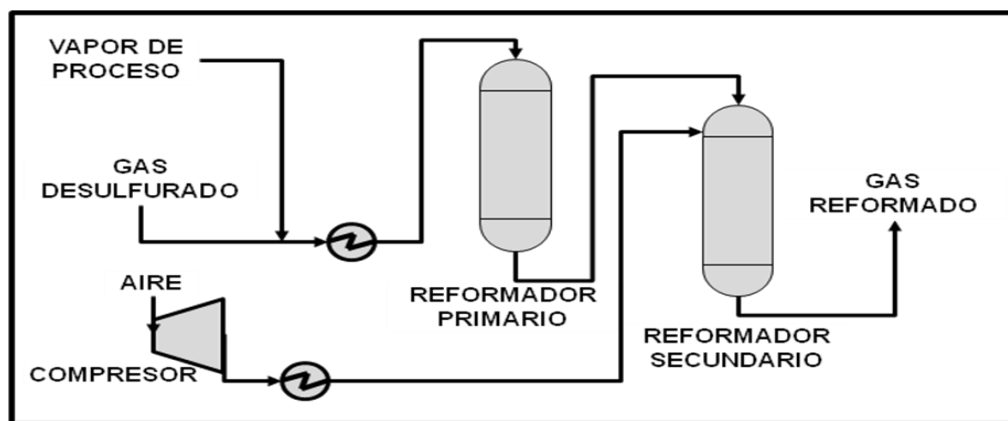


Figura N° 14. Diagrama de Flujo de la Sección de Reformación

En la reformación primaria, el gas purificado se mezcla con una corriente de vapor, que se calienta para entra al reformador primario donde el gas natural reacciona con el vapor de agua para formar  $H_2$ ,  $CO$  y  $CO_2$ , también se favorece la conversión de  $CO$  en  $CO_2$ . En la reformación secundaria se inyecta aire caliente al reformador secundario, para producir la conversión del metano residual y formar  $H_2$ ,  $CO$  y  $CO_2$ . En esta etapa no se generan efluentes líquidos, ni hay equipos que reciban agua.

#### IV.1.12.3. Conversión del Monóxido de Carbono

En esta sección se hace reaccionar el  $CO$  con vapor de agua para formar  $CO_2$ , en dos pasos como se muestra en la figura N° 15.

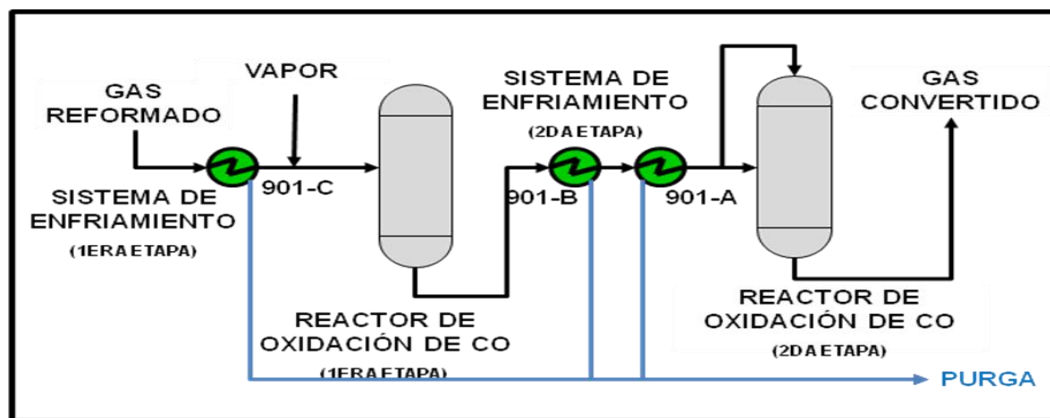


Figura N° 15. Diagrama de Flujo de la Sección de Conversión

En la primera etapa se produce una conversión de alta temperatura, el gas se enfría y se mezcla con vapor a la entrada del convertidor para obtener CO<sub>2</sub> con una concentración de CO a la salida entre 2.0-2.4%. El segundo paso es de conversión de baja temperatura, donde la mezcla proveniente de la primera etapa se enfría nuevamente y se lleva a un segundo convertidor en el que el CO<sub>2</sub> que sale tiene una concentración de CO entre 0.15-0.38%.

El calor liberado durante el enfriamiento del fluido de proceso en los intercambiadores tipo kettle, se utiliza para producir vapor de agua de alta y de media presión, por lo que estos tres equipos no solo requieren agua, sino que producen un efluente de purga.

Estos efluentes se identificaron tal como se señalan los equipos en la planta:

Purga del intercambiador 901-A → Purga 901-A

Purga del intercambiador 901-B → Purga 901-B

Purga del intercambiador 901-C → Purga 901-C

#### IV.1.12.4. Remoción de Dióxido de Carbono

Durante esta sección se retira el CO<sub>2</sub> producido en las secciones de reformación y conversión, para enviarlo como materia prima a la planta de producción de urea. En dos etapas, en la primera etapa la remoción se realiza con TEA siguiendo el esquema que se muestra en la figura N° 16.

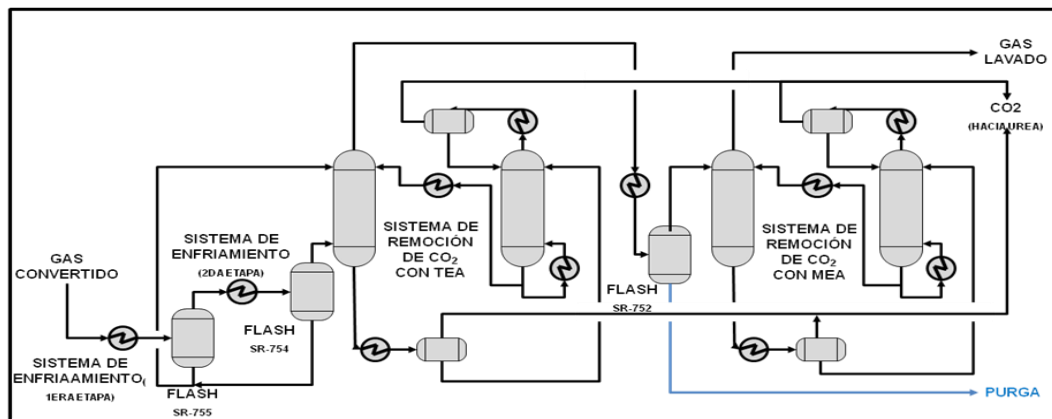


Figura N° 16. Diagrama de Flujo de la Sección de Remoción

El gas convertido es enfriado e ingresa a un primer separador (SR-755), el condensado producido es enviado a la columna absorbadora que utiliza TEA, la mezcla gaseosa se enfría nuevamente y es enviada a un segundo separador (SR-754), el condensado se mezcla con el condensado del SR755 para aprovecharse en la columna absorbadora, el producto de tope del separador entra a la columna por el fondo, donde entra en contacto con una solución de TEA, el producto de fondo se envía a una columna despojadora que separa el CO<sub>2</sub> para enviarlo a la planta de urea y recircula TEA a la columna de absorción; el producto de tope de la columna absorbadora es enviado a la segunda etapa de remoción.

La mezcla gaseosa que sale de la columna absorbadora con TEA es enfriada y entra al separador (SR-752), el condensado es enviado a la fosa de neutralización y el producto de tope es enviado a la columna absorbadora donde entra en contacto con una solución de MEA, el producto de fondo se envía a una columna despojadora que separa el CO<sub>2</sub> para enviarlo a la planta de urea y se recircula MEA a la columna de absorción; el producto de tope de la columna absorbadora es enviado a la sección de metanación.

En esta sección no se requiere agua como insumo, además se produce un solo efluente que se identifica como:

Condensados del Separador SR-752 → Condensado SR-752

#### IV.1.12.5. Metanación

En esta sección, se transforman las trazas de CO y CO<sub>2</sub> presentes en el gas reformado en CH<sub>4</sub> con el fin de prevenir el envenenamiento de los catalizadores en la sección de síntesis tal como se indica en la figura N° 17

El gas reformado se calienta y se envía al convertidor donde el CO y el CO<sub>2</sub> residual se convierten en CH<sub>4</sub>, el gas de salida es enfriado y entra al separador (SR-804) que envía el condensado hacia la fosa de neutralización de efluentes y el gas de tope a la sección de síntesis.

En esta sección se produce un solo efluente que se identifica como:

Condensados del Separador SR-804 → Condensado 804

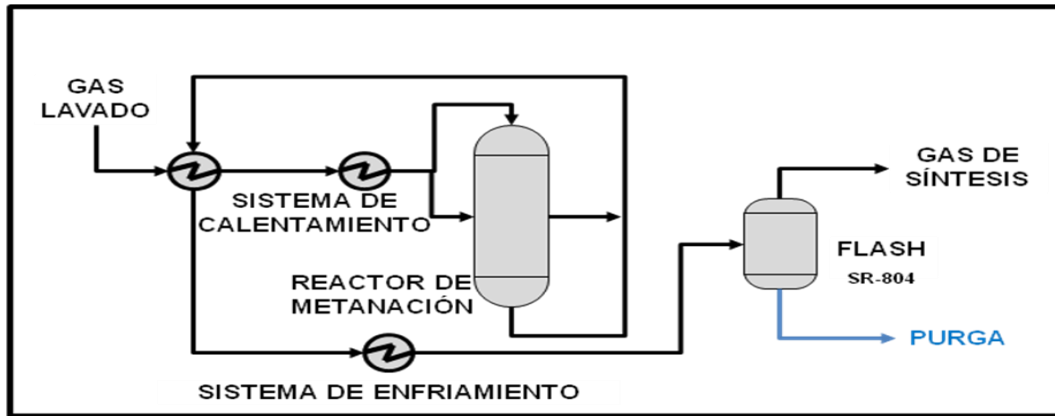


Figura N° 17. Diagrama de Flujo de la Sección de Metanación

#### IV.1.12.6. Síntesis de Amoniaco

En esta sección se sintetiza el amoniaco a partir del esquema que se muestra en la figura N° 18.

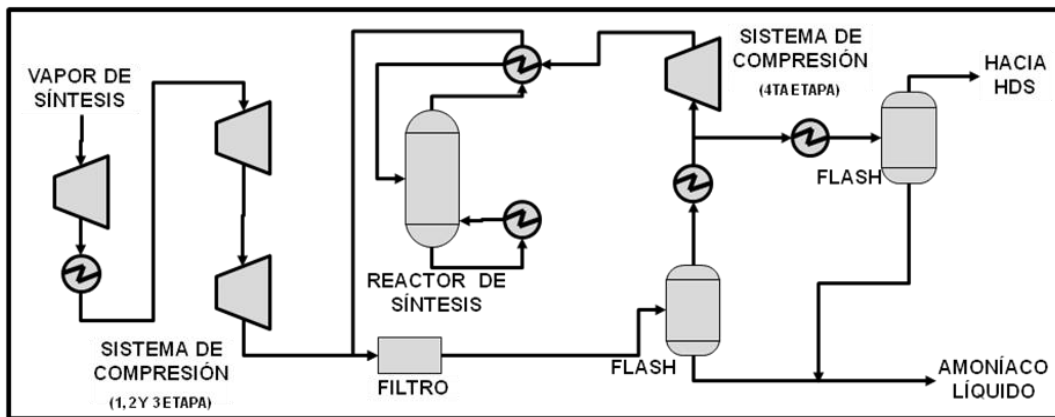


Figura N° 18. Diagrama de Flujo de la Sección de Síntesis de la Planta de Producción de Amoniaco

El gas proveniente de la sección de metanación se comprime en tres etapas la salida de la tercera etapa se mezcla con el vapor del convertidor de síntesis, se filtra e ingresa a un separador (SR-809), el producto de fondo es  $\text{NH}_3$  líquido, mientras que los gases de tope se enfrían, la corriente gaseosa se divide en dos, una parte es



enviada a la cuarta etapa de compresión, se enfría y entra al convertidor de síntesis, la segunda parte de la corriente es enfriada y pasa a un segundo separador, el producto de fondo es amoniaco líquido, y el producto e tope se envía la unidad de PSA (Pressure Swing Adsorbtion) que procesa la corriente de purga para recuperar el H<sub>2</sub> contenido en el, que se despacha a la sección de hidrodesulfuración. En esta sección no se producen efluentes líquidos, ni se requiere agua..

