

**ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y BALANCE DE MASA DE PLANTA
ELECTRICA, PLANTA DE AGUAS Y PLANTA DE AMONIACO.**

YUDERLY BUELVAS PEREZ

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS**

2011

**ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL Y BALANCE DE MASA DE PLANTA
ELECTRICA, PLANTA DE AGUAS Y PLANTA DE AMONIACO.**

YUDERLY BUELVAS PEREZ

**Trabajo de grado para optar por el título profesional de
Ingeniera en energía**

ASESOR FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A

Jaime González Vioria

Ingeniero Electromecánico

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS**

2011

Nota de aceptación

FIRMA DE JURADO

FIRMA DE JURADO

FIRMA DE JURADO

Barrancabermeja, Noviembre 24 de 2011

DEDICATORIA

Todo en la vida tiene su momento,

Momentos de amar,

Momentos de llorar,

Momentos de Orgullo

Mi familia, Mis amigos y mi novio

Espero ser orgullo de ustedes.

Naty Y Andre incondicionales.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por sus sabios consejos.

A mis hermanas, Por el apoyo incondicional.

A mis sobrinos, Por las interminables alegrías.

A Mi novio Luis Felipe Enriquez, Por todo el tiempo junto a mí.

A FERTICOL, por la oportunidad dada en la empresa.

A mis compañeros de Universidad, por hacerme el camino más agradable

A la UNAB, por enseñarme con paciencia y perseverancia.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
INTRODUCCION	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION	19
2. PLAN DE TRABAJO	20
2.1 METODOLOGIA PROPUESTA.	20
3. PLANTA ELECTRICA.....	21
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	21
3.1.1 ANTECEDENTES DE TURBOGAS.....	21
3.1.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE TURBOGAS.	21
3.1.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNIDAD TURBOGAS.....	24
3.2 DESCRIPCION DEL PROCESO EN FERTICOL S.A.	25
3.2.1 Sistema de Gas.....	27
3.2.2 Sistema de lubricación.....	28
3.2.4 Sistema de Enfriamiento	30
3.2.5 Sección de combustión.	32
3.2.6 Transformación de energía	33
3.2.7 Generación de Vapor.	34
3.3 COMPONENTES FISICOS DEL SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA.....	35
3.3.1 Equipos de Arranque.	36
3.3.2 Excitador.....	36
3.3.3 Reductor de Velocidad.....	37

3.3.4	Generador.....	37
3.3.5	Compresor de la turbina.....	37
3.3.6	Cámaras de combustión.....	38
3.3.7	Turbina.....	38
3.4	DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.....	38
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO.....	40
3.5.1	Solución del flujo de masa en planta eléctrica por medio de la herramienta cyclepad.....	42
3.5.2	Características actuales de rendimiento de la turbina.....	46
3.6	BALANCE DE MASA DE PLANTA ELECTRICA.....	51
3.9	ANALISIS DE RESULTADOS EN PLANTA ELECTRICA.....	56
4.	PLANTA DE AGUAS.....	71
4.1	DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO.....	71
4.1.1	Descripción general proceso de clarificación.....	71
4.1.2	Descripción general proceso de suavización.....	74
4.1.3	Descripción general proceso de desmineralización.....	74
4.2	DESCRIPCION DE TRATAMIENTO DE AGUA EN FERTICOL S.A.....	76
4.2.1	Proceso de Clarificación.....	79
4.1	PROCESO DE SUAVIZACIÓN.....	81
4.3	PROCESO DE DESMINERALIZACION.....	83
4.4	BALANCE DE MASA EN PLANTA DE AGUAS.....	86
4.5	ANALISIS DE PLANTA DE AGUAS.....	88
5	PLANTA DE AMONIACO.....	90
5.1	DESCRIPCION GENERAL DE PROCESO DE AMONIACO.....	90
5.1.1	antecedentes planta de amoniaco.....	90
5.1.2	Funcionamiento general planta de amoniaco.....	91
5.2	DESCRIPCION DE LA PLANTA DE AMONIACO DE FERTICOL S.A.....	102
5.3	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y SU FUNCIONAMIENTO.....	104
5.3.1	Preparación de gas de carga.....	109
5.3.2	Sistema de MEA Girbotol.....	125
5.3.3	Producción de vapor.....	137

5.3.4 Compresión.....	142
5.3.5 Síntesis de amoniaco.....	147
5.3.6 Almacenaje de amoniaco.....	160
5.3.7 Sistema de bombeo.....	163
5.3.8 Refrigeración.....	163
5.3.9 Licuefacción.....	164
5.3.10 Suministro de amoniaco.....	166
5.4 BALANCE DE MASA Y CARACTERIZACION DEL PROCESO.....	167
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de unidad turbogas.....	22
Figura 2. Ciclo Brayton.....	24
Figura 3. Diagrama de proceso de Generación de energía en Planta eléctrica.	26
Figura 4. Panorámica Planta eléctrica.....	27
Figura 5. Sistema de gas	28
Figura 6. Sistema de lubricación.	29
Figura 7. Sistema de aire.	30
Figura 8. Sistema de enfriamiento.....	31
Figura 9. Flujos en la cámara de combustión.....	33
Figura 10. Proceso de producción de vapor en la caldera de planta eléctrica.	35
Figura 11. Simulación del proceso en Cyclepad.	43
Figura 12. Diagrama de proceso aplicado en el balance de masa de la planta eléctrica de FERTICOL S.A.....	52
Figura 13. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Enero de 2011	60
Figura 14. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Enero de 2011	61
Figura 15. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Febrero de 2011	61
Figura 16. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Febrero de 2011.	62
Figura 17. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Marzo de 2011	62
Figura 18. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Marzo de 2011.	63
Figura 19. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Abril de 2011.....	63
Figura 20. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Enero de 2011.	64
Figura 21. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Mayo de 2011.	64
Figura 22. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Mayo de 2011.	65
Figura 23. Sistema de resina cationica de ácido fuerte.....	75
Figura 24. Sistema de resina cationica de acido fuerte + aniónica básica débil + aniónica básica fuerte.	76
Figura 25. Diagrama de proceso de Clarificación en planta de aguas de FERTICOL S.A.....	80
Figura 26. Diagrama de proceso de Suavización en planta de aguas de FERTICOL S.A	82
Figura 27. Diagrama de proceso de Desmineralización en planta de aguas de FERTICOL S.A.....	85
Figura 28. Descripción general de una planta de amoniaco	92

Figura 29. Descripción general de proceso de compresión en una planta de amoniaco.....	100
Figura 30. Materia prima y su proceso de reformado.....	101
Figura 31. Diagrama de flujo de proceso de amoniaco.....	103
Figura 32. Tambores de carbón activado D-4A/B.....	110
Figura 33. Precalentador de gas de carga, E-1.....	111
Figura 34. Reformador primario, H-1.....	113
Figura 35. Convertidor de CO.....	117
Figura 36. Separador de condensados.....	120
Figura 37. Bombas de condensado.....	121
Figura 38. Diagrama de proceso planta de amoniaco de FERTICOL S.A.....	174

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de subestaciones en FERTICOL S.A	39
Tabla 2. Variables de proceso de generación de energía en planta eléctrica.	41
Tabla 3. Descripción de datos en la simulación de Cyclepad.....	44
Tabla 4. Variables de proceso.....	53
Tabla 5. Producción Vs Generación de energía de la turbogas.	56
Tabla 6. Tiempo de sedimentación de partículas con la clarificación primaria.	72
Tabla 7. Balance de masa en proceso de clarificación.	86
Tabla 8. Balance de masa en proceso de suavización.	87
Tabla 9. Balance de masa en proceso de desmineralización.	87
Tabla 10. Temperatura en el reformado según contenido de azufre.....	93
Tabla 11. .Listado de equipos por subproceso.....	104
Tabla 12. Listado de los equipos con códigos subproceso precalentado de gas de carga.	106
Tabla 13. Listado de los equipos con códigos subproceso sistema MEA.	107
Tabla 14. Listado de los equipos con códigos subproceso producción de vapor	107
Tabla 15. Listado de los equipos con códigos subproceso compresión.....	107
Tabla 16. Listado de los equipos con códigos subproceso precalentado de gas de carga.	108
Tabla 17. de los equipos con códigos subproceso almacenaje de amoniacó.	108
Tabla 18. Balance de masa de Planta de Amoniacó - Puntos 1 a 6.....	169
Tabla 19. Balance de masa de planta de amoniacó - Puntos 7 a 8.	170
Tabla 20. Balance de masa de planta de amoniacó - Puntos 13 a 18	171
Tabla 21. Balance de masa de planta de amoniacó - Puntos 19 a 20	172
Tabla 22. Balance de masa de planta de amoniacó - Puntos 25 a 30.	173

GLOSARIO

Amoniaco: es un gas que a condiciones ambientes es incoloro, sofocante e irritante, es más liviano que el aire

Catalizador: En una sustancia química que acelera la velocidad de reacción química sin actuar en ella.

Corrosión: Deterioro de un material o equipo como consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

Criticidad: Permite establecer la prioridad en los procesos, sistemas y equipos que lo componen, se debe tener en cuenta criterios como frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento y seguridad y medio ambiente.

Desulfurizacion: eliminación del anhídrido sulfuroso (SO_2) presente en un flujo, en este caso el azufre presente en el metano utilizado para el proceso de reformado.

Discontinuidad: Etapa en la que los equipos cumplen su vida útil de funcionamiento.

Exotérmica: Una reacción exotérmica es aquella en donde se libera energía, haciendo que la energía de activación de los productos sea menor que la de los reactivo, trayendo consigo un aumento de temperatura.

Gases inertes: Son gases no activos decir, no experimentan ninguna reacción química.

Gas de síntesis: Mezcla de monóxido de carbono e hidrogeno, para producir productos químicos.

Reformado con vapor: Obtención de hidrogeno a partir de un hidrocarburo, más específicamente con gas natural.

Rodamiento: El elemento rotativo empleado en la fabricación del rodamiento, pueden ser: de bolas, de rodillos o de agujas.

Solución MEA: Monoetanolamina

RESUMEN

El propósito del presente proyecto planteado es determinar las condiciones actuales de los procesos de producción, con el fin de conocer su funcionamiento real. Para esto se realizará un estudio acerca de la teoría basada en los temas desarrollados tales como la generación de energía en plantas turbogas, plantas de clarificación, desmineralización, suavización de aguas y plantas de amoniaco, para luego ser contextualizados según lo descrito en los manuales de cada planta; siendo esto estudiado para poder conocer las razones que conllevaron a los cambios vistos en los procesos durante un tiempo determinado. Como resultado final se tendrá la actualización de los procesos a través de los balances de masa aplicados en la planta eléctrica, planta de aguas (101¹ y 103²) y la planta de amoniaco, anexo a esto se presentará un diseño actual del manual de procesos de la planta de amoniaco.

PALABRAS CLAVE: Proceso, Variables, Balance de masa, Planta eléctrica, Planta de aguas y Planta de amoniaco.

ABSTRACT

This proposed project aims to determine the current conditions of production processes, in order to know its actual operation. This will take place a study on the theory based on the developed topics such as energy generation plants turbogas,

¹ Planta de aguas de clarificación, localizada en las instalaciones de Fertilizantes Colombianos S.A en la ciudad de Barrancabermeja, Santander

² Planta de desmineralización y suavización, localizada en las instalaciones de Fertilizantes Colombianos S.A. en la ciudad de Barrancabermeja, Santander.

plants clarification, demineralisation and softening of water and ammonia plants, to then be contextualised as described in the manuals of each plant; being studied in order to know the reasons that led to the changes seen in the proceedings during a specified time. As final outcome will update processes through mass balances applied in the power plant of waters (101 and 103) and the ammonia plant, annexed to this will be presented a current design of the manual processes of the ammonia plant.

Keywords: proceses, variables, mass balances, electric plant, water plant and ammonia plant.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar durante las prácticas profesionales el estudio del estado actual por medio del balance de masa de la planta eléctrica, planta de aguas (101 y 103) y planta de amoníaco de Fertilizantes Colombianos S.A.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Documentar y conocer cada uno de los procesos a desarrollarse en la cadena productiva de FERTICOL S.A.
- Determinar y analizar las variables involucradas en cada etapa del proceso, por medio de las mediciones tomadas con los respectivos equipos, cálculos teóricos y datos obtenidos de manuales de operación de cada planta.
- Actualizar el manual de proceso de la planta de amoníaco.

INTRODUCCION

FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A en una empresa del sector petroquímico instalada en 1965 y localizada en la ciudad de Barrancabermeja, dedicada a la producción, distribución y comercialización de productos petroquímicos y en especial de fertilizantes nitrogenados.

En la cadena productiva de la empresa se cuenta con las siguientes plantas que contribuyen a los procesos de producción: Planta eléctrica, Planta de aguas, Planta de Amoniaco, Planta de Urea, Planta de Ácido Nítrico, Planta de Nitrato de Calcio, Planta de Nitrato de Magnesio, Planta de arcilla, bodega de empaque y lotes de enfriamiento los cuales para su funcionamiento necesitan de gas natural, energía eléctrica, vapor, agua, químicos entre otros recursos.

Dentro del proceso industrial de FERTICOL S.A se hace necesario el conocimiento de los insumos dentro de los cuales se destacan gas natural el cual es usado para la generación de energía y el proceso de producción de amoniaco, otros insumos para el funcionamiento de las plantas son el agua, vapor, aire, arcilla, que al pasar por un proceso de transformación sufren cambios hasta convertirse en productos, subproductos y residuos de menor valor que pueden ser reciclados y recuperados para su reutilización, también se presentan desechos que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

Como resultado de los procesos anteriormente mencionados se obtienen productos tales como: Nitron Doble N granulado 26 - 0 - 0, Acido nítrico, Solución UNA 30-0-0 y Solución UNA 32-0-0, Macnitron 26 - 0 - 4 MgO, Nitrato de calcio 9.5 - 0 - 0 - 19.5 (CaO), Abono palmero y Triple 15.

En la producción de estos productos es necesario contar con un complejo que brinde los recursos necesarios dentro del proceso de su fabricación; para FERTICOL S.A, es de gran importancia procesos tales como la generación de energía, tratamiento del agua y la generación de amoníaco, la cual puede ser vista como la planta madre de esta empresa.

La generación de energía es ofrecida por la planta eléctrica, que cuenta con una turbina de reacción de 10000 HP y un generador de 7500 kW, la energía generada es suministrada a través de 5 subestaciones con un consumo en promedio de 3600 kW aproximadamente. Esta planta inició operaciones en el mes de Enero de 1962, pero hasta el día 5 de Octubre de 1969 se conectaron a la línea de distribución de energía los dos generadores conectados en paralelo, registrando hasta 15400 kW en horas pico.

El tratamiento de agua es realizado por las secciones 101 y 103³, las cuales fueron optimizadas para dar inicio a su funcionamiento en el 2010 , y de esta manera poder tratar 200 m³/h de agua cruda, siendo esencial el abastecimiento del recurso para el funcionamiento de caldera, reformadores, intercambiadores de calor, entre otros.

El área de amoníaco para la reforma y purificación, y posteriormente la producción de gas de síntesis, usando como materia prima gas natural fue diseñado por la Girdler Corporation de Louisville Kentucky U.S.A, para producir 65 Toneladas métricas/día de amoníaco anhidro, siendo estos vapores condensado y almacenados en estado líquido para luego ser distribuidos a las diferentes plantas de FERTICOL S.A.

Este trabajo pretende realizar una contribución al conocimiento del estado actual de los procesos, considerando como punto de referencia las variables físicas involucradas y medidas dentro de cada proceso estudiado.

³ Sección 101: Planta de clarificación. Sección 103: Planta de suavización y desmineralización.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

Fertilizantes Colombianos S.A es una empresa que se encuentra en un periodo de reestructuración y actualización en cuanto al conocimiento del estado actual de sus procesos. Las plantas instaladas para el desarrollo de las actividades productivas fueron diseñadas para unas necesidades definidas.

El caso en la actualidad es el desconocimiento de la deficiencia que las plantas han tenido debido a aspectos tales como el uso continuo, factores naturales, falta de mantenimiento, entre otros.

Una serie de propuestas se han desarrollado para lograr establecer los aspectos claves que involucran de manera directa la producción, así como también la integridad de sus empleados.

La importancia de plasmar por medio de conceptos ingenieriles los aspectos más relevantes de los procesos analizados en este proyecto, permite tener un punto de referencia para encontrar los puntos más vulnerables en las plantas, que hacen desmejorar la calidad del proceso, acarreando perdidas energéticas, de materia prima, de tiempo, lo anterior viéndose reflejado en los balances económicos de la empresa.

2. PLAN DE TRABAJO

2.1 METODOLOGIA PROPUESTA. Cada actividad propuesta se realizará de la siguiente manera:

- I. Documentación: por medio de los manuales existentes y de la experiencia de los operarios de las diferentes plantas, se analizará esta información con el fin de conocer el funcionamiento de los procesos.
- II. Caracterización de los procesos: se caracteriza cada etapa de los procesos con el fin de conocer las variables involucradas en estos, y de esta manera facilitar los cálculos presentes en el balance de masa.
- III. Análisis: Teniendo en cuenta el comportamiento de los procesos se realizará la actualización de estos con respecto a los manuales de cada planta.
- IV. Diseño de manual de procesos de planta de amoniaco: A partir de la información recolectada y actualizada, esta se organizará para lograr un nuevo manual de procesos, siendo esto complementado con el proyecto de grado “PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE AMONIACO” realizado por la estudiante en práctica Yadira Ortiz Duran de la Universidad de la Paz del programa de Ingeniería de Producción.
- V. Conclusiones y Resultados

3. PLANTA ELECTRICA

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

3.1.1 ANTECEDENTES DE TURBOGAS. El proceso de generación de energía por medio de las unidades turbogas es utilizado en forma masiva, ya que desarrollan potencias elevadas pero con rendimientos del orden de 30%.

En 1791 se otorgó la primera patente de una turbina en Inglaterra a Jhon Barber⁴, su modelo estaba compuesto por muchos de los equipos que conforman una turbina actual pero este tenía un compresor alternativo, pero en 1872 Stolze⁵ diseñó una máquina turbogas que fue construida en 1900 logrando funcionar pero con resultados decepcionantes. Por medio de algunos aportes de científicos como Frank Whittle en 1939 hubo paso para su aplicación en el primero avión de propulsado por una turbogas, en este año también se implementó la primera turbina a gas⁶ para la generación eléctrica.

3.1.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE TURBOGAS. Está compuesta principalmente por: admisión de aire, compresor, cámara de combustión, turbina de expansión, generador eléctrico y equipos auxiliares; en donde estos

⁴ Jhon Barber: 1734 -1801, nació en Inglaterra, gestionó las minas a carbón en el área de Nuneaton; entre 1766 y 1792 patentó varios inventos de los cuales el más notable es la turbina a gas.

⁵ Stolze:

⁶ La primera turbina a gas fue presentada en 1939 en la Swiss National Exhibition, con una potencia de 4000 kW.

componentes están compactados para formar una sola unidad dentro de una carcasa metálica.

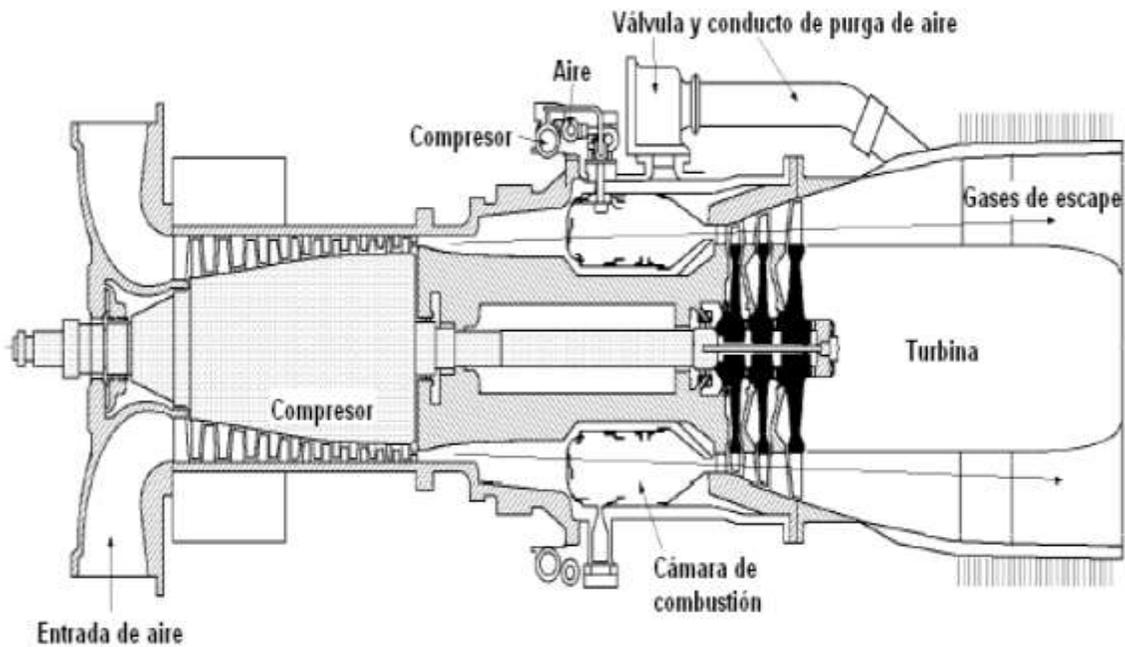


Figura 1. Esquema general de unidad turbogas.

Admisión de aire: El sistema de admisión de aire debe constar con elementos que contribuyan a que la turbina tenga buenas condiciones de entrada como presión, temperatura y calidad del aire; para esto cuenta con una serie de filtro para ayudar a limpiar el aire de las impurezas presentes en el ambiente y sistemas que para acondicionar la temperatura facilitando que entre a la turbina la mayor cantidad de masa de aire.

Compresor de aire: es el primer componente en el ciclo de operación de la turbina, encargado de comprimir el aire de entrada hacia la cámara de combustión.

En el compresor axial el flujo es paralelo al eje de la máquina, esta máquina está formada por un rotor y un estator siendo ambos de varias etapas. En cada etapa, el fluido sufre una aceleración en el rotor que va seguida de una expansión que convierte la energía cinética adquirida en un aumento de presión, contando son

etapas sucesivas se pueden lograr relaciones de compresión elevadas variando según el tipo de turbina pero normalmente está comprendida entre 10:1 y 40:1. Esta compresión se realiza en varias etapas consumiendo aproximadamente 2/3 del trabajo total de la turbina.

Alrededor del 50% del aire se utiliza para la refrigeración de los álabes de la turbina y la cámara de combustión

Cámara de combustión: Es la parte del proceso en donde se aporta calor al ciclo termodinámico. El aire comprimido, se introduce en la cámara de combustión donde se inyecta también combustible en estado gaseoso o líquido, iniciando la combustión por medio de una chispa. Se trabaja con exceso de 300 a 400% de aire teórico necesario para reducir a temperatura de la llama y refrigerar las partes más calientes de la cámara.

Turbina de expansión: Convierte la energía del flujo de los gases calientes en forma de presión y temperatura elevada (entalpía) en energía mecánica rotacional (eje) por medio del proceso de expansión de los gases. Normalmente está constituida de 3 a 5 etapas, cada etapa compuesta por un conjunto de álabes móviles. Los gases se expanden en las toberas fijas obteniendo alta velocidad en los gases que actúan contra el conjunto de álabes proporcionando par al rotor de la turbina.