#### IV.1.12.7. Refrigeración y Almacenamiento

En la sección de refrigeración, se prepara el amoniaco a diferentes temperaturas, una parte del amoniaco es retornada al proceso como refrigerante y el resto es enviado a los dos tanques de almacenamiento que tienen capacidades de 3000 y 10000 TM. En esta sección no se producen efluentes líquidos ni hay requerimiento de agua en ningún equipo.

#### IV.1.13. Identificación de Efluentes y Equipos Receptores

Toda la información recaudada en las plantas se puede ver de forma más sencilla en la siguiente tabla N° 10.

Tabla N° 10. Plantas donde se producen efluentes y/o se requiere Agua

Planta	Utiliza agua como insumo para el proceso	Genera efluentes líquidos
Urea	Fuera de Servicio	Fuera de Servicio
Agua Cruda	No	No
Aguas Servidas	No	No
Aguas Secundarias	No	No
Aguas Terciarias	No	No

Tabla N°10 (continuación). Plantas donde se producen efluentes y/o se requiere Agua

Planta	Utiliza agua como insumo para el proceso	Genera efluentes líquidos
Estación Gas Natural	No	No
Generación Energía Eléctrica	No	No
Agua de Enfriamiento	Si	No
Aire comprimido	No	No
Generación de Vapor	Si	Si
Agua Desmineralizada	Si	Si
Amoniac-Hidrodesulfuración	No	No
Amoniac-Reformación	No	No
Amoniac Conversión	Si	Si
Amoniac Remoción	No	Si
Amoniac Metanación	No	Si
Amoniac- síntesis	No	No
Amoniac- Refrigeración	No	no

Siguiendo esta tabla se puede indicar que de las doce plantas evaluadas, solo tres producen efluentes líquidos, específicamente en la planta de generación de vapor, agua desmineralizada y amoniac. Las plantas que necesitan agua como insumo son: agua de enfriamiento, generación de vapor, agua desmineralizada y amoniac.

#### IV.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES

En el área de Nitrogenados Complejo Petroquímico Morón se producen anualmente un total de 469477 TM de efluentes que son aportadas por tres de las doce plantas que componen el área. Los aportes individuales de cada planta se encuentran reflejados en la tabla N° 11.

Tabla N° 11. Masa Anual de los Efluentes Generados en las Planta de Producción

Planta	Masa de Efluente Anual ( TM)
Generación de vapor	70693
Amoniaco	69295
Agua desmineralizada	329489
Total	469477

La planta que produce mayor cantidad de efluentes es la de agua desmineralizada, con el 68% de los efluentes descargados, seguida por la planta de amoniaco con 17% y por último la planta de generación de vapor con el 15% restante. Estos efluentes se analizan a continuación.

#### IV.2.1. Planta de Generación de Vapor

Esta planta genera un efluente total promedio de ocho toneladas métricas por hora de operación, que se distribuyen como se muestra en la tabla N°12 (Los datos de partida se encuentran reportados en los apéndices 8 y 9).

Tabla N° 12. Flujo Másico de los Efluentes en la Planta de Generación de Vapor

Efluente	Flujo Másico (TM/h)	Masa de efluente anual (TM/ año)
Purga H1	4,06	35566
Purga H2	1,59	13928
Purga H3	1,94	16994
Purga H4	0,48	4205
Total	8,07	70693

Se puede observar que la caldera H1 produce más del 50% de los efluentes de esta planta, pues a pesar que los equipos son iguales, se encuentran a diferentes condiciones de operación. Sin embargo es conveniente realizar un estudio de este

equipo para determinar las causas del exceso de purga. Por otra parte la calidad de agua de cada efluente individual se reporta en la Tabla N° 13

Tabla N° 13. Calidad de los Efluentes de la Planta de Generación de Vapor

	Purga H1	Purga H2	Purga H3	Purga H4	Efluente Total
Alcalinidad no carbonática (ppm)	34	77	38	83	46
Alcalinidad carbonática (ppm)	33	53	52	83	44
Alcalinidad total(ppm)	118	160	113	54	121
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	544	711	493	161	542
Dureza cálcica (ppm)	0	0	0	1	0
Dureza total (ppm)	1	1	1	1	1
Fosfato en agua (ppm)	9	7	9	11	9
pH(adim)	10	11	11	11	11
Sílice (ppm)	4	5	4	8	5

Es conocido que la calidad del efluente total es proporcional al volumen de efluente generado por cada efluente particular, por lo que es de esperar que las características de la mezcla tiendan a ser parecidas a la de la caldera H1. También se puede apreciar que la caldera H4 es la que presenta mayor concentración de impurezas, lo que está asociado a que la purga de la misma es pequeña en comparación con los demás equipos.

#### IV.2.2. Planta se Agua Desmineralizada para Nitrogenados

Esta planta produce un aproximado de 329489 m<sup>3</sup> anuales de efluentes que se producen durante la regeneración de los filtros, distribuidos como se muestra en la tabla N° 14

Asumiendo que la densidad de los efluentes es cercana a 1TM/m<sup>3</sup>, se puede aproximar la descarga total de esta planta a 329489 TM de efluente anual. Siendo el mayor aporte el de las resinas catiónicas.

Tabla N° 14. Flujo Másico Promedio de los Efluentes Producidos en la Planta de Agua Desmineralizada

Efluente	Número de filtros (adim)	Volumen de descarga individual (gal)	Volumen de descarga individual (m3)	Descarga totales anuales por filtro (1/año)	Descarga anual por filtro (m <sup>3</sup> /año)
Carbón A/B/C/D	4	2000	8	365	10950
Catiónica A/B/C/D	4	20800	78	515	160772
Aniónica A/B/C/D	4	18900	71	515	146086
Mezclado A/B	2	53340	200	29	11681
Total		95040	356	1425	329489

Dependiendo del tipo de filtro, varían las calidades de los efluentes que se producen, como se puede observar en la tabla N° 15 (para ver datos individuales de los filtros y de cada paso de regeneración ver apéndices del 10 al 25).

Tabla N° 15. Calidad Promedio de los Efluentes Producidos en la Planta de Agua Desmineralizada

Parámetro	Carbón Activado	Resina Catiónica	Resina Aniónica	Lecho Mezclado	Efluente total
pH (adim)	7,5	0,9	13	11,9	6,9
Sólidos en suspensión (ppm)	82	61	28	7	45
Sólidos totales (ppm)	328	6062	15991	5668	10260
Dureza total (ppm de CO <sub>3</sub> )	29	570	0	13	280
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	20	439	0	11	215
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	36	43	1071	16	498
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	9	1	0	18	1
Hierro (ppm de Fe)	3	4	0	0	2
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )		152	6750	3300	3184
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )		34890	3477	7932	18847

En esta tabla se observa que a medida que los filtros que están en una etapa posterior del proceso productivo disminuye la cantidad de sólidos totales que se producen en los filtros, pero aumenta la cantidad de sólidos disueltos, esto se debe a que durante la purificación de las resinas se descargan en el efluente los iones que se habían absorbido durante la operación normal de la planta, junto con el sodio y el sulfato que agregan la soda caustica y el ácido sulfúrico durante la regeneración.

#### IV.2.3. Planta de Amoniaco

Esta planta genera un efluente total promedio de ocho toneladas métricas por hora de operación, para un total de 70693 toneladas de efluente al año, estos aportes se distribuyen como se muestra en la tabla N° 16 (Los datos de partida de la purga de los intercambiadores se encuentran reportados en los apéndice 26 y 27).

Tabla N° 16. Caudales Promedio de los Efluentes en la Planta de Amoniaco

Efluente	Caudal promedio (TM/h)	Caudal anual (TM/año)
Purga 901-A	1,35	11809
Purga 901-B	1,59	13907
Purga 901-C	4,17	36571
Condensado SR-752	0,65	5694
Condensado SR-804	0,15	1314
Total	8,07	69295

En la tabla se puede observar que la mayor cantidad de efluente se produce en los separadores tipo kettle de la sección de convección, ya que estos actúan de manera análoga a una caldera, y se necesita mantener la concentración de ciertos componentes del agua dentro de los parámetros.

Las calidades de los efluentes que se producen en los separadores se muestran en la tabla N° 17

Tabla N° 17. Calidad promedio de los Efluentes Producidos por los Intercambiadores

	Purga 901-A	Purga 901-B	Purga 901-C	Efluente total
Alcalinidad no carbonática (ppm)	72	59	3,71	29,00
Alcalinidad carbonática (ppm)	79	43		
Alcalinidad total(ppm)	160	149	29,39	81
conductividad ( $\mu\text{omh/cm}$ )	636	595	58	288
Dureza cálcica (ppm)	0	0	0	0
Dureza total (ppm)	0	0	0	0
fosfato en agua (ppm)	26	135	7	39
pH(adim)	10,8	10,7	9,4	9,9
Sílice (ppm)	3	65	7	19
solidos disueltos (ppm)	415	402	34	188
Solidos totales (ppm)	504	511	31	228

Al igual que las purgas de calderas de la planta de generación de vapor, esta agua tienen una composición relativamente baja de componentes no deseados, esto se debe a la purga variable que se realiza en estos equipos con el fin de mantener dichas concentraciones dentro de valores aceptados.

Para los otros efluentes no se determinó la calidad total, sino el contenido de nitrógeno total y pH pues las opciones de recuperación dentro de la planta, van a depender principalmente de estos datos.

Tabla N° 18. pH y Nitrógeno Total de los Efluentes Producidos en los Separadores

Efluente	pH (adim.)	Nitrógeno Total (ppm)
Condensado SR-752	7	129
Condensado SR-804	10,7	640

De estos dos efluentes el del SR-804 es el que es más necesario recuperar pues es el efluente más contaminante que se produce en la planta de amoniaco.

### **IV.3. CALIDAD DE AGUA REQUERIDA EN LOS EQUIPOS**

En esta sección se muestran las calidades de agua requerida por los equipos receptores.

#### **IV.3.1. Calderas, Intercambiadores Kettle y Filtros**

Los filtros de la planta de agua desmineralizada se regeneran con agua desmineralizada para asegurar que no se agreguen contaminantes a las resinas, además de evitar que estas se saturen de iones antes de la próxima regeneración.

Para el caso de los intercambiadores tipo ketkler funcionan de manera análoga a una caldera, el calor de cambio de fase, no lo suministra la combustión, sino el fluido de proceso, por las calidades de agua para vapor a la entrada de ambos equipos son parecidas.

La calidad de agua requerida por estos equipos se encuentra reportada en la tabla N° 6 ubicada en el capítulo II.

#### **IV.3.2. Torre de Enfriamiento**

El agua de reposición de la torre de enfriamiento se prefiere con baja cantidad de sólidos suspendidos y totales, además de otros parámetros que se encuentran reportados en la tabla N° 5 del Capítulo II.

### **IV.4. OPCIONES DE RECUPERACIÓN, RECICLO Y/O REUTILIZACIÓN**

En esta sección se muestran las opciones de clasificación reciclo y reutilización que se plantearon para cada uno de los efluentes evaluados



#### IV.4.1. Planta de Generación de Vapor: Purga de Calderas H1, H2, H3 y H4

Las opciones que se plantearon para estos efluentes son:

Opción 1: Reutilizar el efluente de purga como alimentación de la planta de agua desmineralizada, esta opción incluye, la instalación de una bomba y un sistema de tuberías entre las dos plantas y adaptar el sistema de control para que regule el agua proveniente de la planta de agua cruda en función de la purga de calderas.

Opción 2: Reutilizar el efluente de purga en la fosa de agua caliente de la planta de agua de enfriamiento, lo que igual al caso anterior incluye la instalación de una bomba y un sistema de tuberías entre las dos plantas.

Opción 3: reutilizar el efluente como agua de riego, para ello es necesario instalar una bomba, un intercambiador de calor, que disminuya la temperatura, un tanque de almacenamiento y una red de tuberías que solo se use para la distribución del agua hacia las áreas verdes del complejo.

Al aplicar los criterios de selección indicados en el capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 19.

Tabla N° 19 Matriz de Selección, Purga de Calderas

Criterio	%	Opción 1		Opción 2		Opción 3	
		Valor	Ponderación	valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	4	0,68	3	0,51
Flexibilidad	0,11	4	0,44	4	0,44	3	0,33
Posibilidad							
desarrollo	0,06	5	0,30	3	0,18	3	0,18
Subproductos							
y residuos	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Vida útil	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Complejidad	0,08	4	0,32	4	0,32	3	0,24
Tiempo de							
desarrollo	0,11	4	0,44	4	0,44	3	0,33
Disponibilidad							
de insumos	0,19	5	0,95	5	0,95	5	0,95
Total			4,42		4,02		3,66

A partir de esta matriz se concluye que la mejor opción para recuperar la purga de las calderas es reutilizarla como alimentación en la planta de agua desmineralizada, además que es la única opción que permite la recuperación total del caudal de efluente que se produce en la planta.

Por otra parte recuperar este efluente, mejora la calidad del agua a la entrada del sistema, lo que permitirá en un futuro distanciar los tiempos de recuperación de las resinas y por ende reducir el número de efluentes que se producen en esta planta.

#### **IV.4.2. Planta de Amoniaco: Purga de Intercambiadores 901-A, 901-B y 901-C**

Para estos efluentes se plantearon las siguientes opciones:

Opción 1: Reutilizar el efluente de purga como alimentación de la planta de agua desmineralizada, esta opción incluye, la instalación de una bomba y un sistema de tuberías entre las dos plantas y adaptar el sistema de control para que regule el agua proveniente de agua cruda en función de la suma de la purga de calderas de generación de vapor y este efluente.

Opción 2: Reutilizar el efluente de purga en la fosa de agua caliente de la planta de agua de enfriamiento, lo que implica la instalación de una bomba y un sistema de tuberías entre las dos plantas.

Opción 3: Reutilizar el efluente como agua de riego, para ello es necesario instalar una bomba, un intercambiador de calor, que disminuya la temperatura, un tanque de almacenamiento y una red de tuberías que solo se use para la distribución del agua hacia las áreas verdes del complejo.

Al aplicar los criterios de selección indicados en el capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 20.

Tabla N° 20. Matriz de Selección, Purga de Intercambiadores

Criterio	%	Opción 1		Opción 2		Opción 3	
		Valor	Ponderación	valor	Ponderación	valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	4	0,68	3	0,51
Flexibilidad	0,11	4	0,44	4	0,44	3	0,33
Posibilidad de desarrollo	0,06	4	0,24	3	0,18	3	0,18
Subproductos y residuos	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Vida útil	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Complejidad	0,08	4	0,32	4	0,32	3	0,24
Tiempo de Desarrollo	0,11	3	0,33	3	0,33	3	0,33
Disponibilidad de insumos	0,19	5	0,95	5	0,95	5	0,95
<b>Total</b>			<b>4,25</b>		<b>4,13</b>		<b>3,66</b>

En este caso al igual que en las calderas de generación de vapor, la opción más favorable es la de reutilizar este efluente, enviándolo a la planta de agua desmineralizada, ya que es la única opción de tratamiento que permite la recuperación de todo el caudal de efluente producido por estos equipos. Por otra parte también se puede observar que para este caso es mayor el tiempo de desarrollo que para la purga de caldera de la planta de generación de vapor pues esta planta está más alejada de la de agua desmineralizada y se necesita acoplar esta corriente a la generada en agua cruda y la purga de calderas.

Al igual que con la adición de los efluentes de purga de calderas, agregar estos efluentes a agua de entrada de la planta de aguas desmineralizada mejora la calidad de la misma con las consecuencias antes mencionadas.

#### **IV.4.3. Planta de Amoniaco: Condensado SR-752**

Las opciones planteadas para este efluente fueron:

Opción 1: Reciclar el efluente a la columna de lavado con TEA, mezclándolo previamente con los condensados de SR-755 y SR- 754, como actualmente esta corriente es bombeada a la fosa de recuperación, por lo que solo sería necesario instalar el sistema de tuberías y conectarlo, así como estudiar la columna para determinar el nuevo flujo de amina necesaria.

Opción 2: Reutilizar el efluente de purga en la torre de enfriamiento, a la salida de la fosa de agua caliente, para ello se requiere conectar el sistema de tuberías y evaluar si se puede utilizar el punto por el que se recuperaba el agua de retorno de la planta de urea.

Opción 3: Reutilizar el efluente como agua de riego, para ello es necesario instalar una bomba, un tanque de almacenamiento y una red de tuberías que solo se use para la distribución del agua hacia las áreas verdes del complejo.

Al aplicar los criterios de selección indicados en el capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 21.

Tabla N° 21. Matriz de Selección, Purga Condensado SR-752

Criterio	%	Opción 1		Opción 2		Opción 3	
		Valor	Ponderación	valor	Ponderación	valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	5	0,85	5	0,85
Flexibilidad	0,11	1	0,11	3	0,33	3	0,33
Posibilidad desarrollo	0,06	3	0,18	4	0,24	4	0,24
Subproductos y residuos	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Vida útil	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Complejidad	0,08	5	0,40	5	0,40	3	0,24
Tiempo de Desarrollo	0,11	3	0,33	4	0,44	4	0,44
Disponibilidad de insumos	0,19	3	0,57	5	0,95	5	0,95
Total			3,56		4,33		4,17

En este caso, la mejor opción es reutilizar el efluente en la torre de enfriamiento como agua de reposición, aunque en principio se pretendía recuperar el efluente en la columna despojadora, esta opción incluía un mayor tiempo de desarrollo, así como el aumento del flujo de TEA que se suministra.

#### IV.4.4. Planta de Amoniaco: Condensado SR-804

Para este efluente se plantearon las siguientes opciones:

Opción 1: Reciclar el efluente a la columna de lavado con MEA, para lo que se requiere un estudio del funcionamiento de la columna, que determine el punto de ingreso a la misma, la cantidad de MEA que se requerirá para su procesamiento y el sistema de tuberías que lo conecte.

Opción 2: Reutilizar el efluente de purga en la torre de enfriamiento, en la fosa de agua fría, para ello se requiere diseñar y conectar el sistema de tuberías.

Al aplicar los criterios de selección indicados en el capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 22.

.Tabla N° 22. Matriz de Selección, Condensado SR-804

Criterio	%	Opción 1		Opción 2	
		Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	5	0,85
Flexibilidad	0,11	1	0,11	3	0,33
Posibilidad de desarrollo	0,06	3	0,18	4	0,24
Subproductos y residuos	0,20	4	0,80	4	0,80
Vida útil	0,08	4	0,32	4	0,32
Complejidad	0,08	2	0,16	4	0,32
Tiempo de Desarrollo	0,11	2	0,22	4	0,44
Disponibilidad de insumos	0,19	5	0,95	5	0,95
<b>Total</b>			<b>3,59</b>		<b>4,25</b>

Este efluente tiene un pH muy alto para poder utilizarse como agua de riego, pero sus características, lo hacen ideal para utilizarlo como agua de enfriamiento y descargarlo en la piscina de agua fría de la planta de agua de enfriamiento.

#### IV.4.5. Planta de Agua Desmineralizada: Filtros de Carbón Activado

Opción 1: Reutilizar el efluente en la torre de enfriamiento, directamente en la piscina de agua fría. Lo que implica diseñar e instalar el sistema de tuberías y una bomba adecuada.

Opción 2: Reutilizar el efluente como agua de riego, para ello es necesario instalar una bomba, un tanque de almacenamiento y una red de tuberías que solo se use para la distribución del agua hacia las áreas verdes del complejo.

Al aplicar los criterios de selección indicados en el capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 23.

Tabla N° 23. Matriz de Selección, Descarga de filtros de Carbón Activado

Criterio	%	Opción 1		Opción 2	
		Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	5	0,85
Flexibilidad	0,11	3	0,33	3	0,33
Posibilidad de desarrollo	0,06	4	0,24	3	0,18
Subproductos y residuos	0,20	4	0,80	4	0,80
Vida útil	0,08	4	0,32	4	0,32
Complejidad	0,08	4	0,32	3	0,24
Tiempo de Desarrollo	0,11	4	0,44	3	0,33
Disponibilidad de insumos	0,19	5	0,95	5	0,95
Total			4,25		4,00

La opción más conveniente para la recuperación de este efluente es reutilizarlo en la planta de agua de enfriamiento y descargarlo directamente a la piscina de agua fría.

#### IV.4.6. Planta de Agua Desmineralizada: Filtros de Resina Catiónica

Opción 1: recuperar el efluente en la planta de ácido sulfúrico, para lo cual se necesita un sistema de bombeo que permita enviar este fluido a través del complejo hasta la planta de ácido sulfúrico, se necesita además un tanque para almacenar las descargas y poder trabajar a flujo constante de caudal.

Opción 2: Neutralizar el efluente del filtro de resina catiónica con el producido por los filtros de resina aniónica y lecho mezclado y descargarlo al mar, que es lo que se está haciendo actualmente, ya que el efluente total se envía a la fosa de neutralización junto con los demás efluentes del área

Al aplicar los criterios de selección indicados en el Capítulo 3, se obtiene la matriz señalada en la tabla N° 24.

Tabla N° 24. Matriz de Selección, Descarga de filtros de Resina Aniónica

Criterio	%	Opción 1		Opción 2	
		Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Rendimiento	0,17	5	0,85	5	0,85
Flexibilidad	0,11	3	0,33	3	0,33
Posibilidad desarrollo	0,06	3	0,18	5	0,30
Subproductos y residuos	0,20	1	0,20	1	0,20
Vida útil	0,08	1	0,08	3	0,24
Complejidad	0,08	1	0,08	5	0,40
Tiempo de Desarrollo	0,11	1	0,11	5	0,55
Disponibilidad de insumos	0,19	1	0,19	3	0,57
<b>Total</b>			<b>2,02</b>		<b>3,44</b>

Para el tratamiento de efluentes de recuperación de resinas, no se han hecho muchos avances, las nuevas tendencias sustituyen las resinas por tecnologías que producen menos residuos, como es el caso de las membranas, ósmosis inversa y la desalinización.

Debido a la complejidad de tratar estos efluentes, al realizar la matriz de selección se verifica que la opción de dejar el sistema en su condición actual es la solución más acertada. Ya que enviar un fluido de pH bajo y alta dureza a través de una distancia tan larga, va a generar un problema de diseño, de implementación, y de poca vida útil de ese sistema de tuberías, que se tendrían que cambiar cada cuatro (4) años, según el reporte de los ingenieros de mantenimiento del complejo

Sin embargo esta opción, utiliza como contraparte otros efluentes a los que tampoco se les ha encontrado un mejor uso industrial, lo que reduce la cantidad de insumos que necesita esta opción. Aunado a esto, el hecho de que se reciclen todos los demás efluentes de la planta, prácticamente elimina la cantidad de insumos que se requiere para mantener un pH adecuado a la salida de la fosa de neutralización.

#### **IV.4.7. Planta de Agua Desmineralizada: filtros de Resina Aniónica y Lecho Mezclado**

La forma de recuperar estos efluentes se estableció en la sección anterior.

#### **IV.5. PROPUESTA FINAL**

Como se indicó anteriormente en el área de Nitrogenados Complejo Petroquímico Pequiven Morón se producen anualmente un total de 469477 TM de efluentes de las cuales 151274 TM son recuperables aplicando la opción recomendada, como se muestra en la tabla N° 25.



Tabla N° 25. Opciones más Favorables de Recuperación, reciclo y/o Reutilización de Efluentes.

Identificación del efluente	Flujo Másico Anual (TMA)	Opción recomendada
H1/H2/H3/H4	70693	Alimentación de la planta de agua desmineralizada
901-A/B/C	62623	Alimentación de la planta de agua desmineralizada
SR-752	5694	Salida de la fosa de agua caliente de la planta de agua de enfriamiento
SR-804	1314	Fosa de agua fría de la planta de agua de enfriamiento
Carbon A/B/C/D	10950	Fosa de agua fría de la planta de agua de enfriamiento

De esa tabla se deduce que el sistema donde se recuperan más efluentes es la planta de agua desmineralizada, que colecta 133316 TM de agua al año, el resto de los efluentes recuperables son enviados a la planta de agua de enfriamiento para reponer el fluido que se pierde por evaporación, arrastre y fugas en la línea de tubería.

En el caso de los efluentes producidos durante la regeneración de las resinas catiónicas, aniónicas y de lecho mezclado, se consideran no recuperables, manteniendo la condición actual de la planta en la que son enviados a la fosa de neutralización de área de nitrogenados para su descarga al mar.

Esta propuesta de recuperación se organiza gráficamente en la figura N°19.