Generador eléctrico: Convierte la energía mecánica del turbogas en energía eléctrica de A.C de voltaje y frecuencia específicos

Equipos auxiliares: motor de arranque, bomba diesel, bomba de aceite de lubricación, banco de baterías, cargador de baterías, cargador de baterías, compresor de atomización y enfriamiento, enfriador de aceite de lubricación, transformador de auxiliares.

3.1.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNIDAD TURBOGAS. Es una maquina térmica con cuatro fases de operación, funcionando de manera simultánea y continuamente.

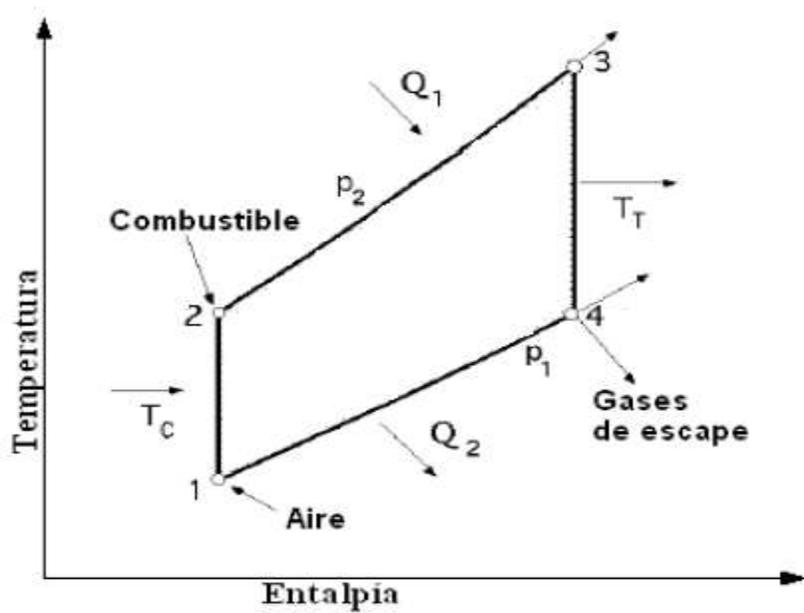
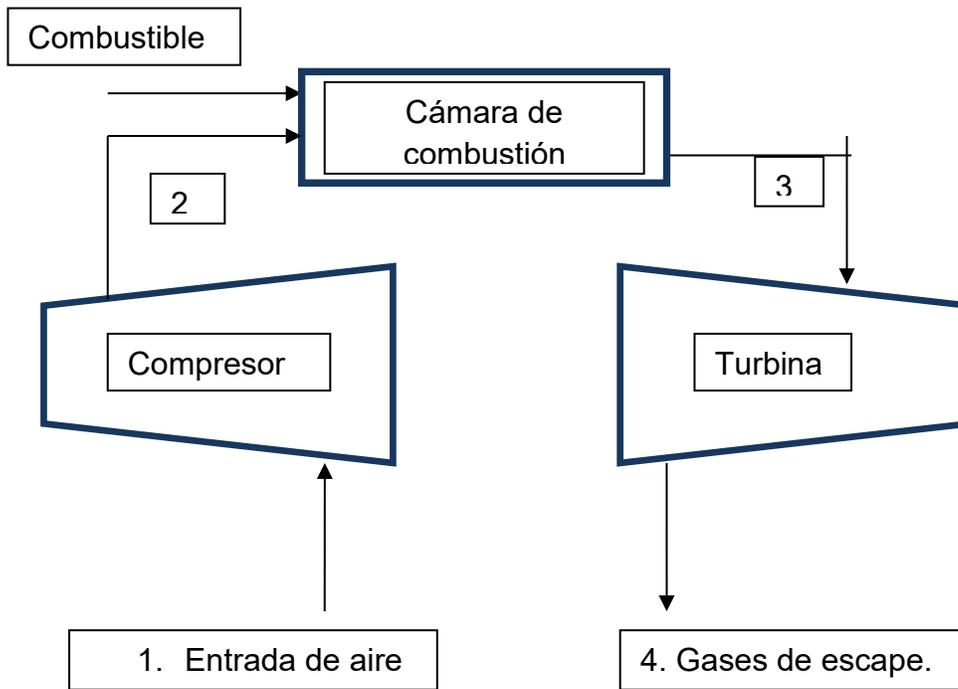


Figura 2. Ciclo Brayton.

En la primera etapa el aire es comprimido por el compresor, Después, el combustible es mezclado con el aire comprimido iniciando el proceso de combustión con ayuda de la chispa. Los gases producto de este proceso se encuentran a altas presiones y temperaturas, por lo que empujan los alabes de la turbina en su proporción de expansión, la potencia mecánica extraída de la flecha de la turbina sirve para hacer girar el compresor y el generador eléctrico. En un proceso de ciclo cambiando los gases calientes de salida de la turbina son enviados a un intercambiador de calor.

3.2 DESCRIPCION DEL PROCESO EN FERTICOL S.A. El proceso de generación de energía de Ferticol S.A se lleva a cabo en la Planta Eléctrica, a partir de un generador turbogas con potencia útil de salida de 7500 W, por medio de la cual se abastecen las necesidades energéticas del complejo. Está conformada por el turbogenerador, necesitando de varios sistemas para su funcionamiento los cuales son: Sistema de gas, Sistema de lubricación, sistema de aire, sistema de enfriamiento, sección de combustión, transformación de energía y generación de vapor.

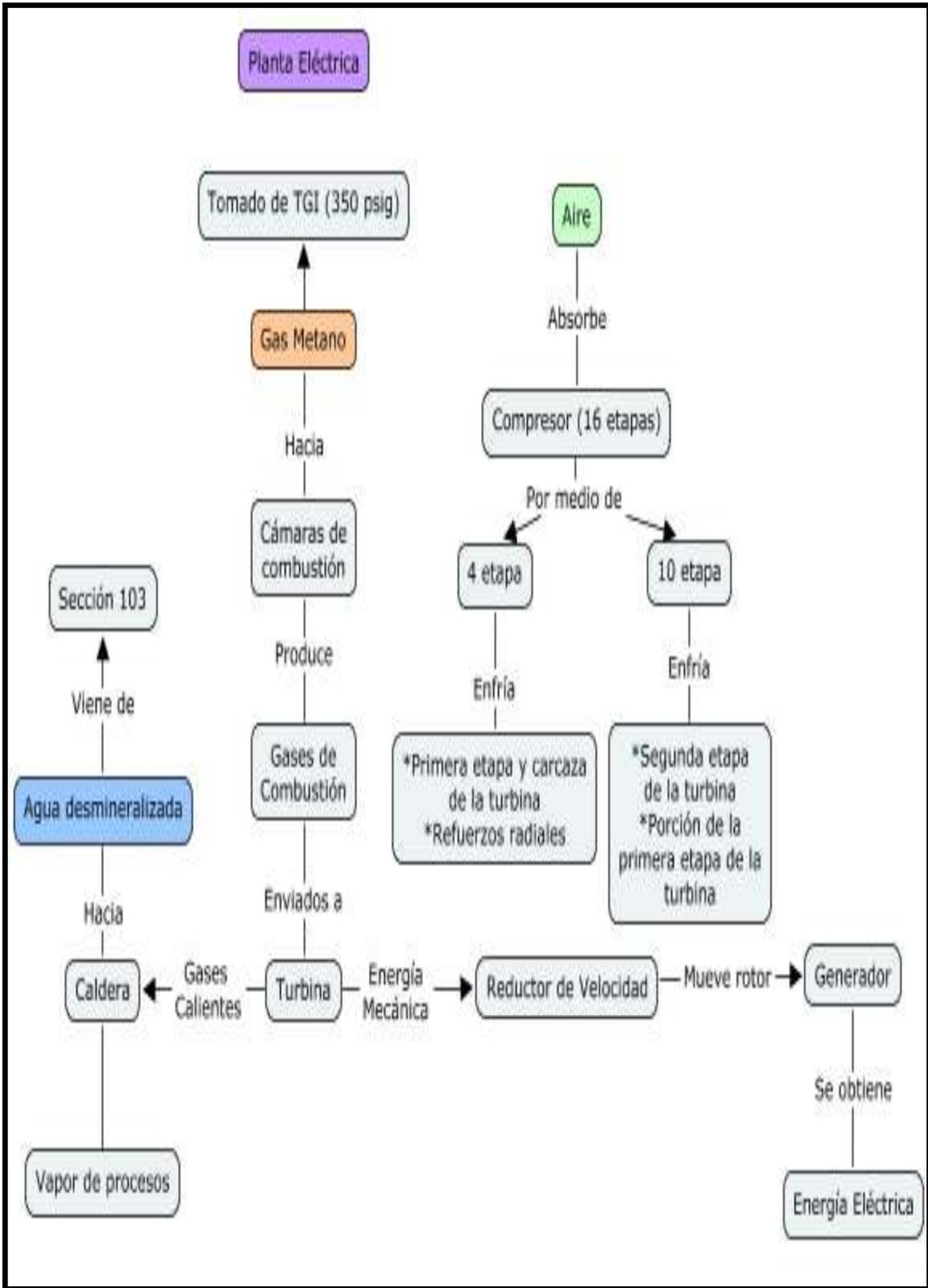


Figura 3. Diagrama de proceso de Generación de energía en Planta eléctrica.



Figura 4. Panorámica Planta eléctrica.

3.2.1 Sistema de Gas. El gas metano se toma de la línea de TGI⁷ a 350 psig, luego pasa por la válvula controladora de presión, la cual disminuye la presión hasta 180 psig; posteriormente pasa a través de un pulmón separador, una válvula diferencial de presión, válvula de parada y válvula de control de gas; el gas de salida de la válvula de control pasa a través del cabezal distribuyéndolo por las diez cámaras de las turbinas en donde se lleva a cabo la combustión utilizando el aire proveniente del compresor.

⁷ Transportadora de Gas Internacional.

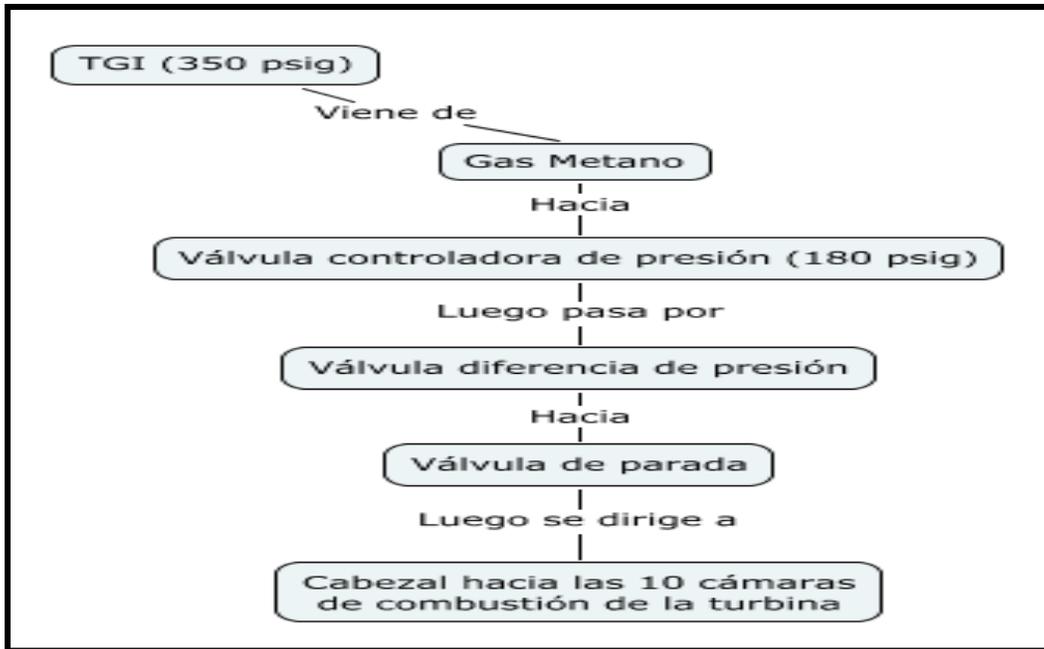


Figura 5. Sistema de gas

3.2.2 Sistema de lubricación. El sistema de lubricación está compuesto por una bomba principal, la cual está acoplada a la turbina. Por medio de esta bomba se suministra:

- El aceite necesario para lubricar todas las partes en movimiento de la turbina a una presión de 25 psig.
- El aceite de disparo a una presión de 50 psig.
- El aceite para la bomba de alta presión 300 psig que se utiliza como aceite de control.

Otros componentes que constituyen este sistema son los filtros magnéticos y de cuchillas, y una bomba auxiliar que trabaja a corriente alterna.

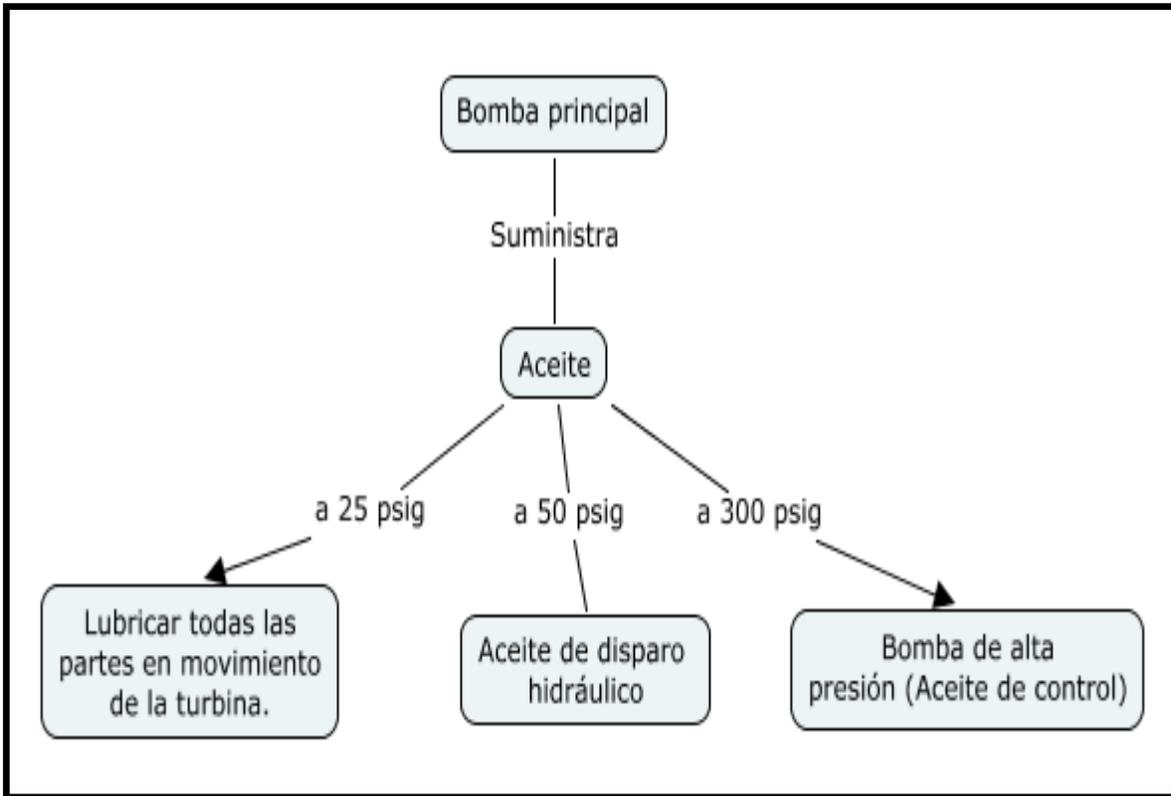


Figura 6. Sistema de lubricación.

3.2.3 Sistema de Aire. Para el turbogenerador el aire se succiona del medio ambiente y pasa a través de unos filtros con el fin de quitar las partículas que puedan afectar el funcionamiento del compresor. Luego se dirige al compresor el cual lo comprime a través de sus 16 etapas y después pasa a las cámaras de combustión. Una parte de este aire también es utilizado como sello en las chumaceras, para enfriamiento de las ruedas de la turbina y como aire de control.

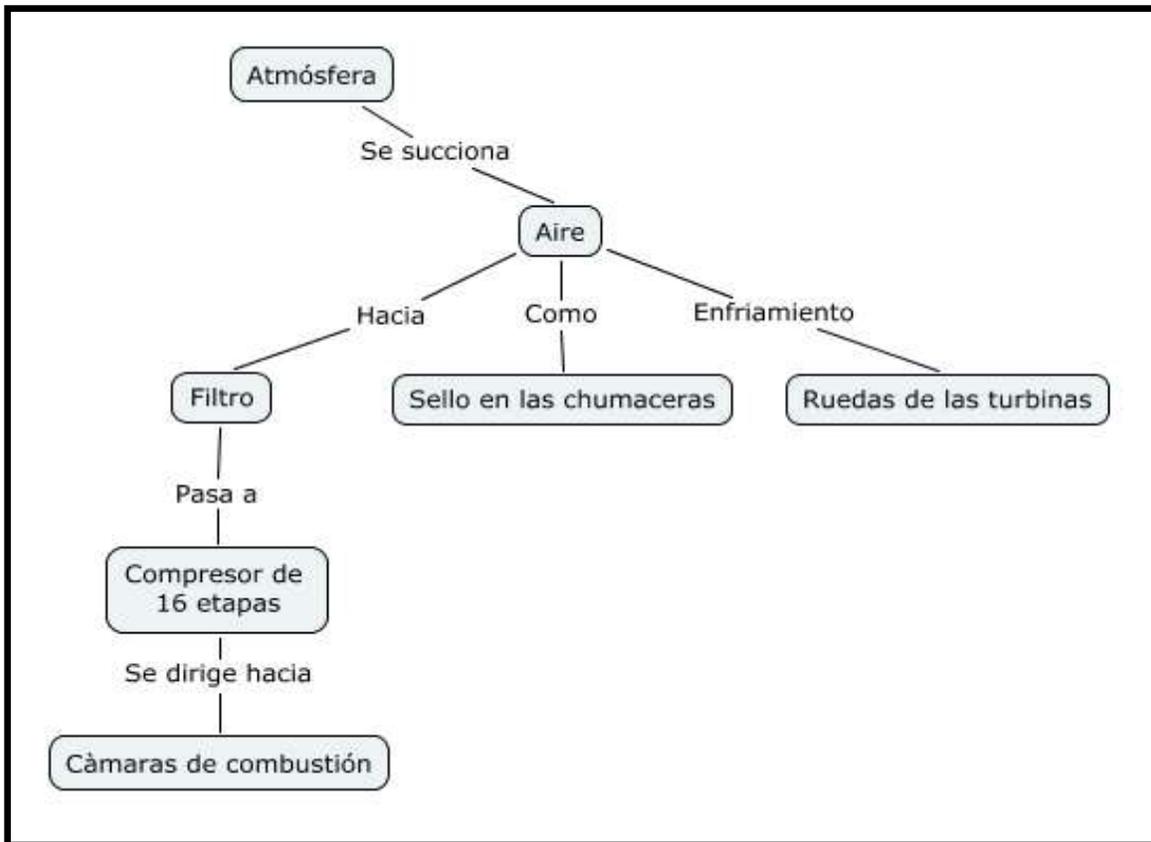


Figura 7. Sistema de aire.

3.2.4 Sistema de Enfriamiento. Los métodos de enfriamiento empleados son el agua proveniente del lote 4⁸ y el aire aspirado por medio de un ventilador acoplado al rotor de la turbina el cual disipa el calor generado por la producción de energía. Por medio del agua, se enfrían:

- El aceite de lubricación por medio del intercambiador.
- Aire del generador mediante 4 intercambiadores.
- Camisas de los detectores de llama y el detector de control.

⁸ Lote de enfriamiento

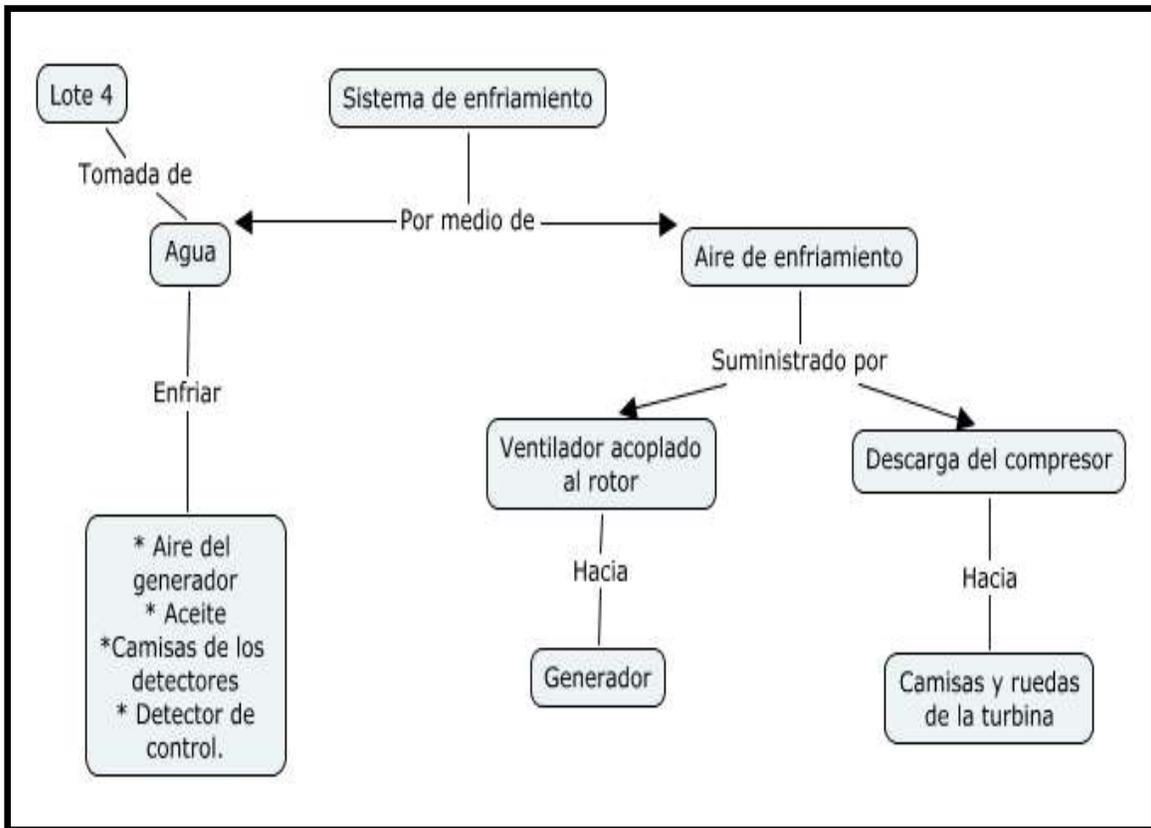


Figura 8. Sistema de enfriamiento.

Aire de la cuarta y décima etapa

El aire tomado de la cuarta etapa del compresor es utilizado para enfriar la primera etapa y la carcasa de la turbina, luego fluye hacia los refuerzos radiales del ducto de escape y finalmente se ventea hacia la atmosfera.

El aire extraído de la décima etapa del compresor, se encarga del enfriamiento de la segunda etapa de la turbina y también contribuye al enfriamiento de la primera etapa de la turbina. El aire entra y pasa a través de tuberías aisladas hasta llegar a la división de las toberas de la segunda etapa de la turbina, fluye por los pasajes del diafragma y se dispersa sobre la superficie de la rueda de la primera etapa de la turbina para disminuir su temperatura.

El turbogenerador cuenta con dos etapas de toberas para el correcto direccionamiento del aire. La primera etapa de toberas se encuentra ubicada entre la salida del compresor y la primera etapa del rotor, y se encargan de direccionar los gases de combustión hacia las paletas de la primera etapa (primera rueda ó etapa de alta presión) de la turbina con el ángulo más eficiente a fin de permitir la normal expansión térmica de sus componentes a las temperaturas de operación.

La segunda etapa de toberas se encarga de dirigir los gases a la rueda de la segunda etapa (segunda rueda ó etapa de baja presión) de la turbina, y actúan como componente divisorio de las áreas de alta y baja presión de la turbina.

3.2.5 Sección de combustión. El flujo de aire de alta presión del compresor (etapa 16) se invierte dirigiéndose hacia las cámaras de combustión ingresando por los orificios y persianas de las camisas. Este aire cumple dos funciones:

- Enfriar el conjunto de la tapa, camisa y paredes y paredes de la cámara de combustión.
- Suministrar el oxígeno necesario para mantener la reacción exotérmica.

A su vez también fluye combustible necesario por la parte anterior a la camisa, en este caso gas a 150 psi.

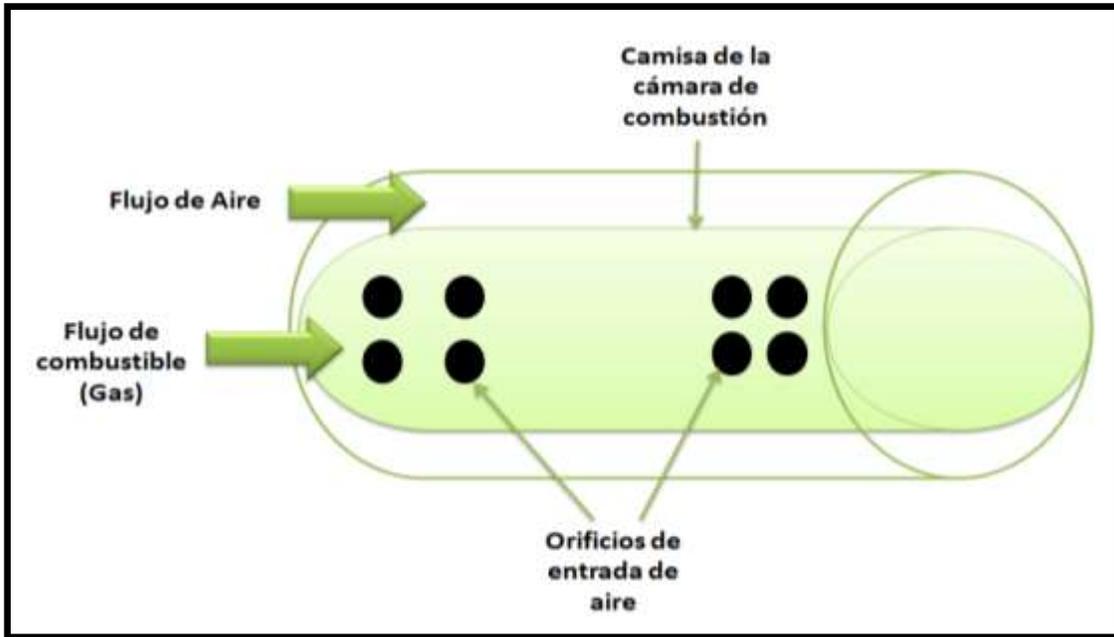


Figura 9. Flujos en la cámara de combustión.

La combustión es iniciada por medio de dos bujías con electrodos móviles instaladas en las cámaras 2 y 8. Estas bujías están alimentadas a una tensión de 15000 V, por medio de dos transformadores de ignición con relación de 115/15000 V. La llama se distribuye a las otras cámaras a través de los cross-fire, 6 tubos para el cruce de llama.

3.2.6 Transformación de energía. El gas caliente formado por el aire de alta presión y los productos de la combustión, salen de las cámaras de combustión y guiados por las piezas de transmisión hasta las toberas de la turbina las cuales direccionan el flujo hacia los alabes. Este componente convierte la energía cinética en energía mecánica y proporciona la fuerza útil en el eje, ayudándolo a girar. El rotor consta de dos ruedas sobre las que van sujetadas las paletas, estas ruedas están acopladas por medio de pernos y tuercas para asegurar una fuerte conexión mecánica. Las paletas de la turbina están sujetas a las ruedas por medio de los pines de retención y seguridad; también diseñadas aerodinámicamente para el

máximo aprovechamiento de la energía cinética de los gases de combustión a la salida del compresor.

Las dos etapas del rotor de la turbina son las encargadas de suministrar la fuerza necesaria para impulsar la carga, la unidad compresora y el resto de accesorios.

3.2.7 Generación de Vapor. El agua de alimentación de la caldera es agua desmineralizada proveniente de la sección 103 (planta de suavización).

Los gases calientes que se extraen de la turbina se envían por medio de ductos hacia la chimenea de venteo. En la salida de los gases de la turbina hacia la chimenea de venteo se encuentran instalados unos deflectores con el fin de direccionar el aire y evitar que las altas presiones y temperaturas deterioren el ducto. Además, en el sistema de ductos existen unas compuertas por medio de las cuales se re direccionan el gas caliente hacia la caldera por medio de la cual se genera el vapor para procesos, el cual se envía al cabezal principal de vapor de la empresa. La caldera consta de un haz acuatubular, el cual recibe el aire caliente mientras por el haz fluye agua desmineralizada, como resultado de este proceso se obtiene vapor y agua.

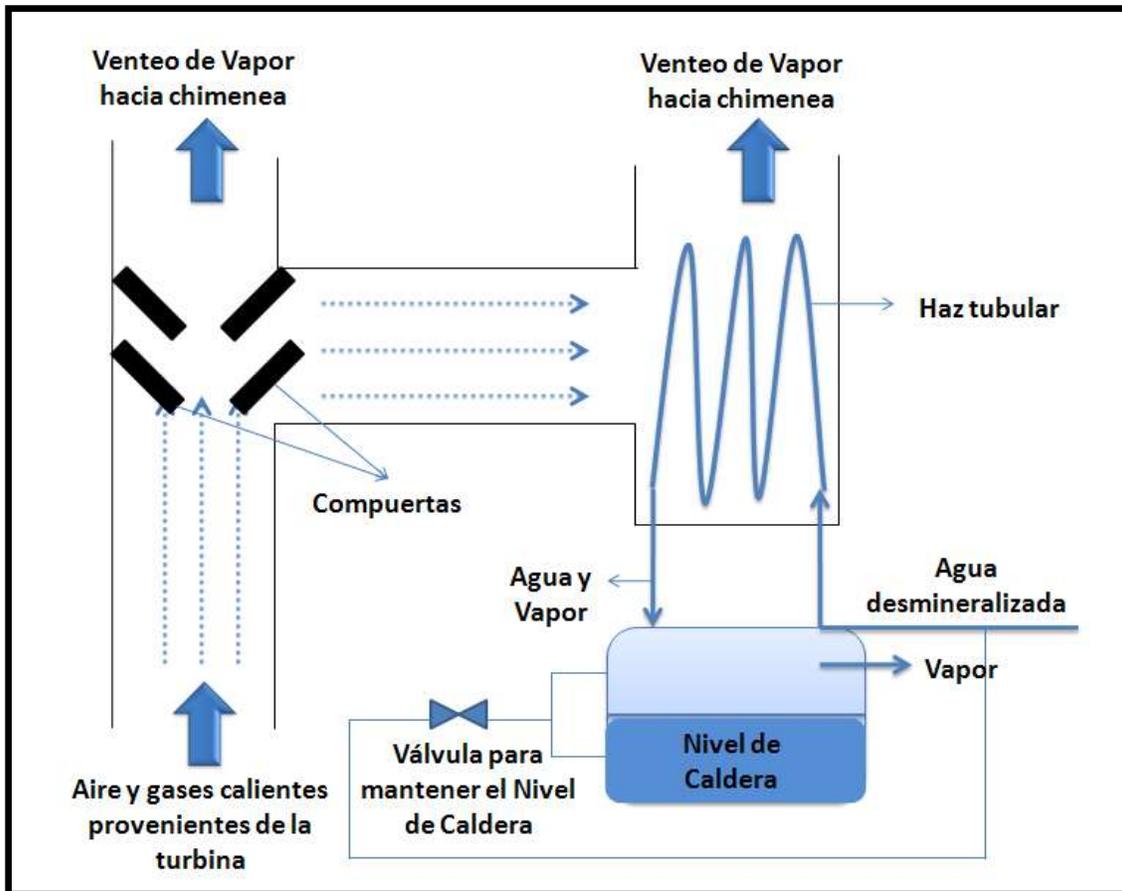


Figura 10. Proceso de producción de vapor en la caldera de planta eléctrica.

3.3 COMPONENTES FISICOS DEL SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA.

Todo el sistema de generación (compresor, toberas, cámara de combustión, turbina, generador, reductor y motores acoplados), están conectados para formar una sola unidad.

La unidad está montada sobre una base de acero, que sirve de soporte tanto para la turbina como para la caja de control, equipos de arranque y componentes del sistema de lubricación, entre los que se encuentra el tanque de aceite con capacidad de 1700 gls.

3.3.1 Equipos de Arranque. En el arranque de la planta, intervienen dos componentes que son el Motor de Volteo y el Motor de Arranque, los cuales se encuentran ubicados en los extremos de la plataforma. El Motor de volteo también actúa en caso de parada de la turbina con el fin de que el eje no se detenga de forma brusca lo cual podría ocasionar torsión. Sus características son:

Motor de Arranque:

- *Potencia:* 300 HP
- *Velocidad máxima:* 1.800 RPM
- *Voltaje:* 440 V corriente alterna
- Modelo M
- *Fases:* 3
- *Ciclos:* 60

3.3.2 Excitador. Genera el campo magnético del rotor, el cual permite que éste se mueva, se suministra una CC al devanado del campo por medio de una excitatriz, acoplada mecánicamente al generador. La corriente de CC se suministra por medio de las escobillas del conmutador hacia las escobillas de entrada del generador. Sus características técnicas son:

- Potencia Eléctrica: 40 KW
- RPM: 3.600
- Tensión: 125 DC
- 20 escobillas grado T 583
- Presión del resorte: 2.5 libras
- Número de filtros: 4
- Corriente: 320 A

3.3.3 Reductor de Velocidad. La velocidad en el par de la turbina es transformada por un reductor mecánico, de 4860 rpm hasta 3600 rpm, la cual es la velocidad de operación del generador. Los piñones del reductor de velocidad son de tipo helicoidales dobles de acero forjado. Por medio de este componente se logra una operación suave a velocidades altas y de plena carga, y además se eliminan los esfuerzos finales.

3.3.4 Generador. Es el elemento que transforma la energía mecánica proveniente de la rotación del eje (rotor), en energía eléctrica. Sus características se listan a continuación:

Capacidad: 9375 KVA

Corriente de armadura: 1.301 A

Corriente de campo: 242 A

Revoluciones: 3600 rev

Voltaje: 4160 V

Factor de potencia: 0.8

Número de enfriadores: 4

Corriente del campo sin carga: 112 A

Resistencia del embobinado de campo: 300 Ω / 30 C

Resistencia del embobinado de armadura: 403 Ω / 25 C

Resistencia del aislamiento de armadura: 950 M Ω / 30 C

Resistencia del aislamiento de campo: 920 M Ω / 30 C

16 escobillas, grado H

Presión recomendada de los resortes: 20 lb

3.3.5 Compresor de la turbina. El compresor de la turbina es de diseño axial de 16 etapas, en el cual el aire es comprimido entre las partes móviles y fijas, en una serie de pequeños incrementos mediante la rotación de las paletas móviles. Por

medio de este componente se obtiene el aire necesario para realizar la combustión, y el aire de refrigeración del sistema compresor-turbina.

- Etapas: 16
- Temperatura gases de escape: 710 F
- Presión de gases de escape: 14.17

3.3.6 Cámaras de combustión. Por medio de este componente se lleva a cabo la combustión, produciendo la presión y los gases calientes necesarios para mover los alabes de la turbina y a su vez este movimiento se transmite al rotor del generador. La estructura ***grosso modo*** de este dispositivo se puede observar en la ***Figura 5***.

3.3.7 Turbina. En la turbina, los gases calientes a la salida de las cámaras de combustión se transforman en fuerza útil al ser dirigidos por las toberas hacia los alabes del rotor de la turbina haciéndolo girar.

- Potencia: 10000 HP
- Altura 1000 ft
- Velocidad 4800 rpm

3.4 DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA. La planta eléctrica genera la electricidad requerida por todo el complejo y sus respectivos procesos, por medio de un turbogenerador. Esta energía eléctrica se transporta a través de unos circuitos externos conectados a 5 subestaciones, las cuales distribuyen la energía a las distintas plantas y secciones de la Empresa.

Tabla 1. Distribución de subestaciones en FERTICOL S.A

SUBESTACIONES	CARACTERISTICAS	CARGA ACTUAL
1	Recibe energía de los breakers de la subestación # 3, por medio de un cable "Pirelli" de 3 * 400 M.C.M ⁹ , con capacidad de 260 A.	Torre de enfriamiento N° 8
2	Se alimenta por medio de dos cables que salen de los breakers de 1200 A, calibre 3*400 M.C.M y 280 A cada uno, pero van en paralelo con capacidad total de 560 A.	Planta de Amoniaco, Sección 170, Sección 180, Planta de arcilla, Planta 101, Planta 103 (cuando falla la alimentación de la subestación N°3)
3	La energizan dos cables de 3*400 M.C.M a 1160 V.	Planta de Urea, Planta de Nitrato, Empaque, Planta 109.
4	Salen dos cables de 400 M.C.M, con 280 A cada uno, conectados en paralelo con una capacidad con 560 A.	Ácido Nítrico, Torre de enfriamiento N°4, Subestación N°5, Ciénaga , talleres, Sección 110 (área de

⁹ Un Circular Mil (CM) se define como el área que corresponde a un círculo de una milésima de pulgada. MCM es un múltiplo de CM, 500 MCM = 500,000 CM.

	En esta subestación se encuentra un equipo Diesel alternador de 40 KVA, 220 V Trifásico con neutro para dos tensiones de 220/127 V, está predispuesto para arranque en automático, utilizando como fuente de alimentación un banco de baterías	instrumentos)
5	Es alimentada por la subestación N° 4.	Oficinas de administración, laboratorio, surtidos de gasolina, portería de las granjas, enfermería.

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO. El funcionamiento óptimo del generador, depende del cumplimiento de las condiciones adecuadas de operación de la planta, lo que se traduce en valores adecuados de las variables del proceso. A continuación se citan los valores en condiciones normales de operación para cada una de las variables presentes en el proceso de generación de energía en Planta Eléctrica, según los puntos descritos en la **tabla 2** pueden observarse en el **anexo A**.

Tabla 2. Variables de proceso de generación de energía en planta eléctrica.

PLANTA ELÉCTRICA				
VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA	PUNTO	TEMPERATURA °C	PRESIÓN psig	FLUJO MÁSIICO
Aceite entrada enfriador	1	161°		
Aceite salida enfriador	2	142°		
Agua salida enfriador	3	29°		
Aceite alta presión	4		280	
Aceite circuito hidráulico de disparo	5		53	
Descarga compresor	6	264°	61	
Gases entrada válvula de parada	7		100	
Gas salida válvula de control	8		79	135000 p3/h
Suministro de gas	9		150	135000 p3/h
Vapor de caldera	10	305°	142	11700 lb/h
Aceite reductor de velocidad	11		15	38 gpm

Suministro de Aire (Aire entrada al compresor)	12	42°	64	
Agua enfriamiento	13		30	
Aceite chumacera 1	14	162°	33	11,5 gpm
Aceite chumacera 2	15	174°	33	11,4 gpm
Aire enfriamiento generador	16	24°		
Salida gases cámara combustión	17	407°		260000 kg/h
Salida gases turbina (gases de escape)	18	399°		260000 kg/h
Entrada gases caldera	19	390°		
Salida gases caldera	20	305°		
Entrada agua caldera	21	110°	427	

Nota: estos datos son nominales de la máquina, tomados del manual de planta eléctrica., para tener una generación plena de 7500kW.

3.5.1 Solución del flujo de masa en planta eléctrica por medio de la herramienta cyclepad. CyclePad es un programa de simulación estacionaria de ciclos termodinámicos, tanto de ciclos de potencia (de vapor y de gas) como de ciclos de refrigeración. Por medio de esta herramienta se desea obtener un

segundo flujo de masa con el fin de comparar los datos del flujo desarrollado teóricamente y en base a las mediciones realizadas en la planta eléctrica. Ya que el CyclePad simula ciclos de gas, vapor y agua, independientemente, en el diagrama de la simulación se observan dos ciclos (A y B), el ciclo del aire y el de agua desmineralizada para la producción de vapor en la caldera.

Nota aclaratoria: La entrada de gas metano, se simula como aire por exigencias del software, sin embargo posee todas las características del gas metano a la entrada de las cámaras de combustión. Esta entrada se hace con el fin de adicionar la masa del combustible a la masa de aire de entrada al compresor. A continuación, se ilustra el diagrama de simulación del proceso.

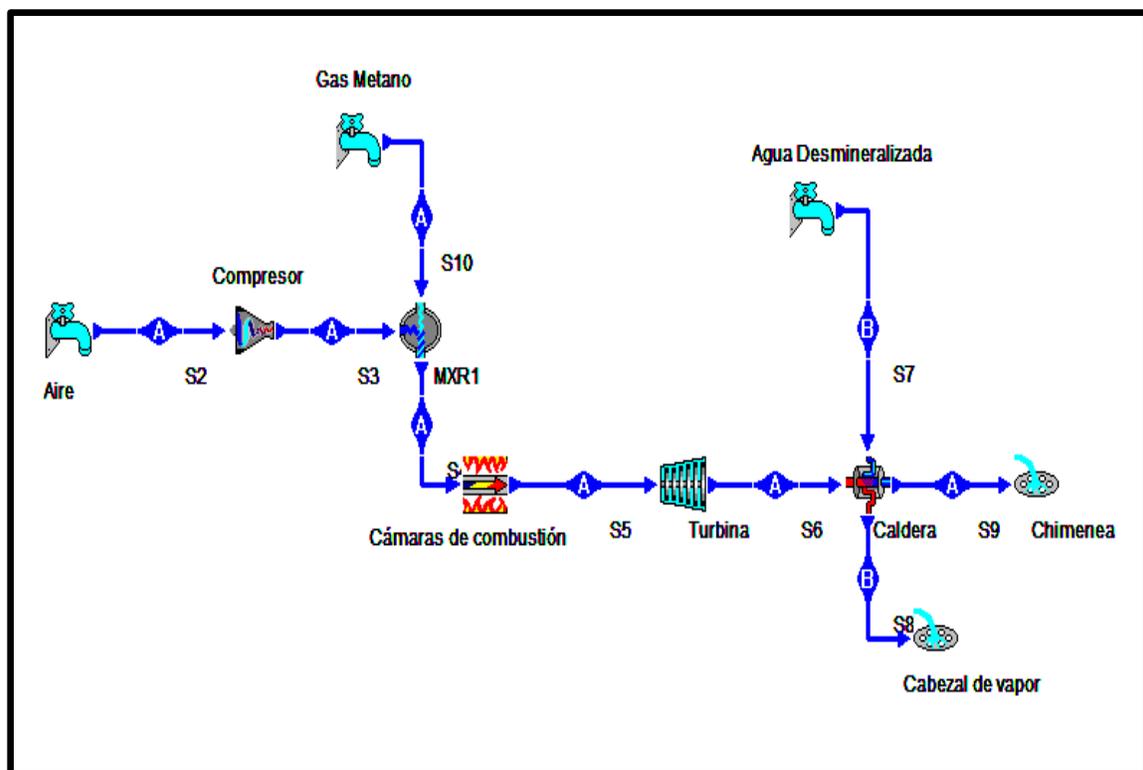


Figura 11. Simulación del proceso en Cyclepad.

Tabla 3. Descripción de datos en la simulación de Cyclepad.

	Entrada compresor	Salida compresor	Entrada gas metano	Salida cámaras de combustión
Sustancia	Aire	Aire	Aire (Gas metano)	Aire + Gas metano
Estado	Gas	Gas	Gas	Gas
Temperatura [C]	42	199	50	487
Presión [kPa]	102,2	420,6	544,7	420,6
Volumen específico [m3/kg]	0,8842	0,3218	0,1701	0,5182
Energía interna específica [kJ/kg]	225,9	338,4	231,6	544,8
Entalpía específica [kJ/kg]	316,2	473,8	324,3	762,7
Entropía específica [kJ/kg K]	2,47	2,47	2,01	2,94
Flujo másico [kg/s]	135,3	135,3	0,7051	136
Flujo volumétrico [m3/s]	119,6	43,53	0,1199	70,45
Energía interna [kW]	30550	45769	163,3	74071
Entalpía [kW]	42770	64077	228,6	103700
Entropía [kW/K]	333,5	333,5	1,42	400,2
Fracción de flujo	0,9948	0,9948	0,0052	1

	Salida turbina	Entrada Agua desmineralizada	Salida de vapor al cabezal principal	Salida de gases calientes a chimenea
Sustancia	Aire + Gas metano	Agua	Agua	Aire + Gas metano
Estado	Gas	Líquido	Gas	Gas
Temperatura [C]	381	110	180	356
Presión [kPa]	248,2	2942	980,7	238,7
Volumen específico [m3/kg]	0,7556	0,0011	0,199	0,7556
Energía interna específica [kJ/kg]	468,8	460,3	2585	450,9
Entalpía específica [kJ/kg]	656,4	463,4	2779	631,3
Entropía específica [kJ/kg K]	2,94	1,42	6,09	2,92
Flujo másico [kg/s]	136	1,47	1,47	136
Flujo volumétrico [m3/s]	102,7	0,0015	0,2933	102,7
Energía interna [kW]	63742	678,6	3810	61304
Entalpía [kW]	89239	683,1	4097	85825
Entropía [kW/K]	400,3	2,09	9,73	396,5
Fracción de flujo	1	1	1	1

3.5.2 Características actuales de rendimiento de la turbina. De acuerdo a los datos de consumo de gas y generación de energía obtenidos de planta eléctrica, y conociendo las características del combustible (gas metano), se procede a calcular el rendimiento de la turbina en las condiciones actuales de operación de la misma.

Datos de entrada:

- Poder Calorífico del gas: $H_i=55528$ kJ/kg
- Masa del combustible: $m_c=0,6644$ kg/kW-h
- Potencia efectiva: $W_{ef}=3820$ kW
- Potencia indicada: $W_i=7500$ kW

Cálculo de la masa de combustible:

Según la planilla del mes de octubre de 2010, con la caldera operando al 100% el consumo de gas es de 135000 ft³/h para producir 3820 kW en promedio, por lo tanto se tiene:

$$\dot{v}_C = \frac{135000}{3820} \text{ ft}^3 / \text{kW} - \text{h}$$

Ecuación 1. Consumo de gas natural.

$$\dot{v}_C = 35,3403 \text{ ft}^3 / \text{kW} - \text{h}$$

Ecuación 2. Flujo volumétrico de gas natural.