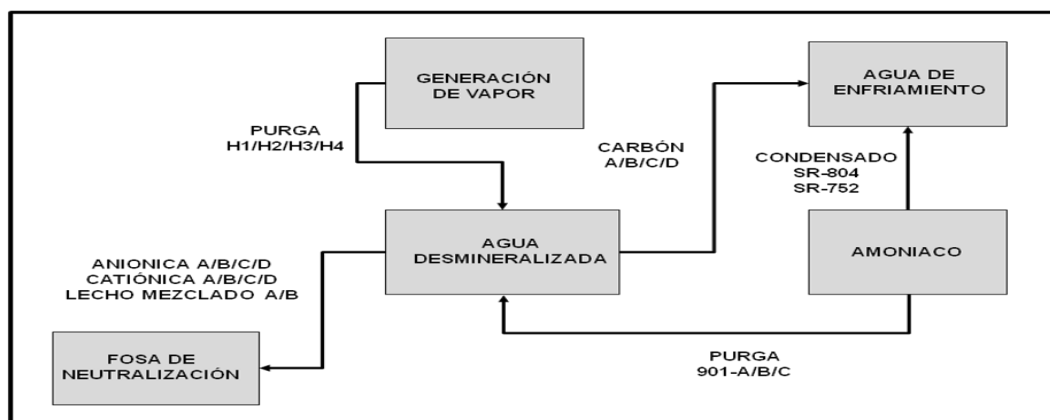


Figura N° 19. Diagrama de Bloques de la Propuesta Final de Reutilización de Efluentes

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones establecidas por los resultados obtenidos.

#### **V.1. CONCLUSIONES**

- El área de Nitrogenados del complejo Petroquímico Morón produce un total de 469477 TMA de efluente de los cuales 151274 TMA pueden ser recuperados.
- La planta de agua desmineralizada es la planta donde se produce la mayor cantidad de efluentes con el 70% de los efluentes líquidos del área (329489 TMA).
- En la planta de agua desmineralizada se puede reciclar la mayor cantidad de efluentes (133316 TMA).
- La planta de agua desmineralizada es la planta que produce todos los efluentes no recuperables del área con un total de (318203 TMA).
- La caldera H1 está generando un efluente muy grande comparado con las otras calderas de la planta de generación de vapor.
- La caldera H4 tiene una relación de purga inadecuada.
- Reutilizar la purga de calderas e intercambiadores en la planta de agua desmineralizada, reducirá a futuro la cantidad de efluentes que se produce en la misma.
- Reutilizar los efluentes como se indica reducirá la cantidad de hidróxido de sodio y ácido sulfúrico que se utiliza en la fosa de neutralización.
- El efluente de purga de las calderas de la planta de generación de vapor se debe reutilizar como alimentación en la planta de agua desmineralizada.

- El efluente de purga de los intercambiadores de la planta de amoniaco se debe reutilizar como alimentación en la planta de agua desmineralizada.
- Los condensados producidos en el separador SR-752 y SR-804 de la planta de amoniaco se debe reutilizar en la planta de agua de enfriamiento en la fosa de agua caliente y en la fosa de agua fría respectivamente.
- El efluente producido por los filtros de carbón activado en la planta de agua desmineralizada, se deben reutilizar en la fosa de agua fría de la planta de agua de enfriamiento.
  - El efluente producido por los filtros de resina Aniónica, resina catiónica y lecho mezclado se considera no recuperables y se mantiene el envío de los mismos a la fosa de neutralización del área de nitrogenados.
  - Es necesario cambiar la tecnología de desmineralización por otra tecnología que produzca menos efluentes.

## V.2. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar la posibilidad de uso de la planta de tratamiento de agua cruda como receptora de efluentes.
- Reactivar el sistema de filtrado de la planta de agua de enfriamiento para nitrogenados y realizar el análisis de efluentes que produce el mismo.
- Realizar mantenimiento preventivo en la caldera H1 para determinar las causas del exceso de purga en este equipo.
- Verificar la relación de purga de la caldera H4, ya que contiene el nivel más elevado de contaminantes dentro del equipo.
- Una vez que se realice el reciclo de las purgas de las calderas de la planta de generación de vapor y de los intercambiadores de la sección de conversión de la planta de amoniaco, es conveniente hacer un estudio para determinar en qué proporción mejora la calidad del agua a la entrada y ajustar el tiempo de regeneración de los filtros.
- Para eliminar la generación de efluentes en el área es necesario encontrar un método alternativo para producir agua desmineralizada.
- Al seleccionar un método alternativo para producir agua desmineralizada, se debe considerar la calidad del agua después de las modificaciones aplicadas.

## BIBLIOGRAFIA

- American Water Association (1975). Control de Calidad y Tratamiento del Agua: Manual de Abastecimientos Públicos de Aguas. Madrid, España. Instituto de Estudios de Administración Local
- Aramendi, Y. (2006). Mejora del Sistema de Manejo de Efluentes del Área de Fosfatados del Complejo Petroquímico Morón. Tesis de grado no publicada, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Díaz, J. y Carrasco, L. (1992, Abril). Programa de minimización de residuos (I) Generalidades y técnicas. Ingeniería Química: Diseño, Ingeniería, Operación y Mantenimiento de Plantas Industriales, 277, 137-143.
- González, C. y Sánchez, J. (1986). Efluentes Líquidos de la Planta de Amoniaco. Morón, Venezuela, Petroquímica de Venezuela, S.A.
- Lavouge, R. y Rawa, J. (1980). A Water and Wastewater Survey Including an Evaluation of Water Testing Capabilities for Petroquímica de Venezuela S.A. (PEQUIVEN) Complejo Morón – Edo Carabobo Venezuela. Pennsylvania, USA. Calgon Coporation.
- Ley de Aguas. (2007, Enero 2). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595.
- Machado, M. (1983) Resultado de Análisis de Efluentes Líquidos del Complejo Morón Junio 82 - Octubre 83. Morón, Venezuela, Petroquímica de Venezuela, S.A.

- Metcalf & Eddy, INC (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización (3ra ed., Vol. II). Madrid, España. McGraw Hill.
- Nemerow, N. y Dasgupta, A. (1998). Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. España. Díaz de Santos.
- Nordel, E (1981) Tratamiento de Agua Para la industria y Otros Usos. México: Compañía editorial Continental.
- Normas para la Clasificación y el Control de Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos (Decreto 883). (1995, Octubre 11) Gaceta oficial de la República de Venezuela N° 5021(Extraordinario), Diciembre 18, 1995.
- ONU, High Level Forum – World Water Day, (2013, Marzo 22). Recognition of Outcomes. High Level Forum – World Water Day [Documento en línea]. Disponible en <http://www.unwater.org/downloads/High-Level-Forum-Outcome-Statement-22Mar2013.pdf> [Consulta: 2013, Abril 16]
- ONU, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez, Poder, Pobreza y la Crisis Mundial del Agua. [Documento en línea]. Disponible en: [http://hdr.undp.org/en/media/HDR\\_2006\\_ES\\_Complete.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2006_ES_Complete.pdf) Consulta [2012, diciembre 10]
- PEQUIVEN (2013, abril 29). [Página Web en línea] Disponible: <http://www.pequiven.com/index.php/cpmoron> [Consulta: 2013, octubre 14].
- PEQUIVEN, Superintendencia de Procesos, Planta de Amoniaco (2010). Descripción de Procesos: Planta de Amoniaco INST. 180 - A. Morón, Venezuela. Autor.

PEQUIVEN, Superintendencia de Procesos, Servicios Industriales (2010).  
Descripción de Procesos: Servicios Industriales. Morón, Venezuela. Autor.

Petroquímica de Venezuela, Sección de Proyectos, Departamento de Ingeniería  
(1980). Proyecto: Tratamiento de Efluentes de Urea Morón Venezuela Autor

Pinto, O. (1986). Estudio de la Factibilidad de Recuperar el Efluente de f-44 de la  
Planta de Urea 750 TMD. Morón, Venezuela. Petroquímica de Venezuela.

Romero, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño.  
Bogotá, Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Valdez, E. Y Vásquez González, A. (2003). Ingeniería de los Sistemas de  
Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales. México. Fundación ICA

## APÉNDICES

- Apéndice N° 1. Aspectos Generales del Programa de Muestreo.
- Apéndice N° 2. Planilla de Solicitud de Ensayos del Laboratorio Central.
- Apéndice N° 3. Planilla de Recepción de Muestra del Laboratorio Central.
- Apéndice N° 4. Etiqueta de Identificación de Muestras del Laboratorio Central.
- Apéndice N° 5. Matriz de Comparación Binaria.
- Apéndice N° 6. Matriz de Comparación Binaria Inicial.
- Apéndice N° 7. Planimetría General del Complejo Petroquímico Morón.
- Apéndice N° 8. Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de la Planta de Generación de Vapor.
- Apéndice N° 9. Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la Planta de Generación de Vapor.
- Apéndice N° 10. Calidad de Efluentes del Filtro de Carbón activado A.
- Apéndice N° 11. Calidad de Efluentes del Filtro de Carbón activado B.
- Apéndice N° 12. Calidad de Efluentes del Filtro de Carbón activado C.
- Apéndice N° 13. Calidad de Efluentes del Filtro de Carbón activado D.
- Apéndice N° 14. Calidad promedio de los Efluentes del Filtro de Carbón Activado.
- Apéndice N° 15. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Catiónica A.
- Apéndice N° 16. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Catiónica B.
- Apéndice N° 17. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Catiónica C.
- Apéndice N° 18. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Catiónica D.
- Apéndice N° 19. Calidad Promedio de los Efluentes del Filtro de Resina Catiónica.
- Apéndice N° 20. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Aniónica A.
- Apéndice N° 21. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Aniónica B.
- Apéndice N° 22. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Aniónica C.
- Apéndice N° 23. Calidad de Efluentes del Filtro de resina Aniónica D.



Apéndice N° 24. Calidad Promedio de los Efluentes del Filtro de Resina Aniónica.

Apéndice N° 25. Calidad de Efluentes del Filtro de Lecho Mezclado A.

Apéndice N° 26. Flujo Volumétrico de los Intercambiadores 901-A y 901-B de la Planta de Amoniaco.

Apéndice N° 27. Flujo Volumétrico del Intercambiador 901-C de la Planta de Amoniaco.

Apéndice N° 1. Aspectos Generales del Programa de Muestreo

Efluente	Sitio de captación	tipo de muestra	Cuantificación de caudales	Numero de muestras		Volumen de muestra simple
				Simples	Compuestas	simple
Purga H1	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Purga H2	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Purga H3	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Purga H4	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Carbón A	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	2	1	1 gal
Carbón B	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	2	1	1 gal
Carbon C	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	2	1	1 gal
carbón D	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	2	1	1 gal
cationico A	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
cationico B	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
Cationico C	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
cationico D	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
anionico A	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
anionico B	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
cationico C	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
cationico D	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	5	1	1 gal
mezclado A	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	9	1	1 gal
mezclado B	Descarga del equipo	compuesta	balance de masa	9	1	1 gal

\*Valores tomados de los análisis diarios de agua de caldera realizados por el laboratorio central

Apellido N° 1 (continuación): Aspectos Generales del Programa de Muestreo }


Efluente	Sitio de captación	tipo de muestra	Cuantificación de caudales	Numero de muestras		Volumen de muestra simple
				Simples	Compuestas	
Purga 901-A	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Purga 901-B	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
Purga 901-C	Toma muestra	simple	datos estadísticos	0*	0	0
condensado SR- 754	Descarga del equipo	simple	balance de masa	1	0	0,5 l
condensado SR- 752	Descarga del equipo	simple	balance de masa	1	0	0,5 l
Condensado SR- 804	Descarga del equipo	simple	balance de masa	1	0	0,5 l

\*Valores tomados de los análisis diarios de agua de caldera realizados por el laboratorio central





Apéndice N° 4. Etiquetas de identificación de muestras, laboratorio central

 <b>Pequiven</b> <small>Petroquímica de Venezuela, S.A.</small>	<b>IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS</b>
<b>MUESTRA:</b>	
<b>PROCEDENCIA:</b>	
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b>	
<b>FECHA / HORA DE MUESTREO:</b>	
<b>MUESTREO REALIZADO POR:</b>	
<b>TIPO DE ANALISIS:</b> PLAN DE LA CALIDAD <input type="checkbox"/> ESPECIAL <input type="checkbox"/> NO CONFORME <input type="checkbox"/> OTROS <input type="checkbox"/>	
<b>ESTATUS DE LA MUESTRA:</b> POR ANALIZAR <input type="checkbox"/> ANALIZADA <input type="checkbox"/> TESTIGO <input type="checkbox"/>	
<b>OBSERVACIONES:</b>	
M-FE-VP-GM-R-001	