La densidad específica del gas metano es: 0,0188 kg/ft³

Con estos valores, se obtiene la masa específica del gas metano de la siguiente manera:

$$\dot{m}_C = (35,3403 \text{ ft}^3 / \text{kW} - \text{h})(0,0188 \text{ kg} / \text{ft}^3)$$

Ecuación 3. Flujo másico de gas natural.

$$\dot{m}_C = 0,6644 \text{ kg} / \text{kW} - \text{h}$$

Ecuación 4. Flujo másico de gas natural necesario para generar un kW/h

Cálculo del calor suministrado

$$Q_H = \dot{m}_C * \dot{W}_{ef} * H_i$$

Ecuación 5. Flujo de calor suministrado.

$$Q_H = (0,6644 \text{ kg} / \text{kW} - \text{h})(3820 \text{ kW})(55528 \text{ kJ} / \text{kg})$$

$$Q_H = 140930508 \text{ kJ} / \text{h}$$

$$Q_H = 39147,36 \text{ kJ} / \text{s}$$

$$Q_H = 39147,36 \text{ kW}$$

Por medio de los datos anteriores se obtienen los parámetros de rendimiento típicos en la operación de las máquinas de combustión interna, los cuales se listan a continuación:

- **Rendimiento térmico:**

$$n_e = \frac{\dot{W}_{ef}}{Q_H} = \frac{3820kW}{39147,36kW}$$

Ecuación 6. Rendimiento térmico.

$$n_e = 9,758\%$$

- **Rendimiento mecánico:**

$$n_m = \frac{\dot{W}_{ef}}{\dot{W}_i} = \frac{3820kW}{7500kW}$$

Ecuación 7. Rendimiento mecánico.

$$n_m = 50,93\%$$

- **Rendimiento indicado:**

$$n_i = \frac{\dot{W}_i}{Q_H} = \frac{7500kW}{39147,36kW}$$

Ecuación 8. Rendimiento indicado.

$$n_i = 19,1584\%$$

- **Coefficiente de calidad**

El coeficiente de calidad se calcula teniendo en cuenta el rendimiento teórico o ideal de la maquina en estudio. Para el caso de las turbogas, el rendimiento teórico o ideal es de 33%, de modo que el coeficiente de calidad es:

$$C = \frac{n_i}{n_i} = \frac{19,1584}{33}$$

Ecuación 9. Coeficiente de calidad teórico del turbogenerador.

$$C = 58,0558\%$$

$$C_{real} = \frac{n_e}{n_i} = \frac{9,758}{33} = 0,29 = 29\%$$

Ecuación 10. Coeficiente real de rendimiento del turbogenerador.

Cálculo de la relación aire - combustible en las cámaras de combustión

La relación aire – combustible, es otro de los parámetros característicos por medio de los cuales se describen las turbogas, para el caso en particular de la planta eléctrica en FERTICOL, la relación aire – combustible se da como así:

Datos de entrada:

- **Masa del combustible:**

Se tiene un consumo de combustible en las cámaras de combustión de 135000 ft³/h con densidad de 0,0188 kg/ft³. De modo que la masa del combustible es:

$$\dot{m}_C = (135000 \text{ ft}^3 / h)(0,0188 \text{ kg} / \text{ft}^3)$$

Ecuación 11. Flujo másico del combustible en las cámaras de combustión.

$$\dot{m}_C = 2538 \text{ kg} / h$$

- **Calor suministrado:**

Conociendo el poder calorífico del gas: $H_i=55528 \text{ kJ/kg}$, el calor suministrado es:

$$Q_H = \dot{m}_C * H_i$$

Ecuación 12. Calor suministrado por el gas natural.

$$Q_H = (2538 \text{ kg} / \text{h})(55528 \text{ kJ} / \text{kg})$$

$$Q_H = 39147,36 \text{ kJ} / \text{s}$$

- **Capacidad calorífica del aire:**

$$C_p = 1,005 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{K}$$

Con estos datos, se puede calcular la masa de aire como se indica a continuación.

Cálculo de la masa de aire

$$m_a = \frac{\dot{Q}_H [\text{kJ} / \text{s}]}{C_p [\text{kJ} / \text{kg}^\circ\text{K}](T_3 - T_2)[^\circ\text{K}]}$$

Ecuación 13. Masa del aire.

Donde las temperaturas T_3 y T_2 son:

- $T_3 = 199 \text{ }^\circ\text{C} = 760 \text{ }^\circ\text{K}$ Temperatura de entrada a las cámaras de combustión.
- $T_2 = 487 \text{ }^\circ\text{C} = 472 \text{ }^\circ\text{K}$ Temperatura de salida en las cámaras de combustión.

De modo que, la masa de aire en las cámaras de combustión es:

$$m_a = \frac{39147 [kJ / s]}{1,005 [kJ / kg^{\circ}K] (760 - 472) [^{\circ}K]}$$

$$m_a = 135251 [kg / s]$$

$$m_a = 486903 [kg / h]$$

Relación aire combustible

$$r_{ac} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

Ecuación 14. Relación de masa aire - masa combustible.

$$r_{ac} = \frac{486903}{2538}$$

$$r_{ac} = 192$$

La turbogas de planta eléctrica en FERTICOL tiene una relación aire – combustible de 192:1.

3.6 BALANCE DE MASA DE PLANTA ELECTRICA.

A continuación se ilustra el diagrama reducido del proceso con sus respectivas variables, con las cuales se desarrollará el balance de masa.

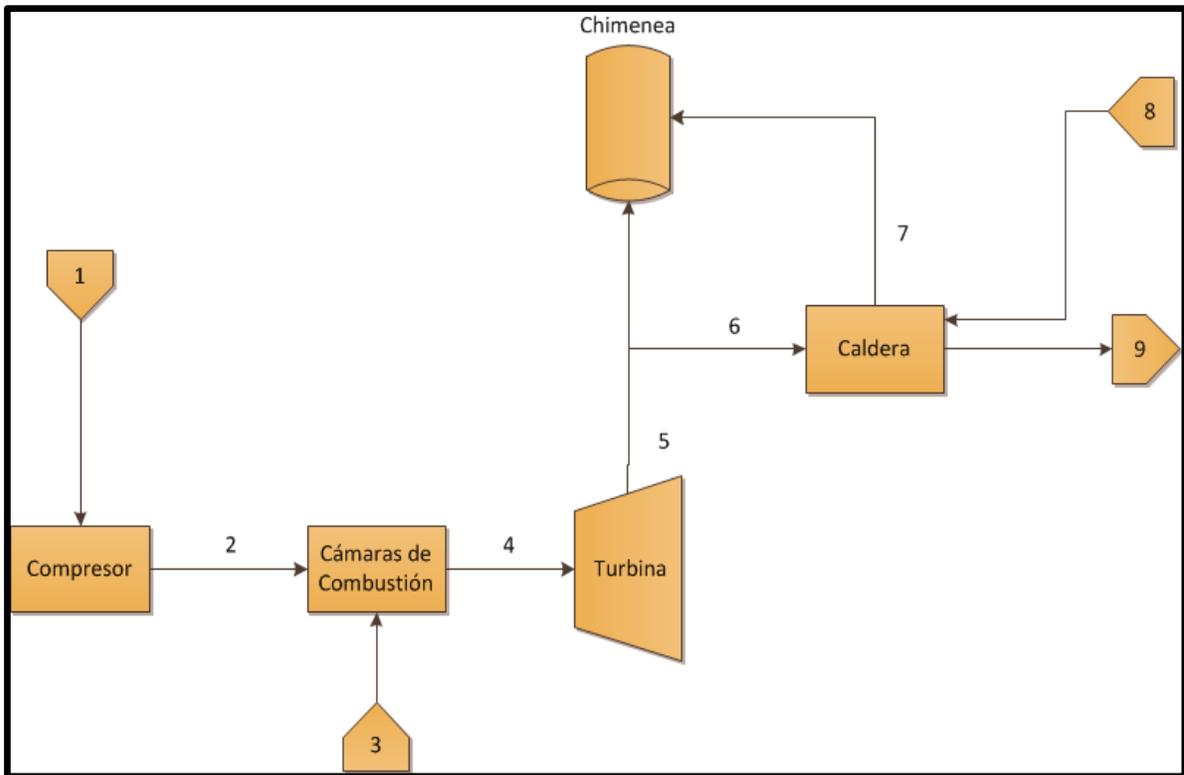


Figura 12. Diagrama de proceso aplicado en el balance de masa de la planta eléctrica de FERTICOL S.A

Las cantidades registradas en la tabla 3, corresponden a la caldera trabajando al 100% de su capacidad, es decir, cuando en la empresa todas las plantas se encuentran trabajando a carga media y alta.

Tabla 4. Variables de proceso

Punto	Variable	Temperatura [°C]	Presión [psig]	Flujo másico
1	Suministro de Aire	424,3	14,6964	486903 kg/h ₄
2	Descarga compresor	1991	611	486903 kg/h ₄
3	Gas salida válvula de control (Entrada turbina)	503	791	135000 ft ³ /h ₁
4	Salida gases cámaras de combustión	4874	614	489441 kg/h ₄
5	Salida gases turbina (Descarga turbina)	3811	363	489441 kg/h ₄
6	Entrada gases caldera	3814		489441 kg/h ₄
7	Salida gases caldera	2023		489441 kg/h ₄
8	Entrada agua de caldera (Agua desmineralizada)	1103,2	402	10112,82 kg/h ₂
9	Vapor de caldera	1743	1421	11700 lb/h ₁

Referencias de la tabla 4:

1. Cantidades obtenidas de planillas de registro en planta eléctrica de Octubre de 2010, febrero y marzo de 2011.
2. Datos y mediciones obtenidas de planilla de la planta 103 con guía de los operadores en febrero y marzo de 2011.
3. Cantidades obtenidas de registros de datos y mediciones realizados en el año 2002.
4. Cantidades obtenidas por medio de cálculos teóricos basados en las cantidades adquiridas en 1,2 y 3.

Cálculos teóricos ingresados a la tabla 4

- Suministro de aire: Las características del suministro de aire dependen de las condiciones ambiente del lugar, en este caso, la ciudad de Barrancabermeja. La temperatura promedio es de 42°C, la presión con la que ingresa es igual a la presión atmosférica que es 14,696 psig, y la masa de aire se calcula teniendo en cuenta las características de la turbina por medio del cálculo de la relación aire – combustible, obteniendo un flujo de masa de aire igual a 486 903 kg/h. esta masa de aire corresponde a la entrada de aire al compresor.
- Entrada de aire a las cámaras de combustión: Se toma el flujo de masa que sale del compresor igual al flujo de masa que entra a éste; esto basado en las características de operación de este tipo de máquina, aunque una pequeña porción de este aire (cuarta y décima etapa) se utilizan para enfriamiento, la descarga del compresor se ve afectada solo en una pequeña porción, de modo que no se tiene en cuenta para efectos prácticos.

- Salida gases cámaras de combustión: Teniendo en cuenta la masa de aire y la masa de combustible, se puede calcular el flujo de masa a la salida de las cámaras de combustión el cual está dado por:

$$\dot{m}_{salidacámaras} = \dot{m}_C + \dot{m}_a$$

Ecuación 15. Balance de masa en cámaras de combustión

A partir de este cálculo, se obtiene el flujo de masa a la salida de las cámaras de combustión: 489441 kg/h.

- Salida gases turbina: Los gases a la salida de las cámaras de combustión entran a la turbina para mover los álabes y generar la energía mecánica necesaria para generar energía. Las características de operación de la turbina indican que la cantidad de aire que ingresa es igual a la cantidad de aire que sale de ésta ya que no posee si no una salida que es la descarga de la turbina y no hay modo de que el flujo de aire se disperse por otro lugar. De modo que la salida de gases calientes de la turbina hacia la caldera es igual a: 489441 kg/h.
- Gases de entrada a la caldera: Con la caldera operando al 100%, la totalidad de gases calientes de la descarga de la turbina ingresan a la caldera y por lo tanto el flujo de aire que entra a la caldera es: 489441 kg/h. A la salida de la turbina se encuentran instalados unos deflectores que tienen la función de disminuir la presión con la que salen los gases de descarga de la turbina, ya que de continuar con dicha presión, los ductos que conducen de la turbina a la caldera y chimenea se deteriorarían. Además de la presión, también se debe reducir la temperatura con la que salen dichos gases con el fin de evitar el deterioro de los ductos metálicos que conducen los gases calientes.

3.9 ANALISIS DE RESULTADOS EN PLANTA ELECTRICA.

- **Relaciones comparativas de consumo de gas y generación de energía de la turbina.**

A modo de comparación, se tabulan las características de consumo de gas y producción de energía de la planta eléctrica en Fertilizantes Colombianos S.A, con el fin de visualizar la pérdida de eficiencia en el proceso de generación de energía con el pasar de los años y a esto sumado las averías que se presentan en los elementos constitutivos del proceso.

Tabla 5. Producción Vs Generación de energía de la turbogas.

Año toma de datos	Consumo de gas	Energía producida
Valores de diseño	136000 ft ³ /h	7,5 MW
Octubre de 2010	135000 ft ³ /h	3,82 MW

Como se puede observar en la **tabla 5**, la turbina actualmente se encuentra consumiendo la cantidad de gas necesaria para producir la potencia nominal de diseño (7.5 MW), pero sólo se encuentra generando aproximadamente la mitad de esta potencia.

- **Pérdida de vapor en la planta eléctrica.**

Cuando no se encuentra en funcionamiento la planta de Urea, la exigencia de vapor al cabezal general de la empresa es tal que no requiere el aporte de vapor por parte de la planta eléctrica. Sin embargo, actualmente una de las compuertas que desvían el flujo de gases calientes a la caldera se encuentra averiada, permitiendo el paso de un 25% de los gases calientes hacia la caldera, provocando que ésta opere al 25% de su capacidad.

Ya que este vapor generado por la caldera de la planta eléctrica no se necesita, luego de dirigirse hacia el cabezal es expulsado por el exosto ubicado a un lado de la planta eléctrica cuando se activa la seguridad de alta presión en el cabezal de vapor.

En base a la toma de datos de consumo de agua desmineralizada para la generación de vapor con la caldera de planta eléctrica operando al 25% de su capacidad, y según datos de los costos del m³ de agua desmineralizada, se pueden estimar **grosso modo** los costos que acarrea la producción innecesaria de vapor en esta planta.

A continuación se listan los datos tomados de las planillas en planta eléctrica en los meses de Febrero y Marzo de 2011, y además los datos de costos del agua desmineralizada en los meses de Diciembre, Enero y un valor promedio de referencia obtenidos por medio de los análisis de costos realizados recientemente para la Empresa FERTICOL S.A.

Consumo

- Gas: 129000 ft³/h
- Agua desmineralizada: 8160 kg/h

Producción

- Vapor: 5400 lb/h

Características del vapor

- Temperatura: 174 °C
- Presión: 142 psig

Características del agua desmineralizada

- Temperatura: 110 °C
- Presión: 400 psig (en promedio 30 bar)

En estas condiciones, el volumen específico del agua según tablas de propiedades del agua y vapor a diferentes condiciones ambientales es:

- Volumen específico: $1,0503 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Precio del agua desmineralizada

- Enero de 2011: 4664 pesos/ m^3
- Diciembre de 2010: 6177 pesos/ m^3
- Costo promedio referencia: 11,27pesos/galón = 2974 pesos/ m^3

Cálculo del volumen de agua desmineralizada

Con los datos de volumen específico y masa de agua desmineralizada por unidad de tiempo se obtiene de la siguiente manera el volumen de agua desmineralizada por unidad de tiempo, consumida por la caldera de planta eléctrica.

$$(8160 \text{ kg} / \text{h})(1,0503 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{kg}) = 8,5705 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Perdida de agua desmineralizada

De acuerdo a los datos registrados anteriormente, el dinero perdido debido agua desmineralizada por hora cuando la caldera se encuentra operando al 25% es:

- *De acuerdo a los costos en el mes de Enero.*

$$(8,5705 m^3 / h)(4664 \text{ pesos} / m^3) = 39973 \text{ pesos} / h$$

Por hora: 39973 pesos/h
Por Día: 959348 pesos/día
Por mes: 28 780 425 pesos/mes
Por año: 345 365 096 pesos/año

- *De acuerdo a los costos promedio de referencia.*

$$(8,5705 m^3 / h)(2974 \text{ pesos} / m^3) = 25489 \text{ pesos} / h$$

Por hora: 25489 pesos/h
Por Día: 611736 pesos/día
Por mes: 18 352 080 pesos/mes
Por año: 220 224 960 pesos/año

Aclaración: Los cálculos presentados corresponden sólo a la porción de vapor que se produce en planta eléctrica pues se tiene conocimiento de que en el complejo hay dos calderas más ubicadas en las plantas de Ácido y Amoniaco que aportan vapor al cabezal principal, de modo que, seguramente las pérdidas totales de vapor en la empresa son mayores, ya que se observa la cantidad de vapor a la salida del exosto del cabezal.

Se asume el hecho de que el 25% de vapor generado en planta eléctrica (cuando la planta de Urea se encuentra fuera de funcionamiento) se pierde, en base a la

información suministrada por los operadores de la planta eléctrica quienes aseguran que es innecesaria la producción de vapor en estas condiciones.

Adicionalmente, la cuantificación del vapor en el cabezal permitiría conocer las pérdidas de agua desmineralizada en fase vapor, y así analizar la conveniencia de instalar un intercambiador de calor a la salida del cabezal para el aprovechamiento de este flujo dentro de los procesos de la empresa.

- **Análisis grafico**

Por medio de los datos recolectados por los operadores de la planta eléctrica de FERTICOL S.A, durante los meses de Enero a Mayo de 2011, se compactaron los datos de vapor generado, Gas natural consumido, energía eléctrica generada y energía eléctrica consumida. Siendo esto importante para notar el cambio de las mismas y su comportamiento durante el tiempo que se escogió como muestra.

- Enero

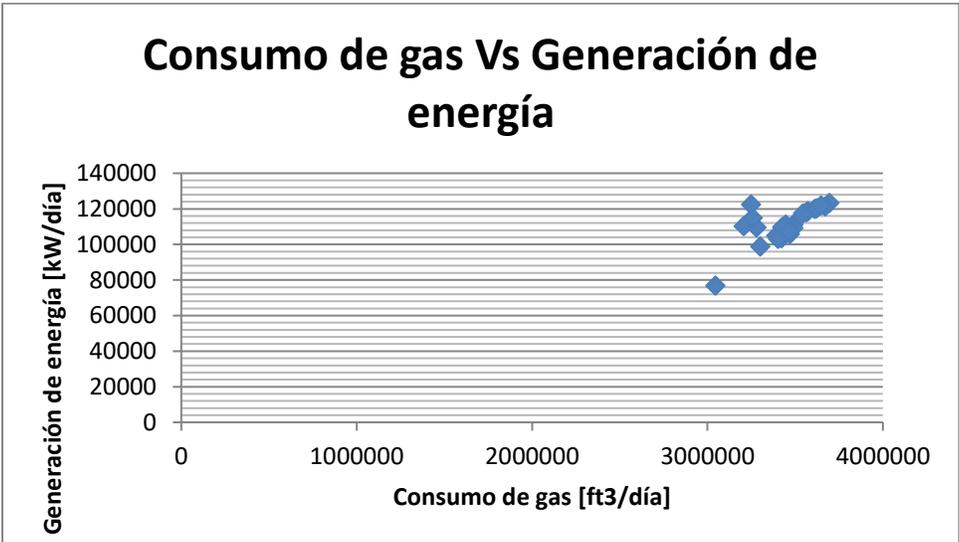


Figura 13. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Enero de 2011

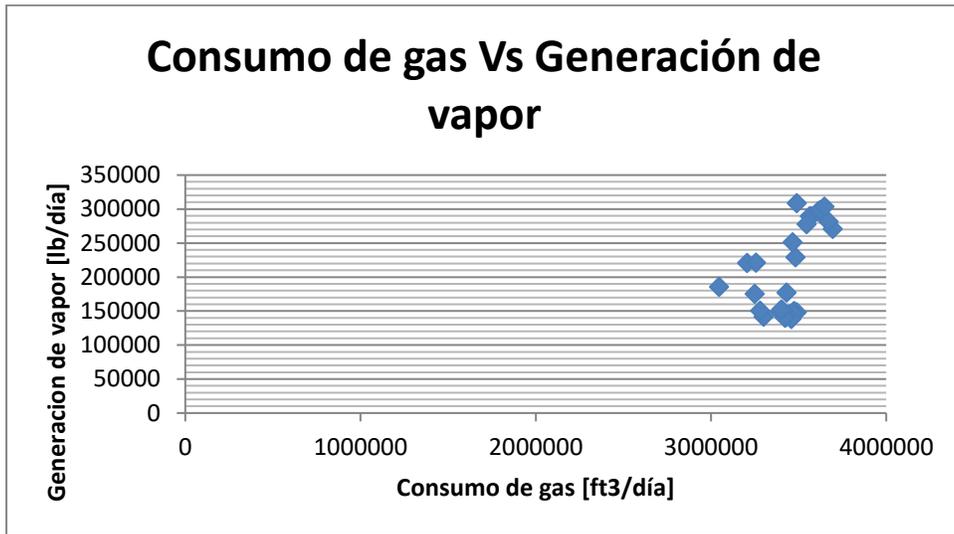


Figura 14. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Enero de 2011

- Febrero

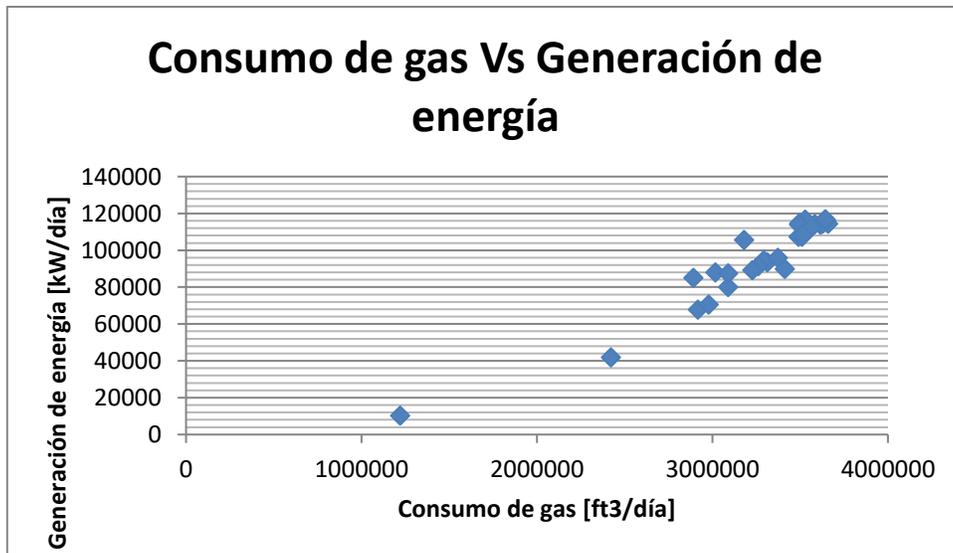


Figura 15. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Febrero de 2011

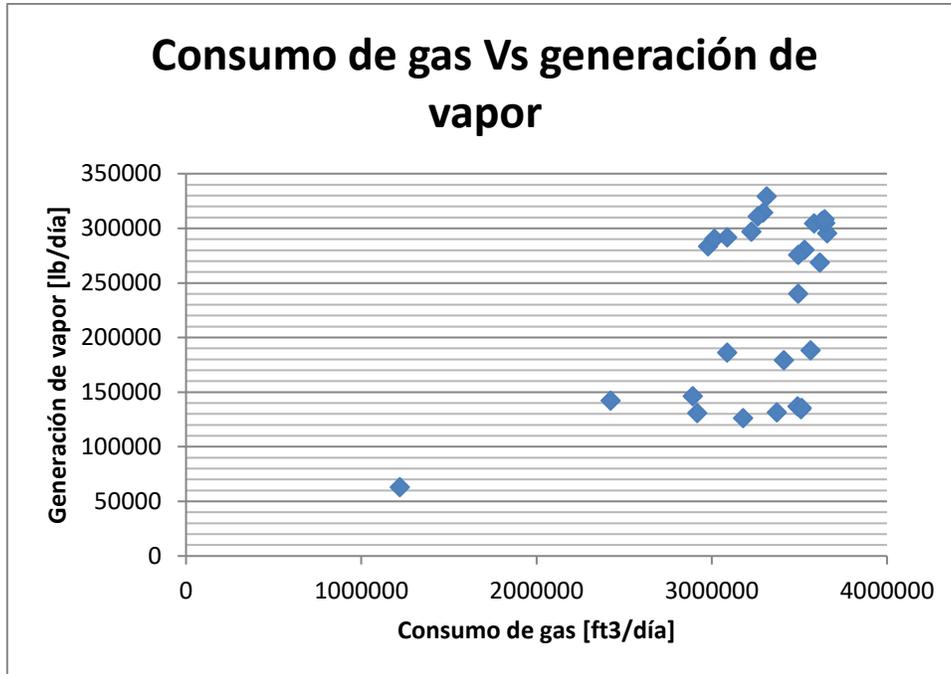


Figura 16. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Febrero de 2011.