Apéndice N° 5. Matriz de Comparación Binaria

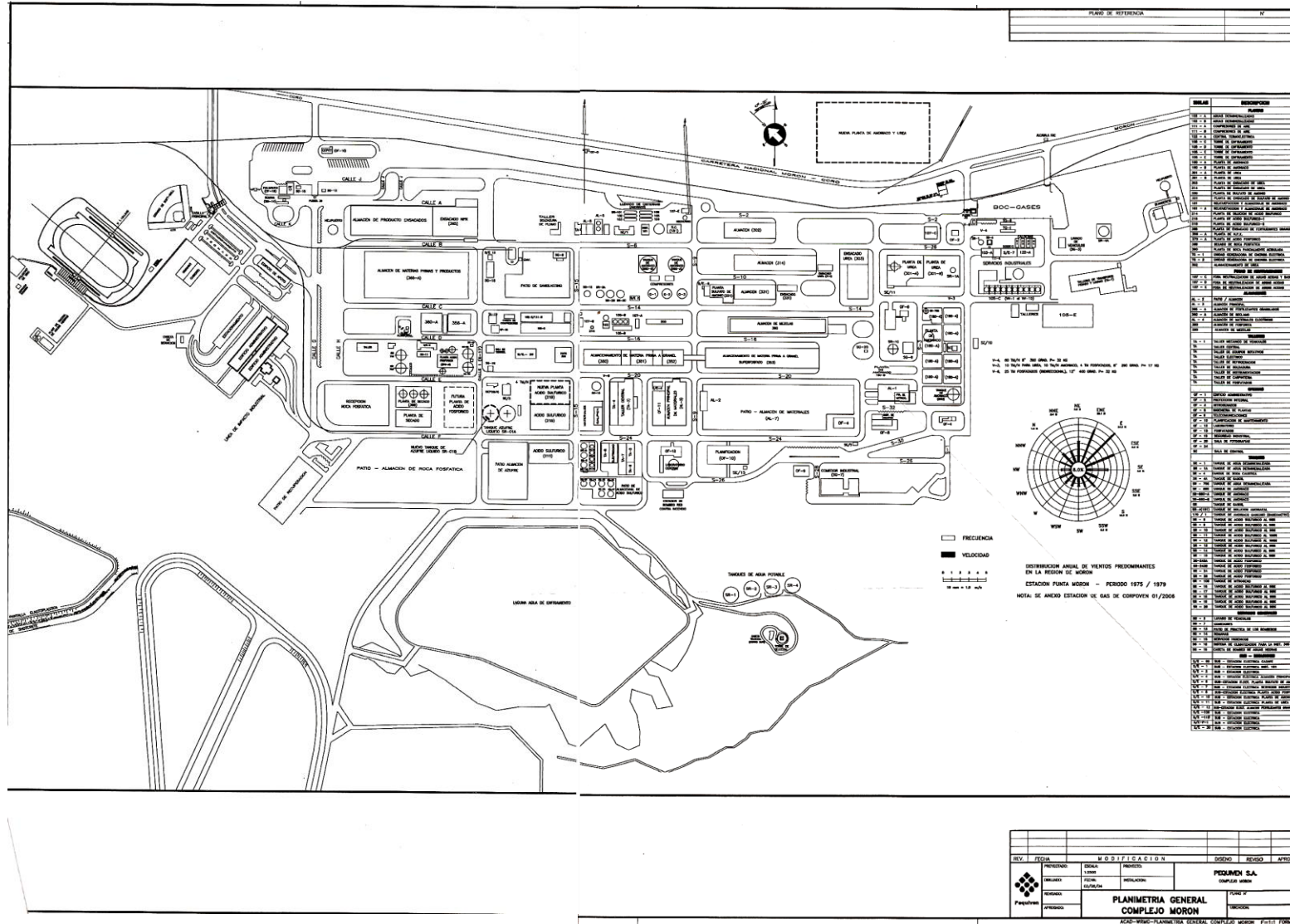
Criterio	CP	IR	R	FO	DF	SP	VU	C	TD	DI	Total %
Costo Producción											
Inversión Requerida											
Rendimiento											
Flexibilidad											
Desarrollo futuro											
Supproductos y residuos											
Vida útil											
Complejidad											
Tiempo de desarrollo											
Disponibilidad de insumos											

Apéndice N° 6. Matriz de Comparación Binaria Inicial

Criterio	CP	IR	R	FO	DF	SP	VU	C	TD	DI	Total	%
Costo Producción	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4	7
Inversión Requerida	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Rendimiento	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7	13
Flexibilidad	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	6	11
Desarrollo futuro	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	4	7
Suproductos y residuos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9	16
Vida útil	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	5	9
Complejidad	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	6	11
Tiempo de desarrollo	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	6	11
Disponibilidad de insumos	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9	16



## Apéndice N° 7. Planimetría del Complejo Petroquímico Morón



Apéndice 8. Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de la Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
02-ene	33,35	30,62	29,66	28,90	3,69	1,72
07-ene	28,82	29,29	25,34	27,94	3,48	1,35
15-ene	51,70	52,78	44,45	44,09	7,25	8,69
16-ene	50,85	43,25	44,57	40,60	6,28	2,65
17-ene	48,04	45,71	44,65	43,18	3,39	2,53
18-ene	49,04	45,74	45,02	45,08	4,02	0,66
21-ene	31,42	27,15	28,92	26,14	2,50	1,01
22-ene	42,36	37,92	35,56	34,18	6,80	3,74
23-ene	24,36	30,91	22,33	29,75	2,03	1,16
24-ene	35,15	28,40	32,43	27,14	2,72	1,26
25-ene	41,45	44,42	37,60	38,14	3,85	6,28
28-ene	42,33	40,63	38,32	37,49	4,01	3,14
29-ene	31,21	31,20	28,31	29,72	2,90	1,48
30-ene	35,19	25,12	32,41	24,25	2,78	0,87
31-ene	39,80	36,57	37,28	36,35	2,52	0,22
06-feb	45,05	41,09	41,58	39,80	3,47	1,29
07-feb	46,77	42,32	41,46	40,61	5,31	1,71
11-feb	44,96	39,10	39,93	37,49	5,03	1,61
18-feb	46,92	43,64	42,03	40,62	4,89	3,02
19-feb	47,56	45,59	43,27	45,10	4,29	0,49
20-feb	0,00	45,34	0,00	43,97	0,00	1,37
04-mar	32,66	27,69	28,52	27,42	4,14	0,27
05-mar	45,48	42,14	41,17	40,71	4,31	1,43
06-mar	45,65	38,49	41,95	36,83	3,70	1,66
07-mar	47,16	41,57	42,87	40,51	4,29	1,06
10-mar	49,61	43,61	43,32	41,77	6,29	1,84
11-mar	46,17	40,15	44,17	37,98	2,00	2,17
12-mar	48,56	42,81	43,38	40,88	5,18	1,93
13-mar	48,60	43,23	43,66	42,19	4,94	1,04
14-mar	48,71	44,23	43,24	42,11	5,47	2,12
17-mar	49,60	47,58	44,38	44,13	5,22	3,45

Apéndice 8 (Continuación ). Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de la  
Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
18-mar	38,90	36,84	33,40	34,87	5,50	1,97
19-mar	44,90	33,75	41,86	33,10	3,04	0,65
24-mar	26,91	30,10	25,14	26,69	1,77	3,41
25-mar	30,80	29,67	27,83	26,41	2,97	3,26
27-mar	46,04	43,71	41,70	40,91	4,34	2,80
31-mar	44,71	41,37	40,18	39,48	4,53	1,89
01-abr	43,32	42,52	40,29	39,35	3,03	3,17
02-abr	43,31	40,95	38,48	38,95	4,83	2,00
03-abr	42,03	39,96	38,73	37,36	3,30	2,60
07-abr	38,24	41,67	34,47	39,45	3,77	2,22
08-abr	48,32	46,50	43,52	43,92	4,80	2,58
29-abr	32,40	32,87	26,61	31,04	5,79	1,83
07-may	37,80	31,50	33,88	29,34	3,92	2,16
08-may	46,13	44,85	42,41	42,80	3,72	2,05
09-may	47,00	44,11	43,15	42,58	3,85	1,53
14-may	37,00	45,17	33,70	44,16	3,30	1,01
15-may	37,15	38,12	34,52	36,86	2,63	1,26
19-may	46,36	45,16	42,53	43,58	3,83	1,58
21-may	40,68	40,86	37,82	39,76	2,86	1,10
22-may	45,75	45,75	42,33	37,69	3,42	8,06
26-may	42,29	39,87	38,94	39,36	3,35	0,51
30-may	43,00	40,52	40,26	38,19	2,74	2,33
02-jun	50,79	46,55	45,29	46,00	5,50	0,55
03-jun	26,42	30,38	26,08	30,29	0,34	0,09
04-jun	48,20	46,91	45,08	45,85	3,12	1,06
06-jun	49,81	49,60	46,14	49,53	3,67	0,07
09-jun	49,51	49,50	45,23	49,48	4,28	0,02
10-jun	47,90	48,25	45,21	41,38	2,69	6,87
12-jun	43,54	42,72	40,44	38,98	3,10	3,74
16-jun	41,49	37,60	37,88	35,60	3,61	2,00
17-jun	47,99	36,60	42,04	36,39	5,95	0,21

Apéndice 8 (Continuación) . Calidad Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de  
la Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
18-jun	46,08	42,73	43,71	42,29	2,37	0,44
20-jun	45,75	36,79	41,62	34,84	4,13	1,95
01-jul	27,87	0,00	22,63	0,00	5,24	0,00
02-jul	17,80	0,00	16,38	0,00	1,42	0,00
05-jul	29,13	0,00	25,74	0,00	3,39	0,00
06-jul	28,52	0,00	23,41	0,00	5,11	0,00
07-jul	21,08	16,80	15,87	16,78	5,21	0,02
08-jul	20,04	0,00	18,84	0,00	1,20	0,00
09-jul	36,74	0,00	30,94	0,00	5,80	0,00
10-jul	32,58	0,00	30,08	0,00	2,50	0,00
11-jul	24,45	0,00	20,77	0,00	3,68	0,00
14-jul	28,56	26,44	26,47	24,31	2,09	2,13
15-jul	35,07	31,30	32,85	30,70	2,22	0,60
22-jul	49,01	47,40	44,59	44,58	4,42	2,82
23-jul	48,13	45,50	44,39	43,27	3,74	2,23
25-jul	48,28	43,73	43,29	42,88	4,99	0,85
28-jul	43,29	43,89	39,01	42,17	4,28	1,72
01-ago	44,99	41,71	40,84	40,33	4,15	1,38
07-ago	43,14	36,32	38,76	36,17	4,38	0,15
11-ago	43,30	39,52	38,89	38,04	4,41	1,48
13-ago	45,49	39,24	41,53	36,88	3,96	2,36
19-ago	46,25	44,31	42,86	42,60	3,39	1,71
20-ago	48,12	45,33	44,12	42,65	4,00	2,68
21-ago	43,95	36,85	42,09	32,77	1,86	4,08
22-ago	43,85	40,63	39,50	39,58	4,35	1,05
29-ago	48,15	40,20	40,29	35,76	7,86	4,44
01-sep	47,63	41,74	42,68	39,98	4,95	1,76
02-sep	47,06	40,32	41,87	38,32	5,19	2,00
03-sep	46,02	40,75	42,50	39,70	3,52	1,05
03-sep	46,55	41,92	42,03	40,56	4,52	1,36