- Marzo

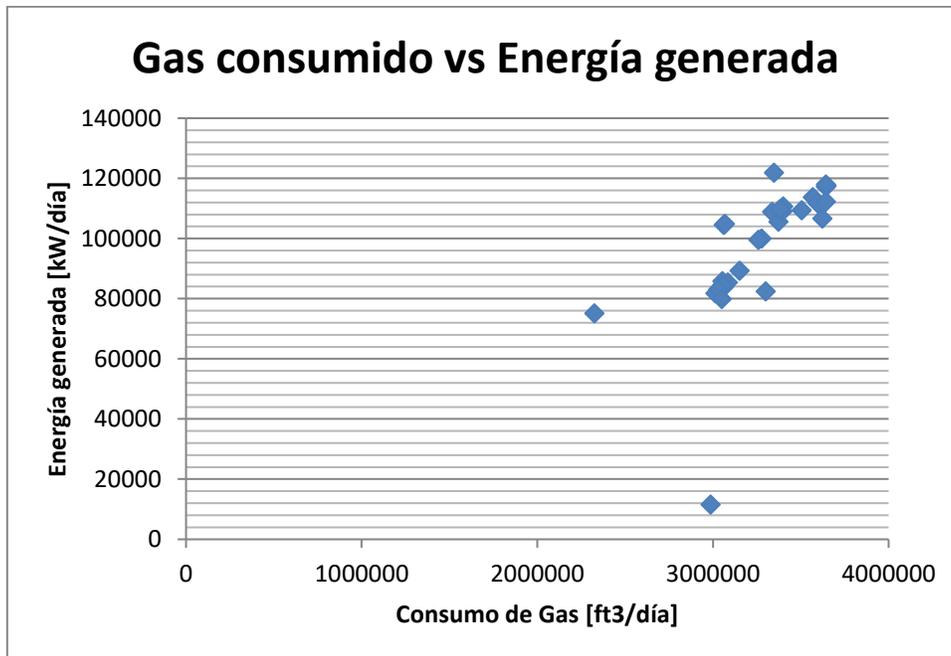


Figura 17. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Marzo de 2011

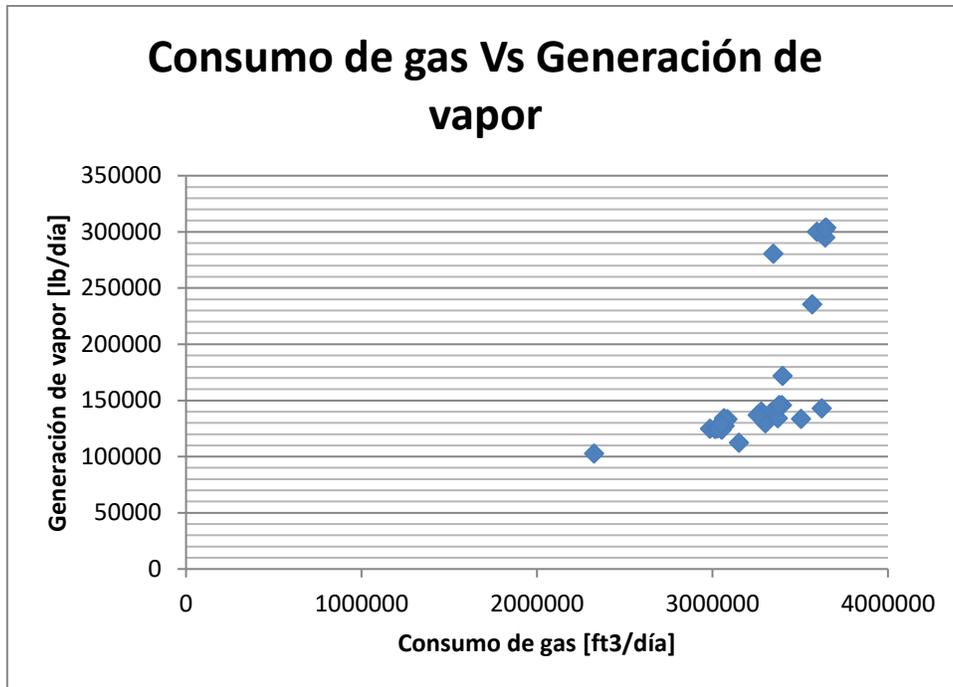


Figura 18. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Marzo de 2011.

- Abril

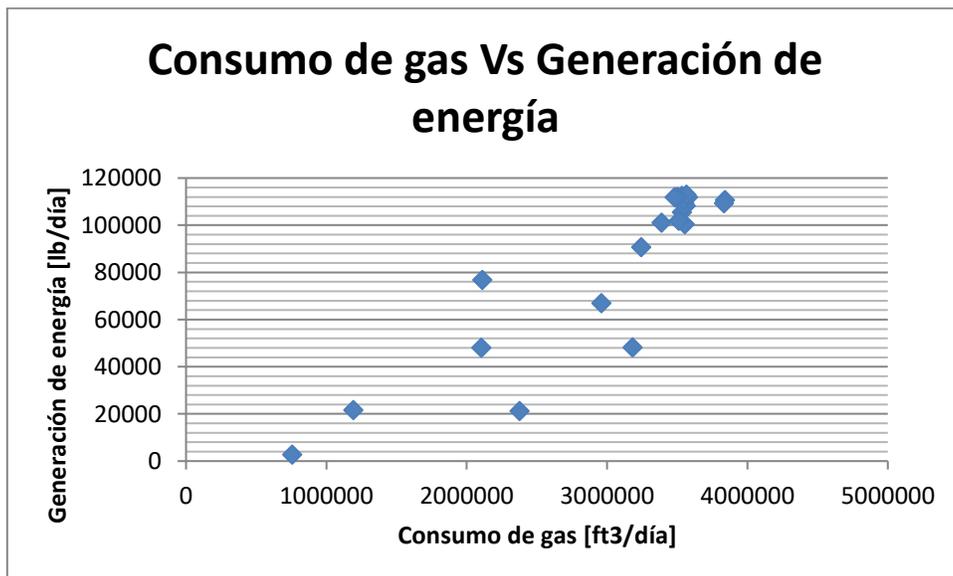


Figura 19. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Abril de 2011.

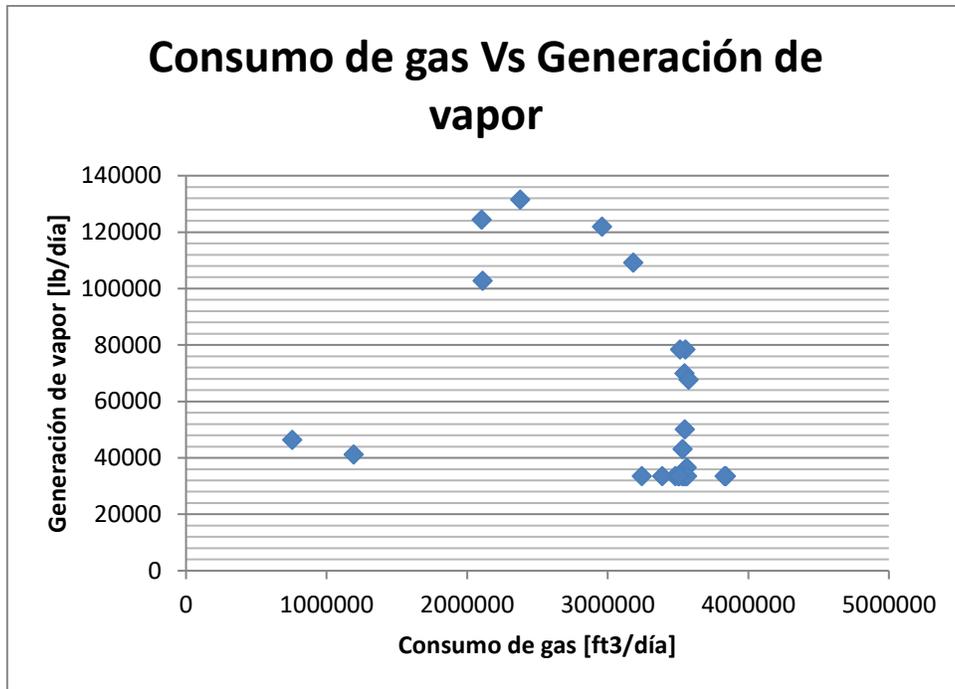


Figura 20. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Enero de 2011.

- Mayo

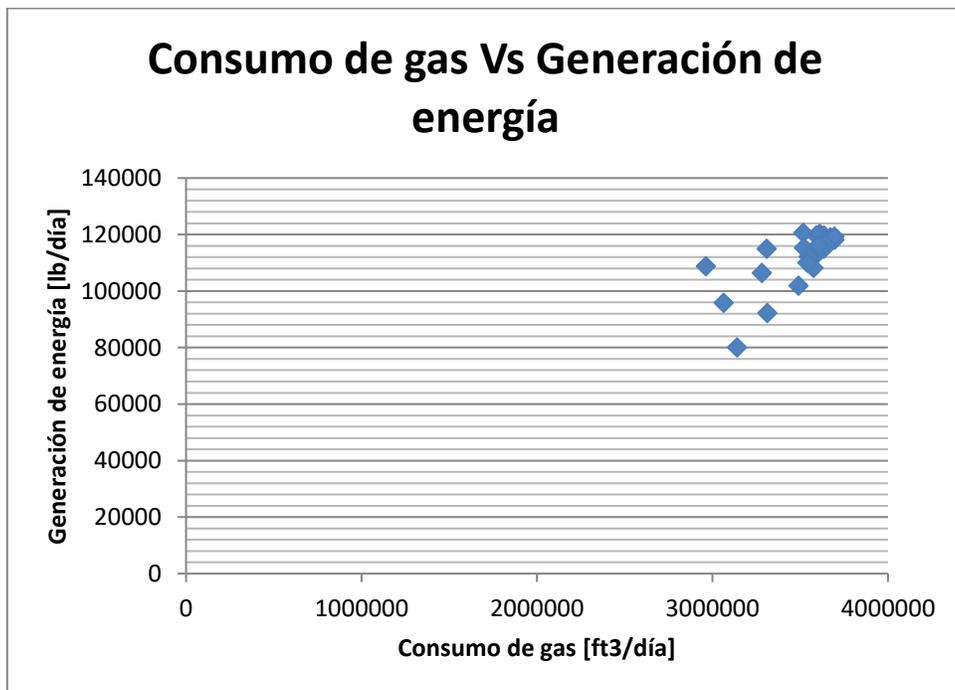


Figura 21. Consumo de Gas Vs Generación de energía en Mayo de 2011.

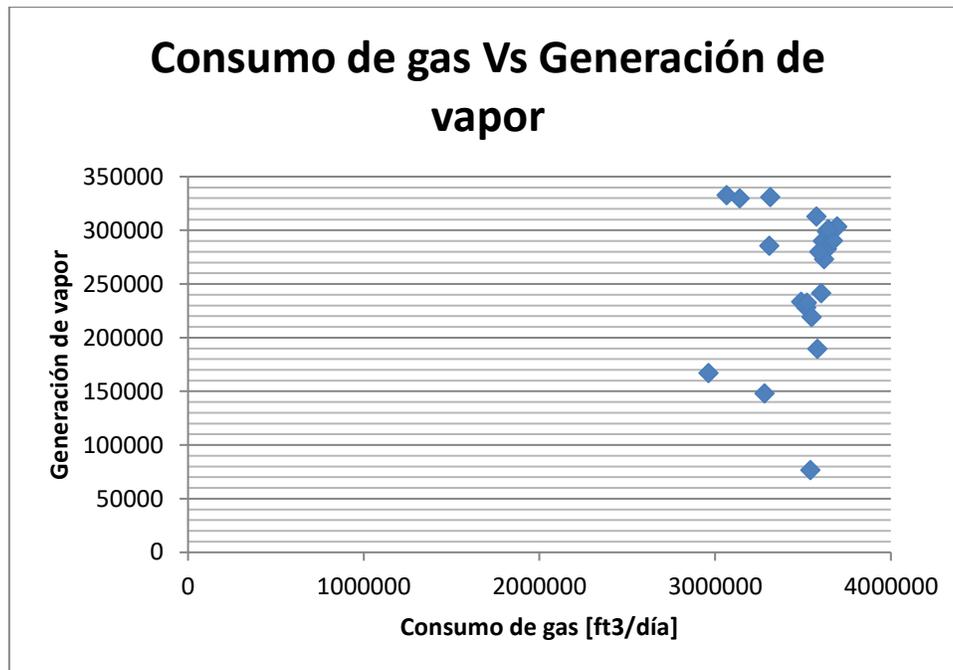


Figura 22. Consumo de Gas Vs Generación de vapor en Mayo de 2011.

El consumo de gas natural por el turbogenerador es casi constante para cualquier cantidad de energía generada, reflejando la ineficiencia de este, lo cual es producido en mayor parte por los años de servicio de la máquina, sumando a esto la falta de actualización tecnológica en la planta. Cabe resaltar que teniendo en cuenta las características de diseño, actualmente se genera como máximo hasta la mitad de la capacidad de diseño (3.5 MW) con la misma cantidad de gas natural necesaria para generar 7.5 MW, y en la mayoría de los casos esta cantidad de gas natural mayor que la utilizada “normalmente”; aunque el precio de la energía generada por la planta turbogas existente en FERTICOL S.A sigue siendo menor que el precio en la bolsa de energía (250 – 300 \$/kW), la planta eléctrica podría considerarse como un sumidero de energía y por lo tanto de dinero, por todas las ineficiencias que éstas acarrearán viéndose reflejadas en la cantidad agua desmineralizada convertida en vapor que no se utiliza y es direccionada hacia el cabezal de vapor, el gas natural utilizado para poder llevar a cabo el proceso de generación con una eficiencia menor al 50%.

- Costo generación de energía.

El costo de la energía generada por el turbogas instalado en la planta eléctrica **grosso modo** se puede calcular de la siguiente manera:

Costo de la electricidad generada = costo de producción + costo financiero

Costo de producción = Costo de operación + Costo de combustible

Costo financiero = Pago principal

Para establecer el costo de generación del kW, se tuvo en cuenta los materiales y mano de obra, dentro de los cuales están existentes los siguientes parámetros:

- Materiales:
 - ✓ Gas combustible.
 - ✓ Agua desmineralizada.
 - ✓ Agua de enfriamiento
 - ✓ Lubricantes
 - ✓ TGI.
- Mano de obra:
 - ✓ Salario.
 - ✓ Transporte.
 - ✓ Horas extras.
 - ✓ Horas extras programadas.
 - ✓ Almuerzos.

Para poder obtener el costo del kW, fueron utilizados los datos durante el mes de Diciembre de 2010, descritos a continuación:

kW generados al mes	3.597.140				
PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD /MES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL [\$]	COSTO TOTAL/ KW [\$/kW]
GAS COMBUSTIBLE	MBTU	108.771	4.750,00	516.662.250,00	143,6314
AGUA DESMINERALIZADA	GAL	1.036.038	6,97	7.221.184,86	2,0087
AGUA DE ENFRIAMIENTO	GAL	2.452.223	14,78	36.243.855,94	10,0744
LUBRICANTES	GAL	45	45.000,00	2.025.000,00	0,5629
TGI	MBTU	108.771	70,01	7.615.057,71	2,1169
TOTAL MATERIALES				569.767.348,51	158,39

MANO DE OBRA		
CONCEPTO	COSTO	COSTO/ KW
SALARIO	18.074.172	5,02
TRANSPORTE	950.676	0,26
HORAS EXTRAS PROGRAMADAS	912.047	0,25
HORAS EXTRAS	252.673	0,07
ALMUERZOS	107.900	0,03
TOTAL MANO DE OBRA	20.297.467	5,64

COSTO TOTAL	590.064.247	\$
COSTO UNIT.	164,04	\$/KW

Teniendo en cuenta los materiales y la mano de obra utilizados para el funcionamiento de la planta según el análisis de costo realizado en FERTICOL S.A el precio de la energía generada es aproximadamente 164 \$/kW.

Recomendaciones y alternativas de solución en planta eléctrica

- Coordinación de producción de vapor: Se recomienda estudiar los porcentajes de producción de vapor que demandan los procesos, con el fin de establecer la cantidad de vapor necesaria para el funcionamiento de estos y de esta manera disminuir la producción de vapor innecesaria, ya que las plantas de ácido y amoniaco tienen su sistema de generación vapor y no requieren del suministro del este de planta eléctrica; de esta manera se podría disminuir la producción de vapor fomentando al uso racional de agua desmineralizada y por lo tanto de energía térmica.

- Reparación de la compuerta averiada en planta eléctrica: Por medio de la reparación de la compuerta que se encuentra averiada en la planta eléctrica, se eliminaría la producción innecesaria de vapor en esta planta lo cual representa sólo un porcentaje de las pérdidas totales de vapor en el cabezal principal.

La reparación de la compuerta requiere una parada de la planta eléctrica, lo que representa una parada general en la empresa, ya que de ésta planta se surte la energía a todo el complejo. Esto debido a que ya se han realizado tentativas fallidas de reparación de la compuerta desde la parte exterior, y dadas las altas temperaturas manejadas en el lugar de ubicación de estas, no es posible una reparación sin involucrar la parada de la planta. De modo que, se deben estudiar los costos totales que acarrea la reparación de la compuerta con la parada general de la empresa, o tener como prioridad, en

caso de una parada de emergencia o eventual, la reparación de la compuerta aprovechando la situación.

- Instalación de un intercambiador de calor: Por medio de un intercambiador de calor, se puede condensar el vapor que se expulsa por el exosto del cabezal principal, y luego regresar esta agua a la planta 103 de desmineralización, para ser enviada nuevamente a las calderas de las plantas. Este es un proceso de reciclo del agua desmineralizada, por medio del cual se contribuye a reducir el desperdicio y los residuos de producción contribuyendo a la filosofía de cero desperdicio.

En el proceso de reciclo de agua desmineralizada, se deben analizar las características del agua condensada por el intercambiador de calor a fin de que, al regresar a la planta 103 no estropee las características del agua desmineralizada que se envía a las calderas.

Esta es la solución más recomendable ya que por medio del intercambiador no sólo se recupera el agua desmineralizada proveniente del vapor de la caldera de planta eléctrica, sino que se puede recuperar el vapor proveniente de todas las calderas de la empresa.

MEDIDORES DE PRESION	MEDIDORES DE FLUJO	MEDIDORES DE TEMPERATURA
Salida de gases de combustión a la chimenea.	Entrada de Agua desmineralizada a caldera	Condensados de Nitrato, Urea y D-10
Entrada de gases de combustión a caldera	Entrada de agua cruda a Fertilizantes	

Entrada de Agua desmineralizada a caldera	Entrada de agua cruda al SD-1	
Entrada de agua cruda a Fertilizantes	Medidor de flujo SR-8	
Entrada de agua cruda al SD-1	Entrada agua clarificada a bombas PC8/10 de 103 (desmineralizacion)	
Antes de filtro en la sección 101	Condensados de Nitrato, Urea y D-10	
Salida del SR-7		
Condensados de Nitrato, Urea y D-10		

4. PLANTA DE AGUAS

4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO.

El tratamiento del agua es necesario tanto para el consumo humano como para uso industrial, ya que la presencia de contaminantes pueden acarrear problemas irreversibles en la salud de las personas y en la maquinaria donde se emplea; estos contaminantes pueden ser partículas suspendidas, coloides y compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos

4.1.1 Descripción general proceso de clarificación. El proceso de clarificación es realizado para controlar variables como turbidez, color, alcalinidad, pH y temperatura. Esto logrado a través del paso del agua por una serie de filtro y estanques adicionándole algunos químicos para aumentar la velocidad y eficiencia de proceso.

Existen dos tipos de tratamiento de clarificación:

- Clarificación primario – subsidencia: Es un procedimiento sencillo, utilizado desde la antigüedad, también llamado sedimentación, permite que las partículas en suspensión caigan al fondo del estanque, según la **tabla 6** se puede tener conocimiento acerca del funcionamiento y baja eficiencia de

este proceso para ser aplicado en el consumo humano o uso industrial sin tratamiento posterior a este, destacando que el procedimiento resulta práctico para partículas mayores a 0,1 mm.

Tabla 6. Tiempo de sedimentación de partículas con la clarificación primaria.

A 10 C y PE.			Tiempo de sedimentación
Diámetro de la partícula en mm	Orden de magnitud		
Sedimentación	10	Grava	0,3 segundo
	1	Arena gruesa	3 segundos
	0,1	Arena fina	38 segundos
Coagulación	0,01	Cieno	33 minutos
	0,001	Bacterias	35 horas
	0,0001	Partículas de arcilla	230 días
	0,00001	Partículas coloidales	63 años

- Clarificación secundaria – Coagulación: Esta operación se utiliza generalmente subsiguiente a la sedimentación, ya que las partículas involucradas en la turbidez y color tiene tamaño menor a 0.1 mm, a través de la adición de químicos se busca aumentar el tamaño de estos hasta 0.5 mm para que sedimenten fácilmente.

Esta reacción consiste en formar hidróxidos coagulables, que toman la forma de coágulos, grumos o floculos. El producto se añade en forma de electrolito con carga eléctrica positiva, neutralizando la negatividad eléctrica de los sólidos finamente divididos en suspensión. El coagulante químico actúa formando carga positiva que neutraliza las cargas negativas de la materia coloidal, causando un floculo de 0,5 a 0,7 mm para que precipiten fácilmente.

El agente coagulante que causa la reacción química más usado es el sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ de tipo comercial.

Existen factores que afectan de manera directa este proceso:

1. pH adecuado para el agente químico: utilizando sulfato de aluminio es necesario que esté entre 5.5 y 8, en otros casos varía entre 4 y 11.
2. Temperatura: altera la viscosidad por lo tanto la velocidad de sedimentación.
3. Conocimiento previo del uso final del agua.

Para este proceso se deben considerar según la necesidad el uso de equipos, que puede ser:

1. Equipo convencional: Formado por mezclador, floculador y sedimentador. El proceso se efectúa entre 2 y 6 horas, en recipientes rectangulares o circulares. Resulta útil donde hay suficiente tiempo y espacio disponible.
 2. Equipo rápido: Clarificadores, precipitadores, aceleradores son caudales que varían entre 50 y 4000 gal/min.
- Clarificación terciaria: Es la separación de materia en suspensión mediante un filtro, utilizando una capa de arena de 10 a 24" de espesor en filtro de presión y de 24 a 30" en filtro por gravedad, teniendo presente que el diámetro de los gránulos de arena varían entre 0.5 y 0.7 mm.

Los tipos de filtros utilizados pueden ser:

1. Filtro por gravedad o de filtración lenta: El agua pasa a través de la arena, usualmente de 0.032 a 0.160 gal/min ft²
2. Filtro a presión o filtración rápida: El agua pasa a una velocidad entre 2 y 4 gal/min ft²

4.1.2 Descripción general proceso de suavización. El control del proceso es muy simple, la unidad es operada haciendo que el agua pase a través de la camada de resina, siendo suavizada y mostrando un incremento en el punto de dureza cero. Se caracteriza por tener las siguientes ventajas:

1. Toda la dureza puede ser removida.
2. Operación simple, no necesita de ayuda técnica.
3. No hay disposición de lodos.
4. No necesita equipo de mezclado.

4.1.3 Descripción general proceso de desmineralización. Es llamado proceso de desmineralización a cualquier proceso que ayude a eliminar los minerales del agua, restringiendo el nombre a procesos de intercambio iónico y se puede usar de diferentes maneras para producir agua desmineralizada de diferentes calidades.

- Sistema de resina catiónica de ácido fuerte + anión básico fuerte: Estos sistemas consiste en dos contenedores, uno con resina de intercambio cationico en forma de protones (H⁺) y el otro con una resina cationica en forma de hidroxilos (OH⁻). El agua fluye a través de la columna cationica, con la cual todos los cationes son sustituido por protones. El agua descationizada luego fluye a través de la columna aniónica. Esta vez, todos los cationes cargados negativamente son intercambiados por iones hidroxilo, los cuales se combinan con los protones para formar agua.

Este sistema elimina todos los iones, incluyendo la sílice.

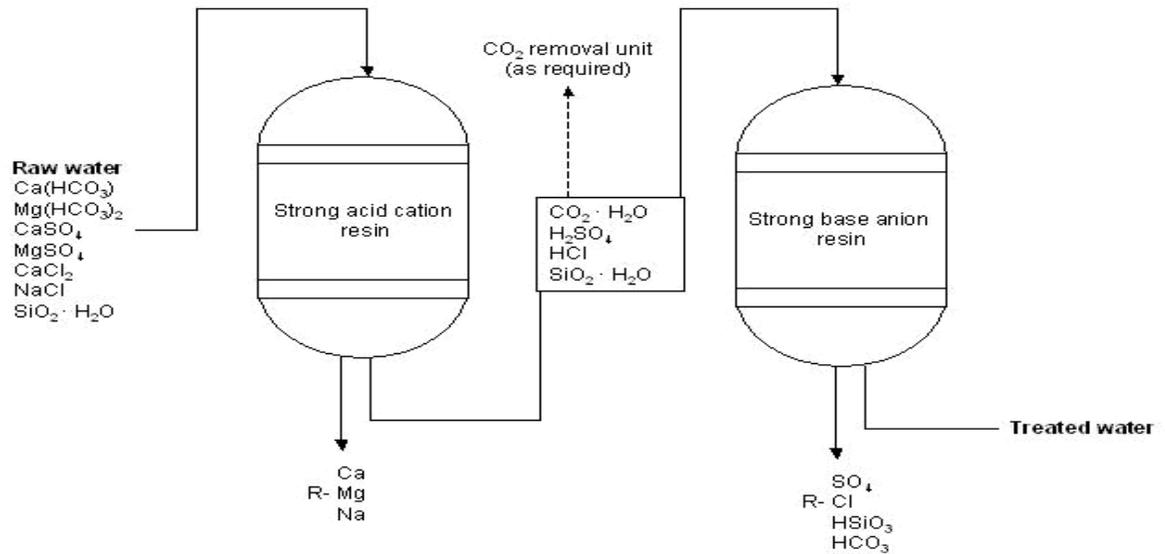


Figura 23. Sistema de resina cationica de ácido fuerte.

- Sistema de resina cationica ácido fuerte + aniónica básica débil + aniónica básica fuerte: Es una combinación del sistema anterior, proporcionando la misma calidad de agua, ofreciendo ventajas al tratar agua que contenga altas cantidades de aniones fuertes.

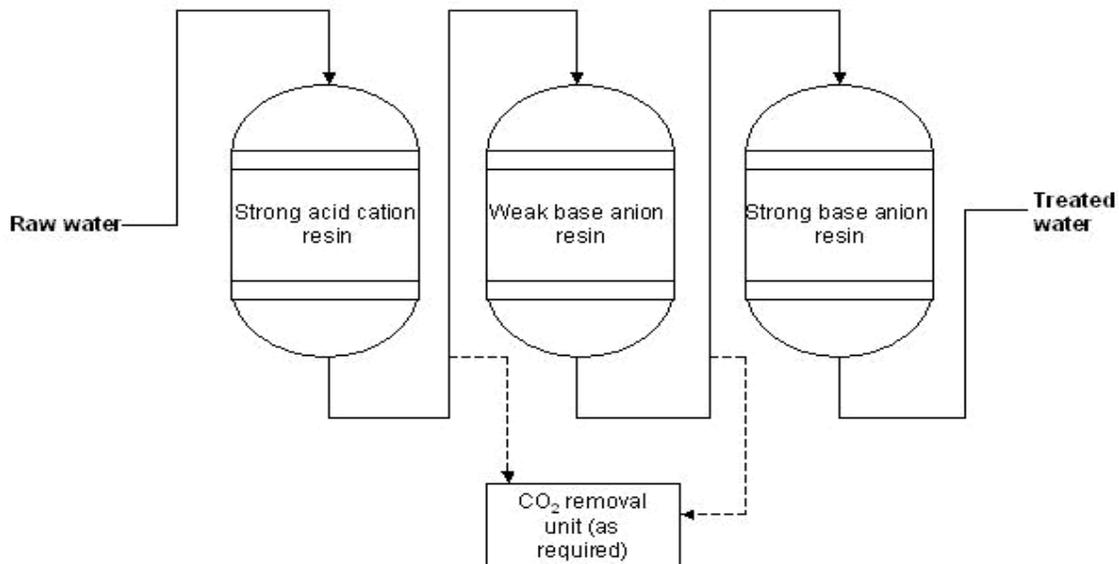


Figura 24. Sistema de resina cationica de acido fuerte + aniónica básica débil + aniónica básica fuerte.

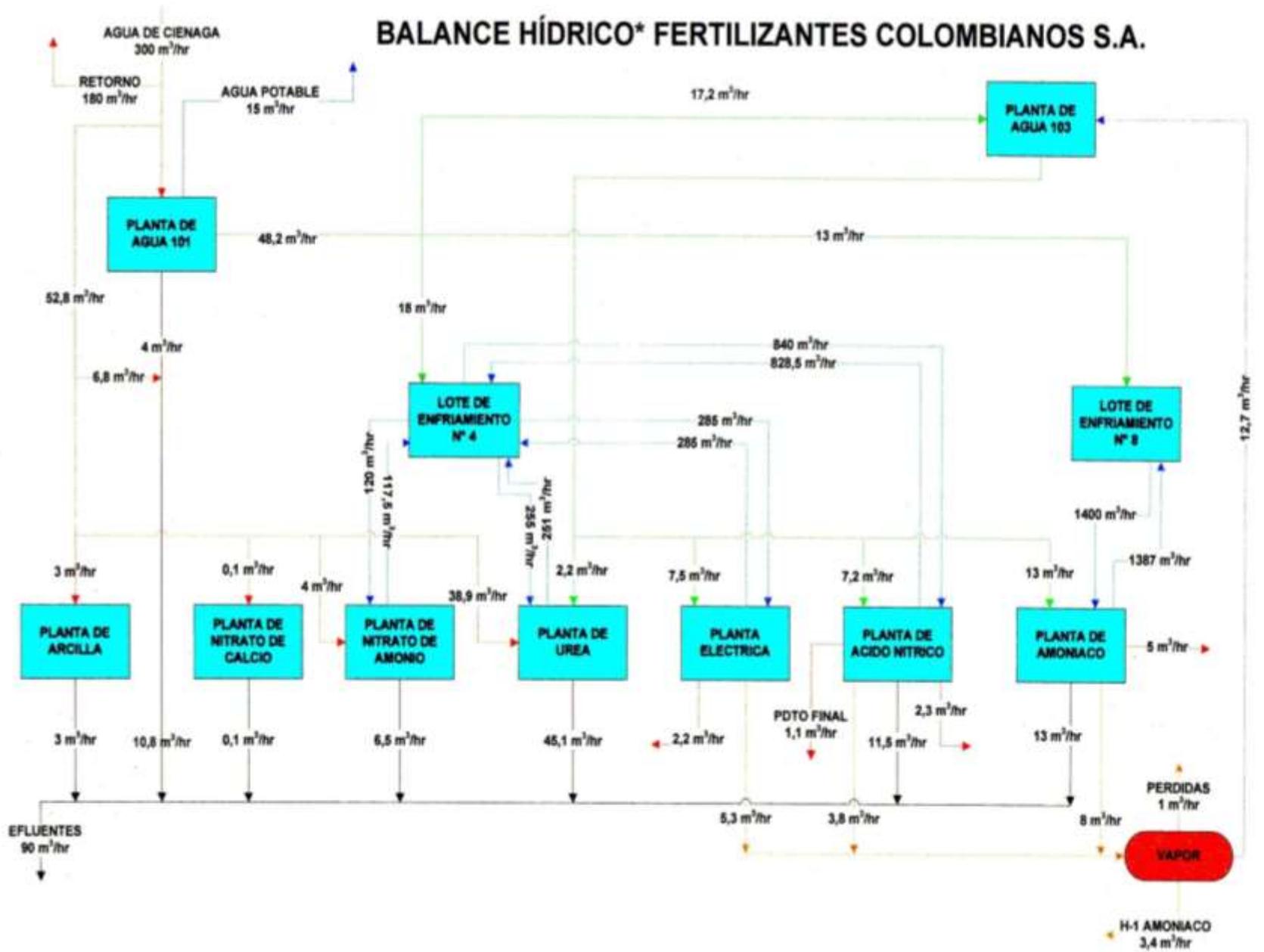
4.2 DESCRIPCION DE TRATAMIENTO DE AGUA EN FERTICOL S.A

El tratamiento de agua de FERTICOL S.A consta de las siguientes fases: clarificación, filtración y potabilización ubicado en el lote 101, suavización y desmineralización ubicada en el lote 103, cada una con sus respectivos subprocesos.

La planta 101 y 103 es la encargada de proporcionar el agua necesaria a los diferentes procesos y planta física de FERTICOL S.A. Esta planta está diseñada para tratar 200 m³/h de agua, pero actualmente se está tratando aproximadamente 70m³/h¹⁰; los cuales se distribuyen a la empresa de la siguiente manera.

¹⁰ Dato proporcionado por un operario de la planta.

BALANCE HÍDRICO* FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A.



4.2.1 Proceso de Clarificación.

El agua cruda es tomada de la ciénaga ubicada en la casajera por medio de una bomba y llevada a través de una tubería de 8'' hasta el perímetro de FERTICOL S.A, en donde se le adiciona sulfato de aluminio para floccular los lodos, dirigiéndose luego hasta un decantador – flocculador acelerado de manto de lodos PULSATOR LAMINAR A SIFON, con un área de 40.36 m² construido en concreto reforzado e impermeabilizado por FERTICOL S.A, donde se tiene un lecho de lodos ya formado, con un tiempo de contacto de 45 minutos aproximadamente permitiendo la clarificación del agua, terminada la decantación los lodos son extraídos por medio de unas válvulas a bajo caudal las cuales son controladas por válvulas de apertura rápida operadas manualmente; al agua clarificada se le adiciona soda cáustica para corregir el pH.

El agua clarificada es almacenada en un tanque del cual está instalado una bomba que dirige el flujo a presión constante hasta los filtros bicapas con lecho de arena – antracita, los cuales tienen un tiempo de operación de 24 horas, removiendo del agua partículas tales como:

- Limo: 0.5 mm
- Bacterias: 0.05 mm
- Virus: 0.00005 mm
- Coloides: 0.000001 mm.

Para la potabilización del agua, se le adiciona hipoclorito al agua filtrada, la cual se almacena en un tanque de 40.36 m².

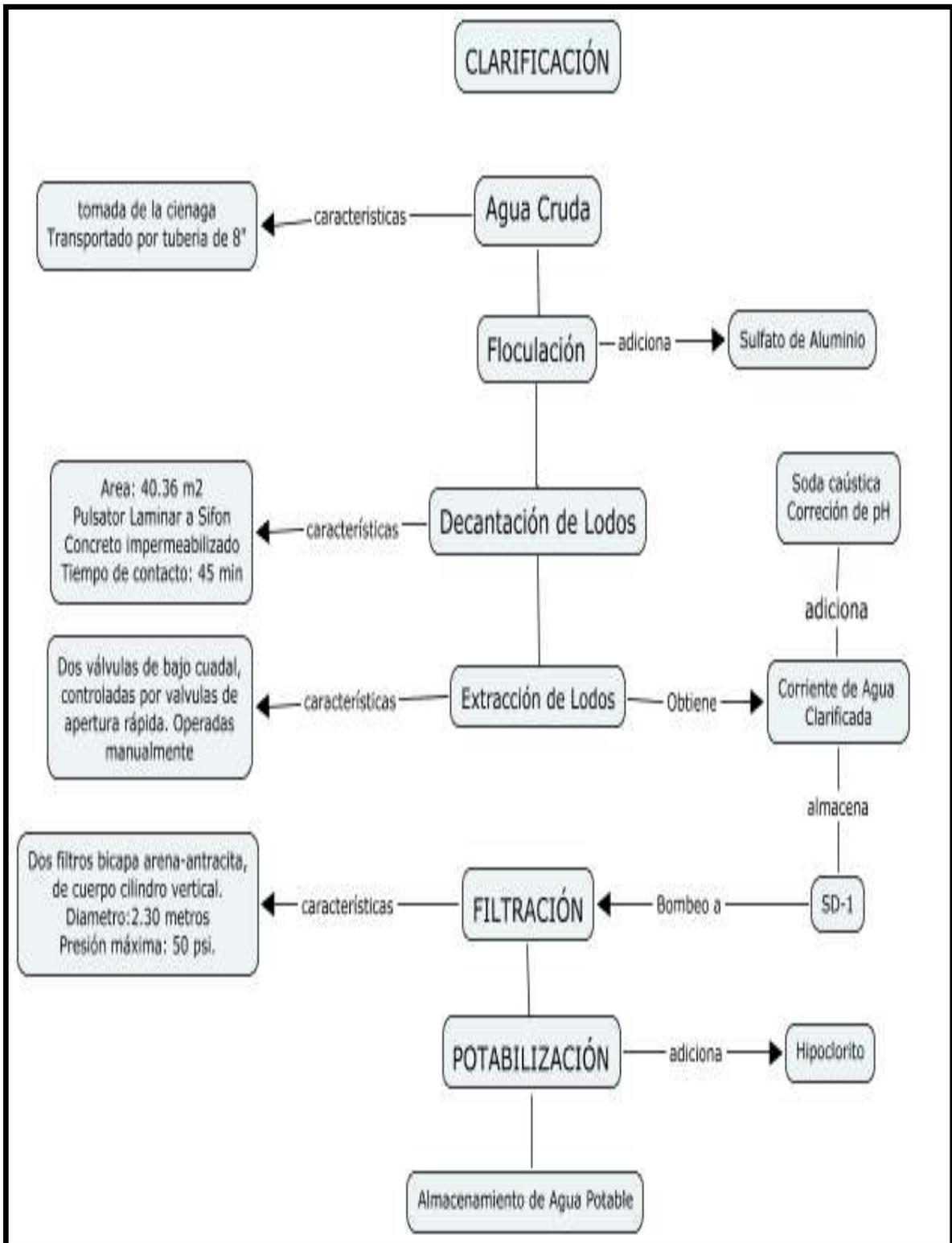


Figura 25. Diagrama de proceso de Clarificación en planta de aguas de FERTICOL S.A

4.1 PROCESO DE SUAVIZACIÓN. El agua clarificada procedente de la alberca SD- 1 del lote 101 llega por gravedad a la alberca SR-8, siendo succionada por la bomba PC – 2 a una presión de 1.5 kg/cm²; el agua de pozo es succionada por la bomba PC – 2 y enviada hasta las bombas PC-8 y PC-10 a una presión de descarga de 6.5 kg/cm² y el agua de enfriamiento la envían las bombas PC – 7 y PC – 8 de esa unidad a una presión de 2.5 kg/cm² .

La corriente de agua del lote 4 es filtrada antes de llegar a la unidad de zeolita, una parte de esta se dirige hacia la unidad catiónica y otra hacia la unidad de zeolita (A -8), la mayor parte de la corriente del tambor SR – 8 llega a la unidad A-8 por la parte superior, su excedente es enviado a la unidad catiónica.

La presión de entrada de la unidad de zeolita es de 2 kg/cm², las corrientes de la unidad de zeolita pasan a través de una camada de resina catiónica de base sódica en donde los iones de Ca y Mg disueltos en el agua se intercambian con el ión sodio, formando sales solubles de fácil sustitución. El agua blanda que sale de la unidad de zeolita libre de Ca y Mg, fluye al tambor de almacenamiento SR – 3, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 133 m³.

El agua suavizada almacenada en el tanque SR -3, es succionada por la bomba PC – 15 descargándola a 15 kg/cm² de presión para ser usada en el proceso de la planta de urea, siendo el consumo de esta planta registrado por el instrumento QR–5, el cual a condiciones normales registra en promedio 4.6 m³/h. también se utiliza durante el arranque de la planta de nitrato, para llenar la cámara de reacción A-4.

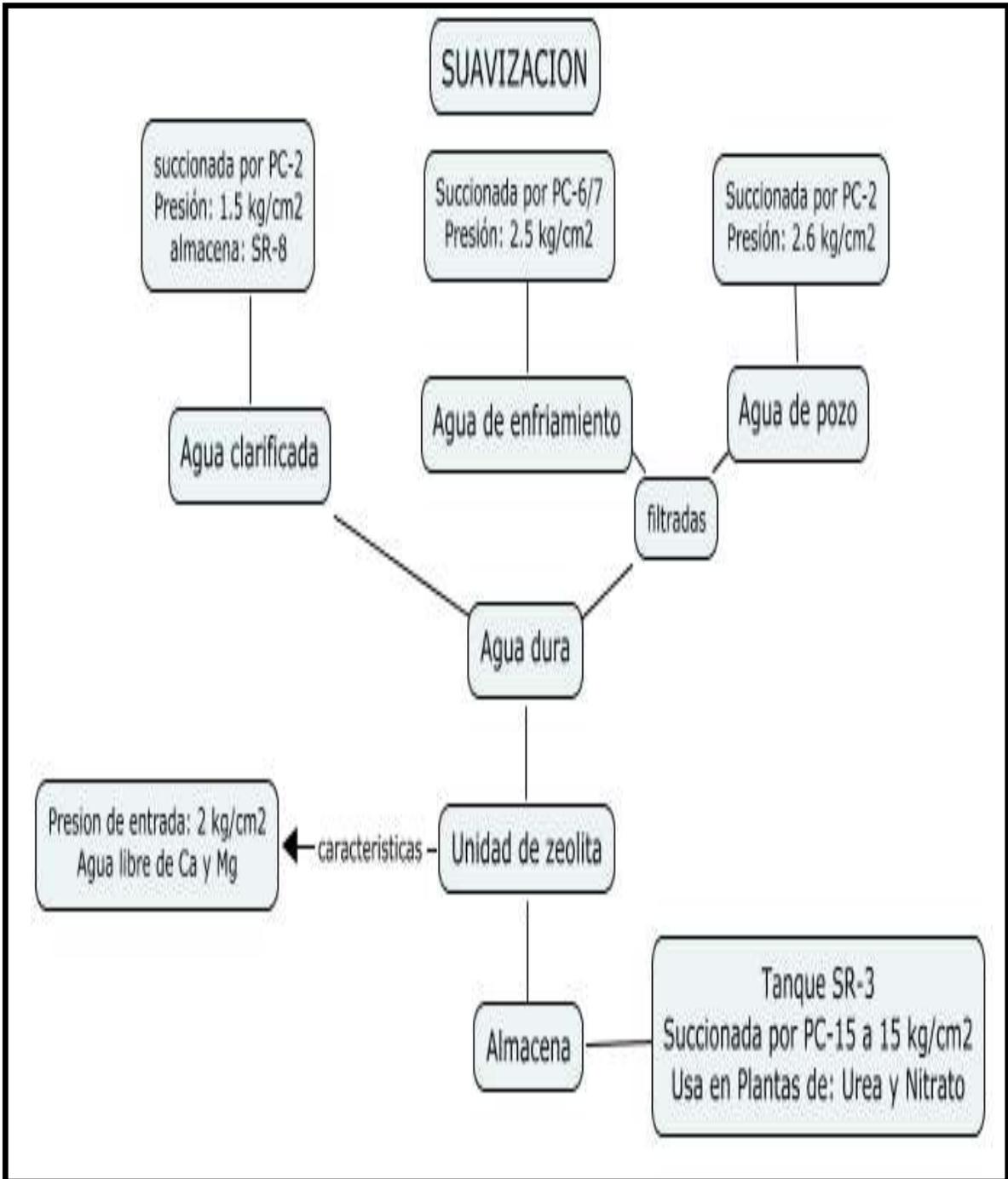


Figura 26. Diagrama de proceso de Suavización en planta de aguas de FERTICOL S.A

4.3 PROCESO DE DESMINERALIZACION. Una porción del efluente de agua dura previamente filtrada, llega a la unidad catiónica donde los cationes de Ca, Mg, Na, K, Fe y Al se remueven por intercambio iónico, cuando en la corriente de salida de esta unidad la acidez mineral tiende a 0 ppm y el pH aumenta a 6, se debe sacar de servicio para ser regenerada con una solución de H₂SO₄ al 2%; los tanques SR-10 A/B, son los depósitos de almacenamiento de H₂SO₄, los cuales se comunican entre si por las líneas de salida del H₂SO₄, hacia el tambor SR-5 donde ocurre la disolución de este componente, donde se le adiciona el ácido al agua y no la operación contraria.