Apéndice 8 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de la Planta  
de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
04-sep	47,09	41,10	42,10	40,18	4,99	0,92
10-sep	47,72	44,00	47,72	42,69	0,00	1,31
11-sep	0,00	42,62	0,00	38,73	0,00	3,89
17-sep	47,87	41,69	42,29	40,15	5,58	1,54
18-sep	44,10	42,63	37,70	40,20	6,40	2,43
19-sep	45,99	0,00	37,07	0,00	8,92	0,00
21-sep	44,96	43,38	39,57	42,34	5,39	1,04
22-sep	37,64	36,93	33,10	35,96	4,54	0,97
01-oct	44,63	41,75	38,93	40,25	5,70	1,50
02-oct	46,24	40,54	40,18	39,81	6,06	0,73
03-oct	33,15	25,05	29,44	24,72	3,71	0,33
06-oct	48,48	14,44	14,95	14,00	33,53	0,44
07-oct	24,61	27,48	24,21	26,71	0,40	0,77
09-oct	36,21	26,31	30,17	24,98	6,04	1,33
10-oct	20,41	16,73	15,83	14,29	4,58	2,44
13-oct	0,00	25,00	0,00	24,88	0,00	0,12
15-oct	48,50	32,60	42,00	32,60	6,50	0,00
16-oct	49,00	34,62	45,04	34,62	3,96	0,00
20-oct	36,04	0,00	31,06	0,00	4,98	0,00
21-oct	41,62	0,00	36,21	0,00	5,41	0,00
22-oct	49,06	37,66	44,29	35,76	4,77	1,90
28-oct	0,00	44,64	0,00	41,98	0,00	2,66
04-nov	35,31	31,44	31,28	30,76	4,03	0,68
05-nov	38,45	35,62	34,94	34,98	3,51	0,64
06-nov	39,69	41,03	33,52	39,79	6,17	1,24
10-nov	32,33	28,99	28,19	28,89	4,14	0,10
17-nov	39,66	42,14	34,22	40,84	5,44	1,30
20-nov	27,30	20,90	22,80	19,37	4,50	1,53
24-nov	13,75	0,00	10,21	0,00	3,54	0,00
02-dic	0,00	30,60	0,00	30,39	0,00	0,21

Apéndice 8 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H1 y H2 de la Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H1	H2	H1	H2	H1	H2
03-dic	29,90	27,70	27,25	27,62	2,65	0,08
04-dic	32,95	27,43	29,36	27,43	3,59	0,00
08-dic	44,08	41,81	41,07	40,84	3,01	0,97
09-dic	49,08	42,80	40,60	41,89	8,48	0,91
10-dic	0,00	34,63	0,00	33,30	0,00	1,33
12-dic	0,00	30,25	0,00	24,78	0,00	5,47
15-dic	0,00	29,63	0,00	28,02	0,00	1,61
16-dic	0,00	34,42	0,00	33,47	0,00	0,95
17-dic	29,10	28,50	26,39	27,68	2,71	0,82
Promedios	37,93	34,60	33,87	33,01	4,06	1,59

Apéndice N° 8. Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la Planta de  
Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H3	H4	H3	H4	H3	H4
02-ene	24,51	30,60	24,23	29,50	0,28	1,10
07-ene	22,32	30,51	21,23	30,20	1,09	0,31
15-ene	40,83	0,00	40,16	0,00	0,67	0,00
16-ene	39,25	0,00	38,75	0,00	0,50	0,00
17-ene	41,97	0,00	39,54	0,00	2,43	0,00
18-ene	42,45	0,00	42,38	0,00	0,07	0,00
21-ene	24,30	32,00	21,53	31,10	2,77	0,90
22-ene	22,32	35,15	20,79	34,80	1,53	0,35
23-ene	18,93	29,07	18,46	28,20	0,47	0,87
24-ene	22,28	34,67	20,89	34,40	1,39	0,27
25-ene	36,73	34,50	34,41	33,85	2,32	0,65
28-ene	39,28	40,97	35,10	40,70	4,18	0,27
29-ene	25,57	29,70	24,89	29,30	0,68	0,40
30-ene	26,71	30,80	25,33	30,74	1,38	0,06
31-ene	35,47	32,18	34,77	31,70	0,70	0,48
06-feb	33,87	40,79	32,36	40,30	1,51	0,49
07-feb	34,73	40,14	32,96	40,10	1,77	0,04
11-feb	34,30	39,70	33,00	39,58	1,30	0,12
18-feb	35,40	38,50	34,31	38,09	1,09	0,41
19-feb	41,76	43,86	41,27	43,50	0,49	0,36
20-feb	43,30	44,70	42,81	43,30	0,49	1,40
04-mar	31,61	30,88	28,80	30,40	2,81	0,48
05-mar	33,47	38,83	32,30	38,30	1,17	0,53
06-mar	32,04	38,33	30,37	38,10	1,67	0,23
07-mar	34,45	37,50	31,87	37,28	2,58	0,22
10-mar	38,73	41,10	35,16	39,04	3,57	2,06
11-mar	40,34	38,05	34,87	38,50	5,47	-0,45
12-mar	37,32	35,30	34,55	35,15	2,77	0,15
13-mar	36,40	37,27	34,15	37,00	2,25	0,27
14-mar	36,62	38,45	34,60	38,40	2,02	0,05

Apéndice 9 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H3	H4	H3	H4	H3	H4
17-mar	41,20	37,02	38,27	36,90	2,93	0,12
18-mar	33,05	35,80	31,25	35,36	1,80	0,44
19-mar	35,47	37,00	32,55	36,19	2,92	0,81
24-mar	28,70	32,94	28,00	32,90	0,70	0,04
25-mar	24,25	33,10	22,59	33,10	1,66	0,00
27-mar	33,84	31,60	31,28	31,45	2,56	0,15
31-mar	33,96	36,60	31,54	35,90	2,42	0,70
01-abr	30,54	31,82	28,57	31,80	1,97	0,02
02-abr	30,83	31,60	28,66	31,27	2,17	0,33
03-abr	34,72	31,20	32,90	31,19	1,82	0,01
07-abr	35,26	31,50	32,36	31,20	2,90	0,30
08-abr	38,71	37,52	37,03	37,10	1,68	0,42
29-abr	29,90	34,42	27,10	34,08	2,80	0,34
07-may	35,70	30,20	32,23	30,20	3,47	0,00
08-may	38,93	38,64	35,78	38,30	3,15	0,34
09-may	33,74	38,20	31,12	35,15	2,62	3,05
14-may	28,13	31,45	26,98	31,45	1,15	0,00
15-may	37,48	38,40	35,52	37,80	1,96	0,60
19-may	34,31	32,40	32,56	32,27	1,75	0,13
21-may	30,24	32,60	28,47	32,41	1,77	0,19
22-may	34,60	29,30	20,94	28,91	13,66	0,39
26-may	22,81	34,20	21,54	31,66	1,27	2,54
30-may	23,64	31,60	21,56	31,48	2,08	0,12
02-jun	0,00	37,52	0,00	37,20	0,00	0,32
03-jun	0,00	32,20	0,00	31,83	0,00	0,37
04-jun	0,00	37,10	0,00	37,60	0,00	-0,50
06-jun	0,00	31,00	0,00	30,59	0,00	0,41
09-jun	0,00	35,80	0,00	35,26	0,00	0,54
10-jun	0,00	38,80	0,00	38,73	0,00	0,07
12-jun	32,90	33,50	32,80	33,35	0,10	0,15



Apéndice 9 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la  
Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H3	H4	H3	H4	H3	H4
16-jun	32,13	31,30	29,94	31,29	2,19	0,01
17-jun	34,77	37,20	32,55	37,18	2,22	0,02
18-jun	38,44	36,00	33,10	34,64	5,34	1,36
20-jun	32,19	33,90	28,48	32,40	3,71	1,50
01-jul	19,40	17,10	15,80	17,09	3,60	0,01
02-jul	17,70	20,80	14,88	17,54	2,82	3,26
05-jul	22,66	21,50	18,70	20,82	3,96	0,68
06-jul	27,77	25,90	24,91	25,48	2,86	0,42
07-jul	19,78	29,90	16,80	29,34	2,98	0,56
08-jul	17,62	27,40	15,53	27,09	2,09	0,31
09-jul	27,11	0,00	26,03	0,00	1,08	0,00
10-jul	33,64	29,80	28,63	29,77	5,01	0,03
11-jul	25,35	28,10	24,04	28,01	1,31	0,09
14-jul	27,98	32,31	24,89	31,10	3,09	1,21
15-jul	38,40	34,25	32,57	34,20	5,83	0,05
22-jul	37,06	34,10	33,57	34,09	3,49	0,01
23-jul	35,11	33,08	32,57	32,70	2,54	0,38
25-jul	43,60	32,10	33,53	32,00	10,07	0,10
28-jul	37,71	33,70	33,60	33,50	4,11	0,20
01-ago	32,79	31,70	31,20	31,40	1,59	0,30
07-ago	30,15	31,15	29,70	30,90	0,45	0,25
11-ago	33,74	31,60	32,32	31,35	1,42	0,25
13-ago	33,58	31,60	32,44	30,67	1,14	0,93
19-ago	36,67	30,40	34,68	30,40	1,99	0,00
20-ago	39,72	31,80	33,64	31,54	6,08	0,26
21-ago	32,93	28,43	32,63	27,50	0,30	0,93
22-ago	0,00	26,34	0,00	25,40	0,00	0,94
29-ago	33,41	34,09	31,22	34,00	2,19	0,09
01-sep	32,13	31,60	30,84	31,48	1,29	0,12
02-sep	33,41	31,70	32,42	31,60	0,99	0,10

Apéndice 9 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la  
Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H3	H4	H3	H4	H3	H4
03-sep	32,69	31,80	30,89	31,45	1,80	0,35
03-sep	32,81	32,60	31,65	32,31	1,16	0,29
04-sep	32,17	32,50	31,19	31,65	0,98	0,85
10-sep	36,05	30,60	34,55	29,64	1,50	0,96
11-sep	35,94	31,30	34,46	30,00	1,48	1,30
17-sep	29,96	29,80	29,04	29,10	0,92	0,70
18-sep	35,70	29,80	33,60	29,47	2,10	0,33
19-sep	27,44	31,40	25,02	29,34	2,42	2,06
21-sep	34,49	30,90	32,84	30,04	1,65	0,86
22-sep	34,26	31,10	33,26	29,81	1,00	1,29
01-oct	31,71	31,28	29,37	30,26	2,34	1,02
02-oct	28,45	30,60	26,32	29,88	2,13	0,72
03-oct	22,34	0,00	22,13	0,00	0,21	0,00
06-oct	12,64	15,30	12,53	14,13	0,11	1,17
07-oct	0,00	17,10	0,00	16,31	0,00	0,79
09-oct	0,00	22,60	0,00	22,60	0,00	0,00
10-oct	20,18	20,90	20,02	20,70	0,16	0,20
13-oct	33,00	22,80	28,68	21,80	4,32	1,00
15-oct	36,40	39,30	32,90	39,30	3,50	0,00
16-oct	36,64	41,70	32,22	40,29	4,42	1,41
20-oct	25,24	39,20	22,90	39,15	2,34	0,05
21-oct	26,90	39,40	25,08	38,90	1,82	0,50
22-oct	34,23	40,42	31,36	39,30	2,87	1,12
28-oct	33,75	40,20	30,93	38,71	2,82	1,49
04-nov	27,27	37,30	25,36	36,82	1,91	0,48
05-nov	39,03	40,10	35,09	43,51	3,94	-3,41
06-nov	37,16	43,10	33,26	40,14	3,90	2,96
10-nov	29,56	37,50	27,85	37,36	1,71	0,14
17-nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Apéndice 9 (Continuación). Flujo Volumétrico de las Calderas H3 y H4 de la  
Planta de Generación de Vapor

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	H3	H4	H3	H4	H3	H4
24-nov	0,00	17,00	0,00	15,81	0,00	1,19
02-dic	27,74	37,40	27,15	36,51	0,59	0,89
03-dic	27,33	37,30	26,55	37,21	0,78	0,09
04-dic	25,69	37,50	24,68	37,25	1,01	0,25
08-dic	0,00	39,96	0,00	39,00	0,00	0,96
09-dic	0,00	38,30	0,00	38,13	0,00	0,17
10-dic	0,00	38,30	0,00	38,26	0,00	0,04
12-dic	0,00	34,30	0,00	34,07	0,00	0,23
15-dic	0,00	33,30	0,00	33,03	0,00	0,27
16-dic	0,00	30,80	0,00	30,30	0,00	0,50
17-dic	0,00	29,30	0,00	28,93	0,00	0,37
Promedios	27,36	31,23	25,42	30,76	1,94	0,48

Apéndice N° 9. Calidad de Efluentes del filtro de Carbón Activado A

Parámetro	Retrolavado	Enjuague	Compuesta
pH (adim.)	7,02	7,2	7,4
Sólidos en suspensión (mg/l)	96	18	82
Sólidos totales (mg/l)	232	140	228
Dureza total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	32	30	30
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	21	21	21
Cloruros (mg/l de Cl <sup>-</sup> )	34	33	33
Silice (mg / l de SiO <sub>2</sub> )	20	15	16
Hierro (mg/l de Fe)	4	1	3