El agua que proviene del A-4, fluye hacia la torre desgasificadora entrando por la parte superior de la misma, teniendo como función la remoción del CO₂ proveniente de la descomposición del ácido carbónico, el cual por ser tan débil se descompone fácilmente en H₂O y CO₂. La extracción del CO₂ se realiza por medio de una corriente de aire proporcionada por un ventilador identificado con la sigla W-1.

El efluente despojado de CO₂ llega a la alberca de almacenamiento SR-7, lo cual es succionado por las bombas PC-9/11 para hacer circula por la unidad aniónica hasta los tanques SR-1 y SR-2.

Las corrientes que llegan a la unidad aniónica A-6 son: la corriente de cabeza de las bombas PC-9/11 y una porción de agua suavizada, a las cuales se le remueven al agua los aniones de carbonato, sulfato, nitrato, sílice, bicarbonato y cloro mediante intercambio iónico – aniónico. Las condiciones de saturación de las corrientes de salida, señalando 1 ppm de sílice y el pH de 10, indicando la regeneración de la unidad por medio de una solución de NaOH la cual se realiza en el tanque SR-4 que es succionada por las bombas hasta llegar al tanque SR-9 donde se almacena la solución preparada en el tanque de disolución, por ultimo esta es impulsada hasta el tanque SR-6 de inyección de la soda para la regeneración.

Para el almacenamiento del agua desmineralizada se disponen los tanques SR-1 y SR-2, esta efluente es impulsada por las bombas PC-6/7 hasta el desaereador calentador A-7, donde se optimiza el agua removiéndole los gases no condensable como oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono; del A-7 la succionan la succionan las bombas PC-4/5, esta corriente de cabeza es utilizada en las calderas de la Planta de Amoniaco, Acido Nítrico y Planta Eléctrica. Los condensados del D-10 de la Planta de Amoniaco, también son corriente de alimentación del A-7, teniendo cuidado de no sobrepresionar el desaereador controlando un 60% del nivel del D-10-

Los gases no condensable salen a la atmosfera a través de la línea de venteo que se encuentra en la cima del condensador de venteo.

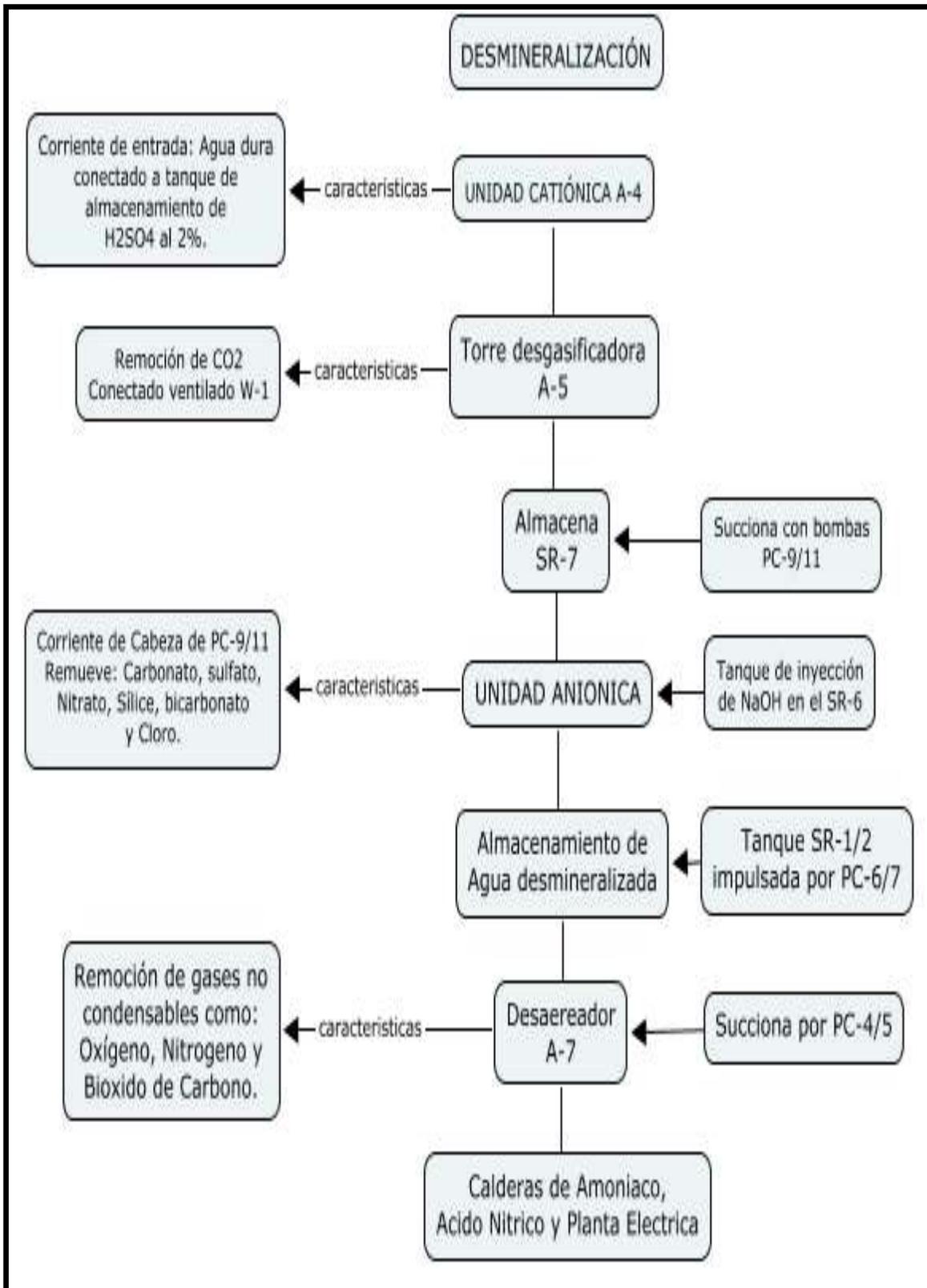


Figura 27. Diagrama de proceso de Desmineralización en planta de aguas de FERTICOL S.A

4.4 BALANCE DE MASA EN PLANTA DE AGUAS.

Los balances de masa fueron realizados según los puntos descritos en el ANEXO B, teniendo en cuenta un flujo aproximado de 70 m³/h de agua cruda para los tratamientos posteriores.

Tabla 7. Balance de masa en proceso de clarificación.

PUNTO	NOMBRE DEL FLUÍDO	PRESIÓN	FLUJO MÁSSICO
1	Agua cruda	49.8 PSI	70675,5 Kg/h
2	Sulfato de aluminio		75 ppm/m ³
3	Soda Cáustica		manejando un pH de 6.7 - 7.8
4	Lodos	7.11 PSI	4169,8545 Kg/h
5	Agua Clarificada	7.11 PSI	66505,646 Kg/h
6	Agua Clarificada PC-1	30 PSI	66505,646 Kg/h
7	Agua Clarificada A-4/5		66505,646 Kg/h
8	Agua Clarificada lote 4-8	6.83 PSI	42563,613 Kg/h
9	Agua Clarificada lote 103	6.83 PSI	23942,032 Kg/h
10	Agua Clarificada	3 PSI	15760,637 Kg/h
11	Agua Clarificada	7 PSI	15760,637 Kg/h
12	Agua Clarificada	24.174 PSI	15760,637 Kg/h
13	Hipoclorito		2 ppm/m ³
14	Agua Potable		15760,637 Kg/h

Tabla 8. Balance de masa en proceso de suavización.

PUNTO	NOMBRE DEL FLUÍDO	PRESIÓN	FLUJO MÁSIKO [kg/h]
1	Agua clarificada	20 PSI	4700
2	Agua clarificada	*	4700
3	Agua clarificada	11.38 PSI	4700
4	Agua clarificada	0.5 PSI	4700
5	Agua suavizada	20 PSI	4700

Tabla 9. Balance de masa en proceso de desmineralización.

PUNTO	NOMBRE DEL FLUÍDO	PRESIÓN	FLUJO MÁSIKO
1	Agua cruda	49.8 PSI	70675,5 Kg/h
2	Sulfato de aluminio		75 ppm/m3
3	Soda Cáustica		manejando un pH de 6.7 - 7.8
4	Lodos	7.11 PSI	4169,8545 Kg/h
5	Agua Clarificada	7.11 PSI	66505,6455 Kg/h
6	Agua Clarificada PC-1	30 PSI	66505,6455 Kg/h
7	Agua Clarificada A-4/5		66505,6455 Kg/h
8	Agua Clarificada lote 4-8	6.83 PSI	42563,6131 Kg/h
9	Agua Clarificada	6.83 PSI	23942,0324 Kg/h

	lote 103		
10	Agua Clarificada	3 PSI	15760,6365 Kg/h
11	Agua Clarificada	7 PSI	15760,6365 Kg/h
12	Agua Clarificada	24.174 PSI	15760,6365 Kg/h
13	Hipoclorito		2 ppm/m3
14	Agua Potable		15760,6365 Kg/h

4.5 ANALISIS DE PLANTA DE AGUAS.

- En la sección 103, el desaerador calentador no tiene el aislamiento suficiente requerido para su operación, por lo tanto para tener una temperatura adecuada, se necesitaría mayor energía térmica, en este caso suministrada por vapor.
- A través del análisis del estado actual de la bomba de succión de ciénaga, se observó un sobredimensionamiento de esta con respecto al caudal necesario que se procesa en las plantas 101 y 103, ya que esta bomba succiona 300 m³/h de agua cruda, retornando 180 m³/h; haciendo llegar hasta el perímetro de FERTICOL S.A 120 m³/h ¹¹aproximadamente.
- La planta de aguas según las condiciones de trabajo actuales, se sobredimensionada al doble, ya que esta tiene una capacidad para tratar 200 m³/h de agua cruda, con respecto a la situación actual donde se manejan 70 m³/h de agua cruda aproximadamente a la entrada de la planta

¹¹ Dato escogido para realizar el balance de masa de la planta de aguas y el balance hídrico de FERTICOL S.A.

clarificadora, según las plantas que se encuentren en funcionamiento y necesiten el recurso hídrico.

- En el proceso de clarificación no se cuantifican los químicos que se adicionan, es necesario tener un control sobre estos para poder racionarlos de modo eficiente, por medio de la implementación de medidores de caudal en cada bomba dosificadora, también es importante mencionar la falta de medidores de caudal para: medir el agua cruda que llega a las instalaciones de la empresa, medir el agua cruda que no es procesada y el agua cruda destinada a la clarificación.

5 PLANTA DE AMONIACO

5.1 DESCRIPCION GENERAL DE PROCESO DE AMONIACO.

5.1.1 antecedentes planta de amoniaco. El amoniaco puede tomar el nombre de gas de Amonio, Amoniaco Anhido, R-717, espíritu de Hartshorn, AM-FOL, Nitro-Sil, encontrándose en forma líquida como amoniaco líquido o licuado y en solución en agua se denomina Amoniaco en solución acuosa o Hidróxido de Amonio.

En condiciones de temperatura y presión ambiente el amoniaco es un gas incoloro, sofocante, de olor irritante. Es más liviano que el aire y fácilmente comprimido como liquido condensado a 10 atmosferas y 25 C.

El método más utilizado para su producción es el proceso Haber Bosch, por medio de este se genera aproximadamente el 90% de la producción mundial, a partir de Nitrógeno obtenido del aire atmosférico y el Hidrogeno del gas natural, se mezclan en una proporción de 1:3 en presencia de un catalizador a alta presión, el amoniaco producido se almacena en diferentes formas y los reactivos que no reaccionan recirculan a través de los reformadores.

El amoniaco se obtiene industrialmente como subproducto de la coquización del carbón, aunque la mayor producción de Amoniaco ocurre en áreas donde el gas natural abunda y es barato.

Aproximadamente el 80% de la producción de amoniaco, se utiliza para la fabricación de fertilizantes, tales como:

- Nitrato amónico: se produce principalmente de amonio y ácido nítrico, aunque también existe otro método en donde se hace reaccionar el nitrato de calcio tetrahidratado con amoníaco y dióxido de carbono, el cual también se usa de manera industrial. Este compuesto es utilizado como fertilizante debido a su alto contenido de nitrógeno. El nitrato es aprovechado directamente por las plantas, mientras que el amonio es oxidado por los microorganismos presentes en el suelo a nitrito o nitrato y sirve de abono de más larga duración.
- Sales amónicas: Se producen de la reacción de ácido sulfúrico con amoníaco, como es el caso del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y del $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.
- Urea: Proporciona un alto contenido de nitrógeno a las plantas, ayudando a mejorar el metabolismo de tallos y hojas de las plantas.

También tiene otros usos como:

- Fabricación de HNO_3 .
- Explosivos.
- Caprolactama, nylon.
- Poliuretanos.
- Gas criogénico por su elevado poder de vaporización.
- Productos de limpieza domésticos tales como limpiacristales

5.1.2 Funcionamiento general planta de amoníaco. Para tener como producto final amoníaco, se debe tener en cuenta una serie de subprocesos, que se pueden clasificar en:

- Preparación del gas de síntesis.
- Producción de gas
- Conversión de Monóxido de carbono.

- Purificación del gas.
- Compresión.
- Síntesis.
- Recuperación de Hidrogeno del gas de purga.

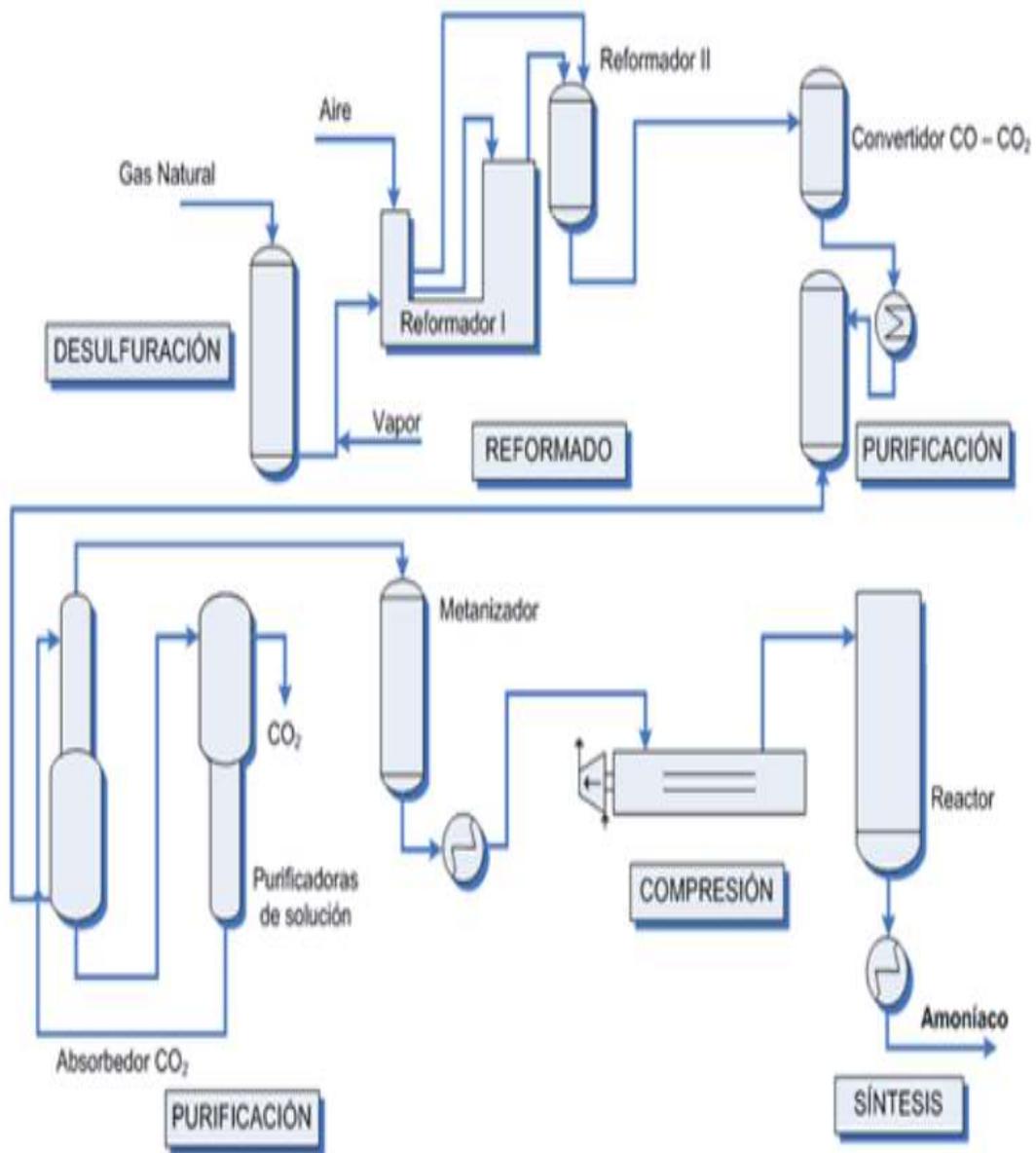


Figura 28. Descripción general de una planta de amoníaco

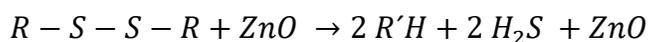
- **Desulfurización:** La importancia de preparar el gas natural para el proceso de reformado, es debido al envenenamiento que llegarían a tener los catalizadores con azufre, conllevando a la baja eficiencia del proceso y al daño irreversible en los reactores, por lo tanto el gas natural fluye hacia los tambores de carbón activado, en donde se remueven los compuestos de azufre que se encuentran en forma de sulfuro de hidrogeno, mercaptanos y azufre orgánico, es recomendable que después de la desulfurización el gas de proceso deba tener una concentración de este compuesto hasta 0.1 ppm. También se ve drásticamente afectado por las temperaturas y la concentración de metano en el proceso de reformado.

Tabla 10. Temperatura en el reformado según contenido de azufre.

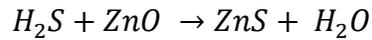
AZUFRE EN LA ALIMENTACIÓN (p.p.m)	TEMPERATURA EN LA SALIDA (°C)	TEMP. MÁXIMA EN LA SUPERFICIE DEL TUBO (°C)	CH ₄ EN GASES DE SALIDA (%)
0,60	780	907	10,6
0,19	783	909	10,7
0,38	783	912	10,9
0,76	790	920	11,5
1,52	811	929	12,1
3,03	823	938	12,7
6,01	840	952	13,7
11,90	866	971	15,2
23,50	893	992	16,8

Esta desulfurización se realiza mediante la adsorción química del azufre a través de ZnO, el cual cumple la función de catalizador y reactante, la reacción general de desulfurización es:

- Como catalizador al descomponer los compuestos de azufre



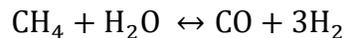
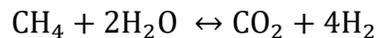
- Como reactante al reaccionar con el H₂S que se produce:



La adsorción depende del área superficial que tenga el catalizador, ya que esta va a ser proporcional a la cantidad de azufre que pueda atrapar. También son necesarias condiciones adecuadas de temperatura para asegurar la adsorción del H₂S, el cual es aconsejable que esté entre 175 C y 400 C, aunque se prefiere trabajar a temperaturas cercanas a 400 C, ya que existen compuestos de azufres que se adsorben a temperaturas relativamente bajas.

- **Reformación con vapor:** La reformación se basa en convertir el metano en una mezcla de CO y H₂. Este proceso se realiza en dos etapas, en donde se debe manejar con sumo cuidado las variables involucradas para que los resultados sean los esperados:

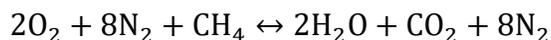
Reforma primaria. Se realiza en presencia de un catalizador, siendo parcialmente oxidado el metano con vapor de agua. La reacción principal es endotérmica y reversible.



Se manejan condiciones de temperatura entre 1292 F – 1472 F, ya que en los tubos de los reformadores no se deben operar temperaturas mayores a 1526 F, debido a los materiales con los cuales se construyen, con respecto a la presión las condiciones típicas están entre 217 psig – 580 psig, este factor juega un papel muy importante, ya que si esta aumenta considerablemente sobrepasando los valores anteriormente mencionados, la concentración de metano en el gas aumentaría (no es deseado); por lo

tanto es necesario completar el proceso de reformado con ayuda de un segundo reformador, ya que solo aproximadamente el 65% del metano es convertido.

Reforma secundaria. El gas proveniente del reformador primario, pasa a través del reformador secundario en donde se completa la reacción de reforma, este reformador debe estar recubierto con un material refractario y relleno con catalizadores de altas temperaturas, allí el gas de proceso se oxida con aire, produciéndose una reacción exotérmica alcanzando temperaturas de hasta 2192 F, antes de entrar a la camada del catalizador. A medida que fluye a través del catalizador se lleva a cabo la reforma total produciendo una reacción endotérmica, disminuyendo la temperatura al fondo de la camada del catalizador.

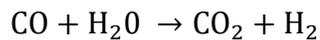


Sin embargo, el metano no convertido, se transforma con vapor, llegando a cantidades de 0.2% -0.3% de volumen, esta concentración depende de la presión, temperatura, y la cantidad de nitrógeno y vapor que están presentes. Como resultado de la anterior reacción se tendrá un gas con las siguientes composiciones aproximadamente: N₂ (12,7%), H₂ (31,5%), CO (6,5%), CO₂ (8,5%), CH₄ (0,2%), H₂O (40,5%), Ar (0,1%).

Este reactor termina la etapa de reforma, destacando la adición de aire ya que estableciendo la relación H₂/N₂, necesaria para la síntesis, el control de la

cantidad de aire suministrado es muy importante no solo para alcanzar la relación 3H₂/N₂, sino para la cantidad de aire necesaria en la combustión del gas natural.

- **Conversión de CO en CO₂:** A través de las dos secciones (HTS¹² y LTS¹³) del convertidor de CO, se realiza esta conversión para evitar el envenenamiento de los catalizadores por CO en la síntesis de amoníaco, produciendo hidrógeno a través de la reacción exotérmica mostrada a continuación:



El convertidor de alta temperatura (HTS), convierte la mayor parte de monóxido de carbono presente en el gas, con desprendimiento de hidrogeno, por lo tanto esta reacción es exotérmica produciendo un aumento en la temperatura.

El gas de HTS es enfriado en un intercambiador, para luego pasar al convertidor de baja temperatura LTS, donde se trabaja a la temperatura más baja posible para favorecer la producción de hidrogeno.

En este paso del proceso de reformación, la temperatura es de vital importancia, ya que a medida que la temperatura disminuye la conversión se verá incrementada. Otros factores importantes dentro de la conversión de monóxido de carbono son la presión, relación vapor/CO y el catalizador empleado en el reactor.

Temperatura: Como anteriormente se describió, se manejan dos temperaturas, es aconsejable que en el convertidor de alta la temperatura sea > 662 F, ya que esto facilitará a que la velocidad de reacción sea más rápida; en el convertidor de baja la temperatura debe ser < 482 F, para que el CO remanente pueda ser convertido, no es necesario el gasto de tanta energía para aumentar la temperatura.

¹² Sección de alta temperatura.

¹³ Sección de baja temperatura.

Presión: Esta variable no tiene mayor influencia dentro del proceso.

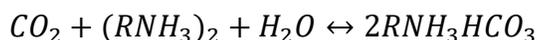
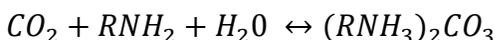
Relación Vapor/CO: No tiene influencia en el proceso de conversión de CO, pero si tiene una mínima incidencia debido al comportamiento de la presión respecto a los gases no ideales.