Apéndice N° 10. Calidad de efluentes del filtro de Carbón activado B

Parámetro	Retrolavado	Enjuague	Compuesta
pH (adim.)	7,3	7,3	7,6
Sólidos en suspensión (mg/l)	70	23	66
Sólidos totales (mg/l)	224	74	206
Dureza total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	32	31	31
Dureza cálcica (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	23	22	23
Cloruros (mg/l de Cl <sup>-</sup> )	34	30	34
Silice (mg / l de SiO <sub>2</sub> )	18	16	17
Hierro (mg/l de Fe)	3	1	2

Apéndice N° 11. Calidad de Efluentes del Filtro de Carbón Activado C

Parámetro	Retrolavado	Enjuague	Compuesta
pH (adim.)	7,25	6,98	7,30
Sólidos en suspensión (mg/l)	139	68	103
Sólidos totales (mg/l)	1744	224	664
Dureza total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	22	22	22
Dureza cálcica (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	18	16	17
Cloruros (mg/l de Cl <sup>-</sup> )	34	30	34
Silice (mg / l de SiO <sub>2</sub> )	115	72	----
Hierro (mg/l de Fe)	3	1	2

Apéndice N° 12. Calidad de efluentes del filtro de Carbón activado D

Parámetro	Retrolavado	Enjuague	Compuesta
pH (adim.)	7,17	7,15	7,54
Sólidos en suspensión (mg/l)	90	11	76
Sólidos totales (mg/l)	220	142	216
Dureza total (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	31	31	31
Dureza cálcica (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	22	18	20
Cloruros (mg/l de Cl <sup>-</sup> )	55	30	43
Silice (mg / l de SiO <sub>2</sub> )	5	3	5
Hierro (mg/l de Fe)	4	0	3

Apéndice N° 13. Calidad de Efluentes de los Filtros de Carbón Activado

Parámetro	Carbón A	Carbón B	Carbón C	Carbón D	Efluente promedio
pH (adim)	7.4	7.6	7.3	7.5	7.5
Sólidos en suspensión (ppm)	82	66	103	76	82
Sólidos totales (ppm)	228	206	664	216	328
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	30	31	22	31	29
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	21	23	17	20	20
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	33	34	34	43	36
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	16	17	0	5	9
Hierro (ppm de Fe)	3	2	2	3	3



Apéndice N° 14. . Calidad de Filtro de Resina Cationica A

Parámetro	Retrolavado	Ácido Lento	Ácido Rápido	Enjuague Lento	Enjuague Final	Compuesta
pH (adim)	6,7	1,2	1,0	0,7	1,6	1,3
Sólidos en suspensión (ppml)	12	8	2	9	0	6
Sólidos totales (ppm)	124	7824	11772	11360	378	3388
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	25	802	861	1254	47	386
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	21	622	661	830	43	333
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	14	42	46	26	12	40
Silice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	7	2	0	0	5	3
Hierro (ppm de Fe)	0	4	3	5	0	2
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	20	102	132	32	7	88
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	4916	31520	60476	90920	6144	18428

Apéndice N° 15. . Calidad de Filtro de Resina Cationica B

Parámetro	Retrolavado	Ácido Lento	Ácido Rápido	Enjuague Lento	Enjuague Final	Compuesta
pH (adim)	5,8	1,0	0,8	1,0	1,5	0,7
Sólidos en suspensión (ppml)	4	105	194	182	31	82
Sólidos totales (ppm)	234	11090	17460	15296	5288	11152
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	23	704	1352	1547	177	545
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	17	464	988	1317	132	429
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	31	51	54	78	36	40
Silice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	8	0	0	0	6	0
Hierro (ppm de Fe)	0	1	2	2	5	5
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	4	174	510	50	24	72
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	740	49256	87196	98624	12356	36496

Apéndice N° 16. . Calidad de Filtro de Resina Cationica C

Parámetro	Retrolavado	Ácido Lento	Ácido Rápido	Enjuague Lento	Enjuague Final	Compuesta
pH (adim)	6,1	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8
Sólidos en suspensión (ppml)	14	97	1278	664	62	116
Sólidos totales (ppm)	412	14808	22008	20228	5032	5814
Dureza total (ppm de CaCO3)	23	914	1479	1545	400	844
Dureza cálcica (ppm de CaCO3)	22	677	1129	1086	298	607
Cloruros (ppm de Cl-)	24	65	90	49	46	36
Sílice (ppm de SiO2)	9	1	0	0	2	0
Hierro (ppm de Fe)	0	6	15	18	2	7
Sodio (ppm de Na+)	13	967	833	190	32	380
Sulfatos (ppm de SO4-)	2472	46456	98328	116244	23596	44752

Apéndice N° 17. . Calidad de Filtro de Resina Cationica D

Parámetro	Retrolavado	Ácido Lento	Ácido Rápido	Enjuague Lento	Enjuague Final	Compuesta
pH (adim)	5,0	1,0	0,7	0,6	1,1	1,0
Sólidos en suspensión (ppml)	16	44	72	108	9	39
Sólidos totales (ppm)	128	6072	14344	10702	2320	3892
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	21	659	1140	1334	176	504
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	14	481	942	1003	138	385
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	24	72	81	213	134	56
Silice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	7	1	0	12	12	1
Hierro (ppm de Fe)	0	1	2	4	0	1
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	10	450	517	22	1	68
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	40	42640	88536	104076	15020	39884

Apéndice N° 18. Calidad Promedio de los Efluentes del Filtro de Resina Catiónica

Parámetro	Catiónica A	Catiónica B	Catiónica C	Catiónica D	Efluente promedio
pH (adim)	1,3	0,7	0,8	0,9	0,9
Sólidos en suspensión (ppm)	6	82	116	39	61
Sólidos totales (ppm)	3388	11152	5814	3892	6062
Dureza total (ppm de CO <sub>3</sub> )	386	545	844	504	570
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	333	429	607	385	439
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	40	40	36	56	43
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	3	0	0	1	1
Hierro (ppm de Fe)	2	5	7	1	4
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	88	72	380	68	152
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	18428	36496	44752	39884	34890

Apéndice N° 19. . Calidad de Filtro de Resina Aniónica A

Parámetro	Retrolavado	Pre calentamiento	Entrada de Soda	Enjuague Lento	Enjuague Rápido	Compuesta
pH (adim)	3,2	4,4	12,9	13,2	12,9	13,1
Sólidos en suspensión (ppml)	0	15	4	6	7	3
Sólidos totales (ppm)	38	4	35260	69412	10660	21004
Dureza total (ppm de CaCO3)	1	0	0	0	0	0
Dureza cálcica (ppm de CaCO3)	0	0	0	0	0	0
Cloruros (ppm de Cl-)	217	137	1817	3419	694	1268
Silice (ppm de SiO2)	0	0	0	0	0	0
Hierro (ppm de Fe)	0	0	0	0	0	0
Sodio (ppm de Na+)	1	2	35000	10500	3000	5000
Sulfatos (ppm de SO4-)	204	268	9012	5972	252	3844

Apéndice N° 20. . Calidad de Filtro de Resina Aniónica B

Parámetro	Retrolavado	Pre calentamiento	Entrada de Soda	Enjuague Lento	Enjuague Rápido	Compuesta
pH (adim)	3,1	4,8	14,1	13,5	12,6	13,1
Sólidos en suspensión (ppml)	3	2	14	5	36	91
Sólidos totales (ppm)	2120	288	22120	80400	2036	16560
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	1	0	0	0	0
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	4	0	0	0	0
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	12	1	828	1880	2085	48
Silice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	53	8	473	0	9	0
Hierro (ppm de Fe)	0	0	0	0	0	0
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	0	1	3800	10500	240	8000
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	20	220	5416	7636	84	1808

Apéndice N° 21. . Calidad de Filtro de Resina Aniónica C

Parámetro	Retrolavado	Pre calentamiento	Entrada de Soda	Enjuague Lento	Enjuague Rápido	Compuesta
pH (adim)	3,4	5,4	12,8	12,9	12,6	13,0
Sólidos en suspensión (ppml)	1	1	15	21	3	9
Sólidos totales (ppm)	44	26	44226	60484	6598	13200
Dureza total (ppm de CaCO3)	0	0	0	0	0	0
Dureza cálcica (ppm de CaCO3)	0	0	0	0	0	0
Cloruros (ppm de Cl-)	11	8	2935	4126	584	1485
Silice (ppm de SiO2)	3	7	29	1	4	0
Hierro (ppm de Fe)	0	0	0	0	0	0
Sodio (ppm de Na+)	85	1	11000	16500	1400	7000
Sulfatos (ppm de SO4-)	652	128	10836	7000	852	4128



Apéndice N° 22. . Calidad de Filtro de Resina Aniónica D

Parámetro	Retrolavado	Precalentamiento	Entrada de Soda	Enjuague Lento	Enjuague Rápido	Compuesta
pH (adim)	2,8	3,5	13,3	13,8	13,4	13,7
Sólidos en suspensión (ppml)	2	3	31	99	4	9
Sólidos totales (ppm)	50060	25	25916	66940	6344	14708
Dureza total (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0	0
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	2	41	2425	3045	170	828
Silice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	420	618	368	512	451	768
Hierro (ppm de Fe)	0	0	0	0	0	0
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	1	1	2500	6500	30000	1500
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	144	296	27112	3116	432	1216

Apéndice N° 23. Calidad de Efluentes de los Filtros de Resina Aniónica

Parámetro	Aniónica A	Aniónica B	Aniónica C	Aniónica D	Efluente promedio
pH (adim)	13,1	13,1	13,0	13,0	13,0
Sólidos en suspensión (ppm)	3	91	9	9	28
Sólidos totales (ppm)	21004	16560	13200	13200	15991
Dureza total (ppm de CO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	0	0
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	1268	48	1485	1485	1071
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	0	0	0	0	0
Hierro (ppm de Fe)	0	0	0	0	0
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	5000	8000	7000	7000	6750
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	3844	1808	4128	4128	3477

Apéndice N° 24. Calidad de Efluentes del Filtro de Lecho Mezclado A

Parámetro	Dreanaje	retrolavado	precalentamiento	entrada acido soda	entrada Soda
pH (adim)	6,0	6,4	3,9	1,3	2,8
Sólidos en suspensión (ppm)	1	1	5	8	10
Sólidos totales (ppm)	176	36	68	33472	12368
Dureza total (ppm de CO <sub>3</sub> )	0	0	0	72	43
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	0	0	0	26	17
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	14	19	7	41	34
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	0	0	3	9	73
Hierro (ppm de Fe)	1	1	830	1	2
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	3	3	3	3000	3500
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	16	56	128	56140	19576

Apéndice 25 (Continuación) Calidad de Efluentes del Filtro de Lecho Mezclado A

Parámetro	enjuague lento	enjuague rápido	drenaje 2	enjuague final	Compuesta
pH (adim)	13,0	27,9	9,9	4,2	11,9
Sólidos en suspensión (ppm)	51	2	0	1	7
Sólidos totales (ppm)	16536	7228	44	12	5668
Dureza total (ppm de CO <sub>3</sub> )	19	0	0	0	13
Dureza cálcica (ppm de CaCO <sub>3</sub> )	10	0	0	0	11
Cloruros (ppm de Cl <sup>-</sup> )	36	19	4	15	16
Sílice (ppm de SiO <sub>2</sub> )	14	11	2	5	18
Hierro (ppm de Fe)	2	0	0	1	0
Sodio (ppm de Na <sup>+</sup> )	2347	1867	0	33	3300
Sulfatos (ppm de SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	496	536	148	40	7932

Apéndice N° 25. Flujo Volumétrico de las los Intercambiadores 901-A y 901-B  
de la Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	901-A	901-B	901-A	901-B	901-A	901-B
02-ene	34,65	38,84	33,08	36,10	1,57	2,74
03-ene	35,08	36,00	33,53	34,42	1,55	1,58
04-ene	35,45	36,62	33,14	35,22	2,31	1,40
07-ene	34,98	36,40	33,62	34,54	1,36	1,86
09-ene	34,94	35,90	33,24	35,03	1,70	0,87
14-ene	18,94	24,94	17,75	24,33	1,19	0,61
17-ene	0,00	36,32	0,00	34,15	0,00	2,17
21-ene	10,27	39,56	10,18	36,73	0,09	2,83
22-ene	15,85	35,40	13,48	34,94	2,37	0,46
23-ene	21,82	35,07	20,48	33,43	1,34	1,64
30-ene	0,00	35,12	0,00	32,92	0,00	2,20
06-feb	32,57	34,32	31,09	33,30	1,48	1,02
07-feb	35,06	34,12	33,00	33,42	2,06	0,70
14-feb	37,62	34,31	35,67	33,48	1,95	0,83
19-feb	18,33	21,48	18,23	20,71	0,10	0,77
04-mar	36,76	34,50	35,37	32,73	1,39	1,77
05-mar	37,77	33,93	36,24	32,95	1,53	0,98
10-mar	36,87	33,41	35,59	32,35	1,28	1,06
11-mar	36,58	33,44	34,99	31,95	1,59	1,49
12-mar	35,70	35,43	34,47	34,43	1,23	1,00
13-mar	35,52	39,34	34,75	35,61	0,77	3,73
14-mar	35,66	35,98	34,95	34,34	0,71	1,64
18-mar	35,29	34,99	34,59	33,90	0,70	1,09
24-mar	35,43	35,09	33,69	33,43	1,74	1,66
25-mar	35,65	35,75	33,82	33,62	1,83	2,13
26-mar	35,99	35,32	34,93	34,77	1,06	0,55
28-mar	35,81	35,43	34,42	34,19	1,39	1,24
31-mar	35,75	35,17	33,55	34,30	2,20	0,87
01-abr	35,94	35,44	34,73	33,45	1,21	1,99
02-abr	35,34	35,11	33,95	34,22	1,39	0,89

Apéndice 26 (Continuación). Flujo Volumétrico de los Intercambiadores 901-A y 901-B de la Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	901-A	901-B	901-A	901-B	901-A	901-B
03-abr	35,44	35,13	34,41	33,32	1,03	1,81
07-abr	35,65	35,10	34,46	33,56	1,19	1,54
08-abr	34,89	35,46	32,22	33,37	2,67	2,09
09-abr	35,16	35,17	33,85	33,64	1,31	1,53
10-abr	35,97	34,87	34,74	33,50	1,23	1,37
14-abr	35,91	35,13	34,35	34,01	1,56	1,12
16-abr	36,38	30,82	35,20	23,08	1,18	7,74
17-abr	36,40	36,40	35,19	35,19	1,21	1,21
21-abr	35,75	34,93	33,49	33,47	2,26	1,46
22-abr	36,25	35,13	34,46	33,57	1,79	1,56
28-abr	38,70	35,31	35,69	33,33	3,01	1,98
15-may	38,92	36,61	37,90	34,91	1,02	1,70
20-may	39,00	36,38	37,99	34,76	1,01	1,62
26-may	38,87	36,66	37,18	35,36	1,69	1,30
27-may	38,69	36,45	38,26	34,57	0,43	1,88
29-may	39,19	36,66	37,97	35,13	1,22	1,53
30-may	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02-jun	39,30	36,82	37,76	35,16	1,54	1,66
16-jun	40,19	36,95	36,80	33,44	3,39	3,51
19-jun	39,86	36,70	37,40	33,86	2,46	2,84
23-jun	38,81	35,67	37,01	34,28	1,80	1,39
14-jul	38,94	37,34	37,87	35,49	1,07	1,85
16-jul	39,81	37,64	38,80	35,74	1,01	1,90
21-jul	39,07	36,98	37,62	34,98	1,45	2,00
28-jul	38,47	36,40	37,86	34,43	0,61	1,97
30-jul	38,86	37,26	37,85	35,21	1,01	2,05
16-ago	38,17	36,33	36,80	34,44	1,37	1,89
17-ago	38,20	36,46	36,91	34,48	1,29	1,98
18-ago	38,69	36,47	38,16	34,57	0,53	1,90
19-ago	38,28	36,41	37,23	35,02	1,05	1,39

Apéndice 26 (Continuación). Flujo Volumétrico de los Intercambiadores 901-A y 901-B de la Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	901-A	901-B	901-A	901-B	901-A	901-B
20-ago	38,34	36,19	37,20	34,55	1,14	1,64
21-ago	38,16	36,55	36,87	33,86	1,29	2,69
22-ago	37,99	36,17	37,22	34,30	0,77	1,87
23-ago	38,30	36,51	36,32	35,01	1,98	1,50
25-ago	38,78	36,07	37,83	34,64	0,95	1,43
26-ago	39,47	35,50	38,30	34,79	1,17	0,71
27-ago	39,30	34,91	37,50	33,83	1,80	1,08
28-ago	39,67	33,95	37,65	32,71	2,02	1,24
01-sep	40,20	36,24	38,56	35,30	1,64	0,94
02-sep	40,28	36,55	30,69	34,94	9,59	1,61
03-sep	39,92	37,30	39,57	35,92	0,35	1,38
04-sep	40,08	37,50	38,67	35,70	1,41	1,80
05-sep	40,34	37,49	38,85	35,69	1,49	1,80
08-sep	40,17	37,29	38,61	35,60	1,56	1,69
09-sep	39,93	37,30	37,68	36,19	2,25	1,11
10-sep	40,06	37,47	38,66	36,27	1,40	1,20
11-sep	39,95	37,49	38,66	36,25	1,29	1,24
12-sep	39,70	37,11	38,75	34,70	0,95	2,41
17-sep	39,94	37,29	38,07	35,21	1,87	2,08
18-sep	39,66	37,66	38,35	35,91	1,31	1,75
29-sep	32,88	38,19	30,66	34,64	2,22	3,55
30-sep	31,19	32,81	30,52	30,77	0,67	2,04
01-oct	32,07	33,28	31,02	32,08	1,05	1,20
27-oct	38,57	37,44	37,44	35,23	1,13	2,21
28-oct	41,03	39,60	39,60	35,80	1,43	3,80
29-oct	41,16	38,20	40,38	36,50	0,78	1,70
30-oct	41,41	37,69	41,39	37,07	0,02	0,62
31-oct	41,60	37,61	40,18	36,75	1,42	0,86
03-nov	41,35	37,62	40,21	36,24	1,14	1,38
07-nov	41,55	37,42	40,66	36,80	0,89	0,62

Apéndice 26 (Continuación). Flujo Volumétrico de los Intercambiadores 901-A y  
901-B de la Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )		Flujo de vapor ( TM/h )		Agua de Purga ( TM/h )	
	901-A	901-B	901-A	901-B	901-A	901-B
09-nov	40,68	36,89	39,61	35,63	1,07	1,26
11-nov	41,57	37,24	41,33	35,94	0,24	1,30
12-nov	42,21	37,43	40,96	36,24	1,25	1,19
17-nov	41,96	37,38	40,99	37,15	0,97	0,23
01-dic	38,52	37,70	38,24	37,59	0,28	0,11
02-dic	39,88	37,39	37,51	37,35	2,37	0,04
03-dic	39,00	38,18	37,90	36,35	1,10	1,83
04-dic	39,28	37,94	39,20	37,73	0,08	0,21
05-dic	39,41	37,89	39,01	36,72	0,40	1,17
08-dic	39,84	37,94	39,29	36,14	0,55	1,80
09-dic	39,67	37,61	38,69	35,21	0,98	2,40
10-dic	39,34	37,33	38,17	35,82	1,17	1,51
12-dic	40,64	36,89	39,37	36,09	1,27	0,80
16-dic	38,02	35,02	38,01	34,45	0,01	0,57
Promedios	35,93	35,69	34,58	34,10	1,35	1,59



Apéndice N° 26. Flujo Volumétrico del intercambiador 901-C de la Planta de

Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )	Flujo de vapor ( TM/h )	Agua de Purga ( TM/h )
	901-C	901-C	901-C
02-ene	30,09	25,14	4,95
03-ene	29,84	25,06	4,78
04-ene	29,89	24,48	5,41
07-ene	30,29	25,32	4,97
09-ene	24,98	21,93	3,05
14-ene	20,88	18,44	2,44
17-ene	29,06	26,09	2,97
21-ene	25,97	21,16	4,81
22-ene	28,89	26,11	2,78
23-ene	28,82	26,54	2,28
30-ene	28,77	25,97	2,80
06-feb	28,80	26,30	2,50
07-feb	29,12	26,53	2,59
14-feb	28,76	24,85	3,91
19-feb	20,68	17,24	3,44
04-mar	0,00	0,00	0,00
05-mar	0,00	0,00	0,00
10-mar	29,57	24,70	4,87
11-mar	29,56	24,64	4,92
12-mar	29,16	24,69	4,47
13-mar	28,71	24,76	3,95
14-mar	29,29	24,60	4,69
18-mar	29,68	24,81	4,87
24-mar	28,60	24,50	4,10
25-mar	28,66	24,22	4,44
26-mar	29,28	24,34	4,94
28-mar	29,21	24,12	5,09
31-mar	28,72	23,85	4,87
01-abr	28,83	24,13	4,70
02-abr	29,45	24,34	5,11
03-abr	28,93	24,29	4,64
07-abr	28,14	23,93	4,21

Apéndice 27 (Continuación). Flujo Volumétrico del intercambiador -C de la Planta  
de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )	Flujo de vapor ( TM/h )	Agua de Purga ( TM/h )
	901-C	901-C	901-C
08-abr	29,20	24,72	4,48
09-abr	27,90	23,77	4,13
10-abr	28,07	23,79	4,28
14-abr	29,99	22,80	7,19
16-abr	30,82	23,08	7,74
17-abr	30,06	22,86	7,20
21-abr	29,70	23,37	6,33
22-abr	29,14	23,44	5,70
28-abr	28,98	23,20	5,78
15-may	28,49	23,64	4,85
20-may	28,10	23,64	4,46
26-may	29,00	23,52	5,48
27-may	29,47	23,49	5,98
29-may	29,91	23,45	6,46
30-may	29,42	23,61	5,81
02-jun	29,38	23,19	6,19
16-jun	28,16	23,15	5,01
19-jun	22,70	24,30	-1,60
23-jun	29,15	23,50	5,65
14-jul	28,34	24,94	3,40
16-jul	28,78	24,85	3,93
21-jul	27,62	24,30	3,32
28-jul	27,73	24,27	3,46
30-jul	28,46	24,26	4,20
16-ago	29,71	24,34	5,37
17-ago	28,41	24,59	3,82
18-ago	29,95	24,62	5,33
19-ago	28,04	24,61	3,43
20-ago	28,51	24,60	3,91
21-ago	28,95	24,64	4,31

Apéndice 27 (Continuación). Flujo Volumétrico del intercambiador 901-C de la

Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )	Flujo de vapor ( TM/h )	Agua de Purga ( TM/h )
	901-C	901-C	901-C
22-ago	28,45	24,46	3,99
23-ago	29,89	24,25	5,64
25-ago	27,30	24,23	3,07
26-ago	29,07	23,98	5,09
27-ago	27,56	24,15	3,41
28-ago	27,10	24,09	3,01
01-sep	28,10	23,87	4,23
02-sep	27,84	24,02	3,82
03-sep	24,03	28,03	-4,00
04-sep	29,53	24,45	5,08
05-sep	28,57	24,36	4,21
08-sep	28,50	24,84	3,66
09-sep	28,08	25,13	2,95
10-sep	27,94	25,13	2,81
11-sep	29,56	25,08	4,48
12-sep	29,08	25,13	3,95
17-sep	28,72	25,03	3,69
18-sep	28,22	25,23	2,99
29-sep	29,93	25,60	4,33
30-sep	28,55	25,19	3,36
01-oct	27,74	25,37	2,37
27-oct	27,69	24,42	3,27
28-oct	27,20	24,62	2,58
29-oct	27,54	24,71	2,83
30-oct	28,17	24,82	3,35
31-oct	28,10	24,26	3,84
03-nov	28,07	24,39	3,68
07-nov	29,04	24,37	4,67
09-nov	28,77	23,98	4,79

Apéndice 27 (Continuación). Flujo Volumétrico del intercambiador 901-C de la  
Planta de Amoniaco

Fecha	Agua de Alimentación ( TM/h )	Flujo de vapor ( TM/h )	Agua de Purga ( TM/h )
	901-C	901-C	901-C
11-nov	29,46	24,25	5,21
12-nov	27,88	24,03	3,85
17-nov	30,13	24,34	5,79
01-dic	27,60	23,15	4,45
02-dic	28,50	24,35	4,15
03-dic	29,26	24,35	4,91
04-dic	28,89	24,09	4,80
05-dic	29,78	24,63	5,15
08-dic	30,48	24,98	5,50
09-dic	29,61	24,79	4,82
10-dic	29,91	24,47	5,44
12-dic	29,54	24,74	4,80
16-dic	28,53	23,52	5,01
Promedios	27,99	23,81	4,17