Catalizadores: Para la conversión del CO, muchas sustancias funcionan para realizar esto, pero se utilizan metales de naturaleza básica como Fe, Cr, Mg, Zn ó Cu. Los catalizadores utilizados para la sección de alta y baja deben ser diferentes.

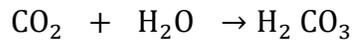
- **Remoción de CO₂. El CO₂:** Es indispensable que sea eliminado del gas de síntesis, ya que actúa como un veneno en los catalizadores durante la síntesis de amoníaco. Esta separación debe hacerse utilizando líquidos absorbentes como el agua, soluciones de etanol amina, soluciones alcalinas, etc.

Existen varios métodos para la separación del CO₂:

- a. Absorción de CO₂ con agua: Es necesario trabajar con presiones entre 20 – 30 atm, aunque no resulta ser lo suficientemente eficientes para la producción de amoníaco, debido a la pérdida de hidrógeno.
- b. Empleando etanol amina y di etanol amina: Esta solución MEA, es utilizada en FERTICOL S.A.



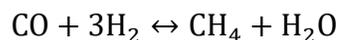
- c. Separación de CO₂ con soluciones básicas de carbonato de calcio: es usada frecuentemente debido a la alta eficiencia obtenida.



En los procesos de absorción, son usados los solventes orgánicos, para absorber los ácidos, en vez de hacerlo reaccionar químicamente. La captura del CO₂, en donde se debe tener en cuenta la solubilidad de este en el solvente, el cual dependerá estrechamente de la presión parcial (se manejan altas presiones), y la temperatura del gas de alimentación (bajas temperaturas), con el fin de favorecer la solubilidad del CO₂ en el solvente.

El sistema MEA utilizado en la planta de Fertilizantes Colombiano S.A, según la teoría, opera en forma óptimas cuando se trata de bajas presiones parciales de CO₂, es decir < 100 psia, teniendo como resultado alta captura del CO₂, también se le atribuye a esta solución la alta alcalinidad, y fácil descarga lo cual conlleva a ser regenerado con facilidad.

- **Metanización.** La eliminación de Co y CO₂, cobra importancia en el proceso de reformación de gas de síntesis, el cual generalmente contiene 0,1% - 0.2 % mol de CO y 100 -1000 ppmv de CO₂, eliminando este CO₂, por medio de la reacción exotérmica descrita a continuación:



Este metano formado no causa inconvenientes, ya que actúa como un gas inerte. Respecto a las variables involucradas en el proceso, son:

Temperatura: Las altas temperaturas favorecen la velocidad de la reacción, pero llevando a que el equilibrio de esta se desplace hacia la izquierda, por lo tanto se recomienda trabajar a temperaturas bajas entre 482 F y 752 F

Presión: Las presiones elevadas entre 294 – 368 psig, favorecen la función del catalizador con respecto a la velocidad de reacción.

Flujo de vapor: El exceso de vapor hará que la reacción se desplace hacia la izquierda, por lo tanto se deberá tener como condición, la menor cantidad de vapor presente en el gas.

- **Compresión:** Es necesario el aumento de presión para la preparación de la síntesis de amoníaco. Industrialmente se opera a presiones entre 80 a 450 bar, pero la mayoría de las plantas de amoníaco son operadas en un rango de 150 a 250 bar.

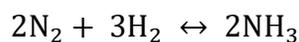
Los procesos de síntesis de amoníaco, pueden dividirse en tres grupos según la presión:

Alta presión: Se utiliza en plantas grandes con rangos de presiones entre 50 y 100 MPa.

Media presión: es la más empleada, aplicando entre 25 y 35 MPa.

Baja presión: son las presiones donde resultan los procesos menos eficientes, ya que se manejan grandes volúmenes de reciclo, bajas conversiones y mayor uso de catalizador, utilizando un rango entre 10 y 20 MPa.

- **Síntesis de amoníaco:** Consiste en reaccionar nitrógeno e hidrogeno para producir amoníaco, esta reacción es exotérmica:



Generalmente, las condiciones a las cuales se trabaja esta reacción son: Presiones entre 15 y 25 MPa, temperatura entre 652 y 1022 F. El proceso más utilizado a nivel industrial para la producción de amoniaco es “Haber recycle - loop”, en donde el amoniaco es separado del gas de reciclo haciéndose condensar, el gas que no fue convertido, se mezcla con “gas de síntesis fresco” haciéndose retornar de nuevo hacia el convertidor de síntesis de amoniaco.

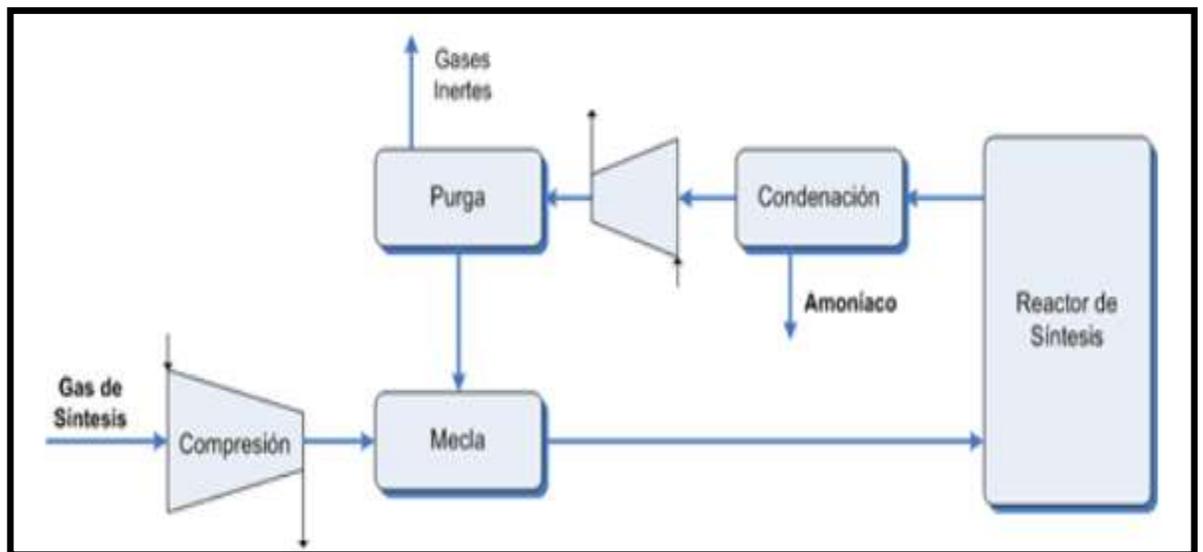


Figura 29. Descripción general de proceso de compresión en una planta de amoniaco.

Dentro de las opciones de combustible para la obtención de amoniaco se debe tener en cuenta también el proceso de reformado que este conlleva, para la producción de gas de síntesis.

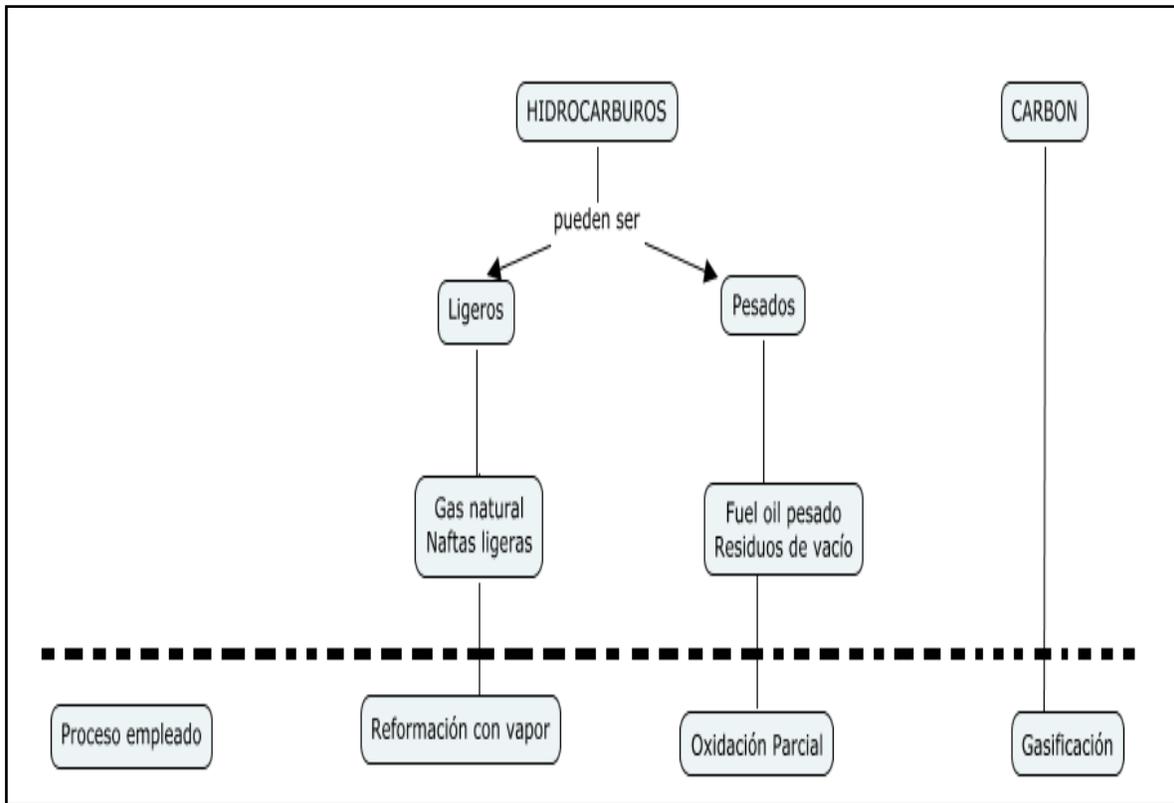


Figura 30. Materia prima y su proceso de reformado.

Gas natural: Es la materia prima principal del proceso para la producción de amoníaco en la planta de FERTICOL S.A, ya que se tiene fácil acceso de adquisición para complementar la reformación con vapor. Este gas es tomado de la línea de transporte de TGI y controlado a través de una válvula de 240 a 260 psig. Cabe resaltar que el 77% de las industrias químicas, emplean gas natural para la producción de amoníaco y el 85% de la producción mundial utilizan el reformado con vapor

Aire: Tomado de la atmósfera, teniendo un proceso de filtrado antes que este sea incorporado en el proceso.

Agua: Para el proceso de producción de amoníaco se utiliza agua desmineralizada proveniente de la sección 103.

5.2 DESCRIPCION DE LA PLANTA DE AMONIACO DE FERTICOL S.A.

Fue diseñada por Girdler Corporation de Louisville Kentucky S.A. con una capacidad de producción de 65 toneladas métricas/día de amoníaco anhídrido, usando como materia prima gas natural.

En la planta de amoníaco de FERTICOL S.A, el gas natural primero se purifica, para luego ser reformado y convertido en gas de síntesis, el cual también es purificado, y comprimido para su conversión a amoníaco. Los vapores de amoníaco se condensan y almacenan en tanques especiales para luego ser bombeados hasta las plantas de FERTICOL S.A donde se utiliza para completar otros procesos de producción de fertilizantes.

A continuación se presenta el diagrama del proceso permitiendo observar el paso a paso de los subprocesos y los equipos involucrados.

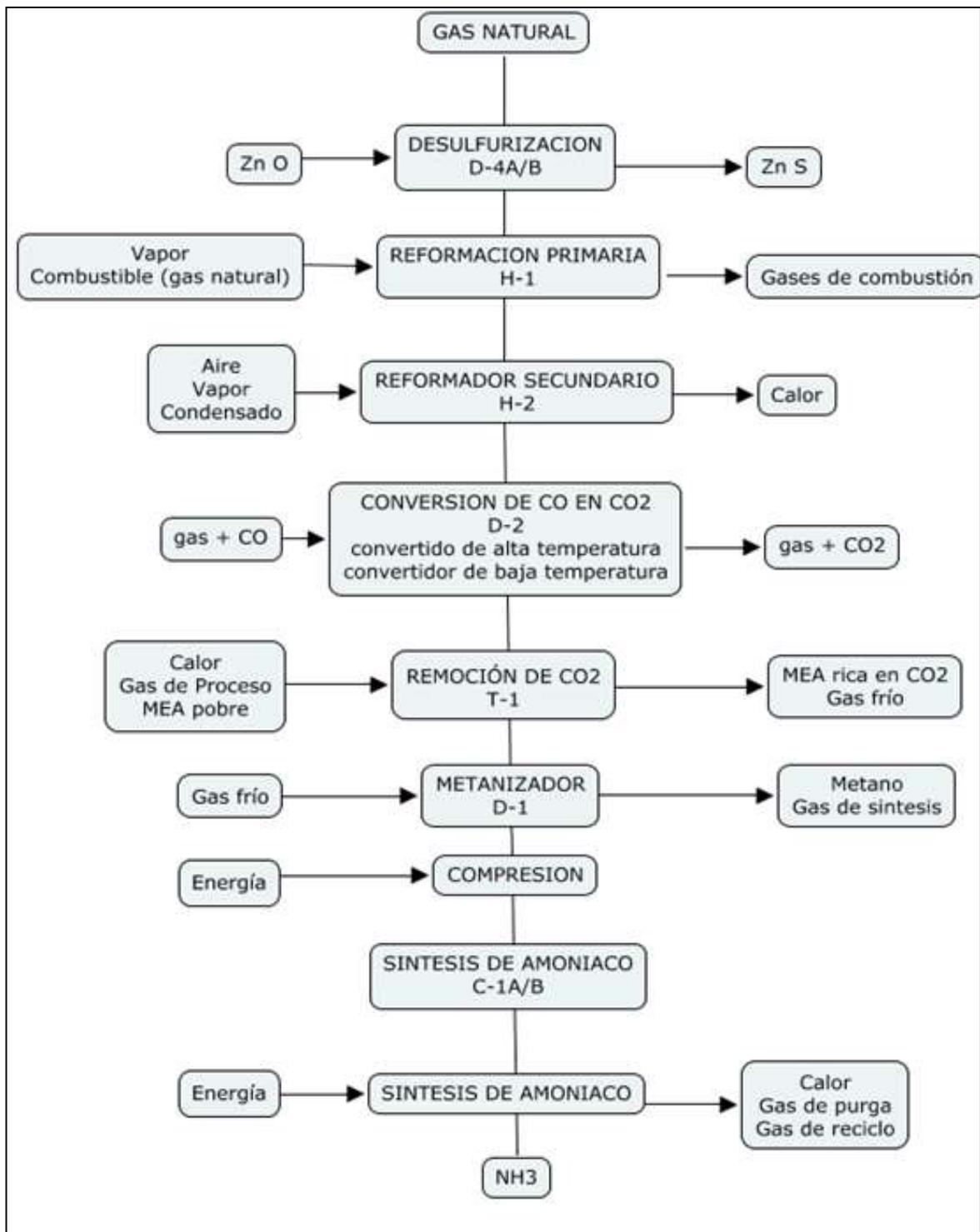


Figura 31. Diagrama de flujo de proceso de amoniaco.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y SU FUNCIONAMIENTO. El proceso de generación de amoniaco en FERTICOL S.A, consta básicamente de 5 subproceso los cuales son.

- A. Preparación de gas de carga.
- B. Sistema de MEA.
- C. Producción de vapor
- D. Compresión
- E. Síntesis de amoniaco.

A continuación se muestra en la tabla el listado completo de equipos que opera actualmente en la Planta de amónico por cada subproceso, el listado fue realizado en recorridos hechos a la Planta.

Tabla 11. .Listado de equipos por subproceso

PREPARACION DE GAS DE CARGA	
Tambores de carbón activado	Convertidor de CO
Precalentador de gas de carga	Intercambiador de calor de convertidor
Reformador primario	Tambor de enfriamiento del convertidor
Reformador secundario	Rehervidor de MEA
Separador de condensado	Bombas de condensado
Enfriador de gas de proceso	Absorbedora de CO ₂
Metanizador	Enfriador de gas de síntesis
Tambor de succión de los compresores	
SISTEMA DE MEA	
Intercambiadores de calor de MEA	Rehervidor de MEA
Enfriadores de solución	Enfriador de gas de acido
Bombas de MEA	Tanque de mezcla de MEA
Absorbedora de CO ₂	Tambor separador de condensado

Regeneradora de MEA	
PRODUCCION DE VAPOR	
Caldera de calor residual	Ventilador de tiro forzado
Ventilador de tiro inducido	Tambor de drenaje

COMPRESION	
1 compresor multiservicio.	
SINTESIS DE AMONIACO	
Filtro separador de aceite	Convertidor de amoniaco
Intercambiador de calor	Condensadores primario de amoniaco
Condensador secundario	Separador primario de amoniaco
Separadores secundarios de amoniaco	Tambor depresionador primario
Tambor depresionador secundario	Tambor depresionador final
ALMACENAJE DE AMONIACO	
Tanques de almacenamiento de alta presión	Sistema de bombeo
Tanques de baja presión	

Códigos de clasificación de los equipos de la planta de amoniaco

La Planta de Amoniaco en FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A al igual que las demás plantas de la empresa representa sus equipos dependiendo su función con letras y números.

- Los intercambiadores son representados con la letra **E**
- Los reformadores con la letra **H**
- Los tambores y torres de carbón activado con la letra **D** y **P**

- Absorbedora de CO₂, Regeneradora de MEA y Convertidor de amoniaco (Sistema de MEA) con la letra **T**
- Las bombas con la letra **P**
- Los tanques de almacenamiento con la letra **SR**
- Los compresores con la letra **CA**
- Los separadores con la letra **S**

Tabla 12. Listado de los equipos con códigos subproceso precalentado de gas de carga.

PREPARACIÓN DE GAS DE CARGA	
Tambores de carbón activado	D-4B y D-4B
Precalentador de gas de carga	E-1
Reformador primario	H-1
Reformador secundario	H-2
Separador de condensado	D-10
Enfriador de gas de proceso	E-4
Metanizador	D-1
Tambor de succión de los compresores	D-9
Convertidor de CO	D-2
Intercambiador de calor de convertidor	E-3
Tambor de enfriamiento del convertidor	D-3
Rehervidor de MEA	E-6
Bombas de condensado	P-2A Y P-2B
Absorbedora de CO ₂	T-1
Enfriador de gas de síntesis	E-5

Tabla 13. Listado de los equipos con códigos subproceso sistema MEA.

SISTEMA DE MEA	
Intercambiadores de calor de MEA	E-8A Y B
Enfriadores de solución	E-7 ^a
Bombas de MEA	P-1A Y P-1B
Absorbedora de CO ₂	T-1
Regeneradora de MEA	T-2
Rehervidor de MEA	E-6
Enfriador de gas de ácido	E-9
Tanque de mezcla de MEA	D-14 ^a
Tambor separador de condensado	D-14B

Tabla 14. Listado de los equipos con códigos subproceso producción de vapor

PRODUCCION DE VAPOR	
Caldera de calor residual	WHB-1
Ventilador de tiro inducido	IB-1
Ventilador de tiro forzado	AB-1
Tambor de drenaje	D-37

Tabla 15. Listado de los equipos con códigos subproceso compresión.

COMPRESION	
Compresor multiservicio	CA-1 Y 2

Tabla 16. Listado de los equipos con códigos subproceso precalentado de gas de carga.

SINTESIS DE AMONIACO	
Filtro separador de aceite	D-12
Intercambiador de calor	E-19
Condensador secundario	E-20
Separadores secundarios de amoniaco	S-2 Y S-2 ^a
Tambor depresionador secundario	D-7
Convertidor de amoniaco	T-3
Condensadores primario de amoniaco	E-21A Y E-28B
Separador primario de amoniaco	S-1
Tambor depresionador primario	D-6
Tambor depresionador final	D-8

Tabla 17. de los equipos con códigos subproceso almacenaje de amoniaco.

ALMACENAJE DE AMONIACO	
Tanques de almacenamiento de alta presión	SR-7 Y SR-8
Tanques de baja presión	SR-1,2,3,4 Y 5
Sistema de bombeo	PC-3 Y 4 PA-1 Y 2

5.3.1 Preparación de gas de carga.

Tambores de carbón activado D-4A/B: Cada tambor contiene aproximadamente 82.5 ft³ de carbón, en una camada de 6'8" de espesor. Estos tambores permiten que el azufre contenido en el gas natural sea removido en su totalidad. Este paso es muy importante ya que los compuestos de azufre contenido en el gas natural deben ser removidos en su totalidad, para evitar el envenenamiento de los reformadores.

Estos equipos deben ser regenerados regularmente, en condiciones normales de operación la regeneración debe hacerse cada 8 días, realizándose por medio de una válvula de 1 ½ pulgada conectada a la salida, hasta una línea de vapor sobrecalentado, en donde se inyectan 700 lbs/h de vapor sobrecalentado en sentido contrario al gas a una presión de 100 psig.

Diámetro interno (D.I): 48"

Espesor: 5/8"

Longitud: 8' 7"

Dos cargas de carbón activado:

- C -8 -1- 02 Gránulos (Mesh 12 x30)
- C -18 -1 Gránulos (Mesh 4 x 10)

Volumen total: 82.5 ft³

Temperatura: 125 F

Presión: 265 psig



Figura 32. Tambores de carbón activado D-4A/B.

Precalentador de gas de carga (E-1): El gas natural fluye por el lado del casco, en donde se mezcla con vapor, esta mezcla se calienta aproximadamente a 715 F, por medio del intercambio de calor con el gas que fluye del reformador secundario por el lado de los tubos. La mezcla vapor – gas fluye hasta el reformador primario H-1, luego de pasar por el E-1.

Intercambiador de un solo paso, con 127 tubos

- Tubos: 3/4" OD.BWG 14, Longitud 12' - Presión: 200 Psi

Temperatura: 1025 – 350 °F

Mezcla de gases provenientes de 11 – 2

- Casco: 12.390" ID Y OD. 180" Espesor

Presión: 225 psi – Temp: 900°F

Se mezclan y precalientan vapor y gas que van al H-1

El controlador registrador de flujo FRC-2, opera la válvula FV-2, que se encuentra ubicada a la entrada del E-1, maneja la cantidad de vapor requerido en la inyección del E-1.



Figura 33. Pre calentador de gas de carga, E-1.

Reformador primario (H-1): Este equipo está construido por un casco de acero refractario y 48 tubos de aleación especial para resistir altas temperaturas, estos tubos están agrupados en 6 colectores de 8 tubos cada uno, montados en dos hileras paralelas, cada una de 3 colectores.

La mezcla vapor – gas, fluye hacia abajo por la sección tubular del reformador primario a una temperatura aproximada de 715 F, en donde se realiza la reacción de reforma en presencia del catalizador, el gas reformado debe mantener una temperatura cercana a 1375 F o tal que en el reformador secundario H-2 de aproximadamente 1620 F.

El calor requerido para que la reacción ocurra es suministrado por los quemadores de gas natural, situados en las paredes del horno. Cada pared tiene dos hileras de 12 quemadores cada uno con un total de 48 quemadores. El horno tiene una recamara en la parte central del piso, por donde pasan los gases de combustión hacia la caldera de calor residual WHB-1, cediéndole calor por un ductor al E-23.

Este horno debe precalentarse hasta obtener una temperatura uniforme cerca a 1450 F en los gases de combustión, durante la combustión se debe tener en cuenta que esta sea lo más uniforme posible, para no tener puntos calientes y alcanzar un sobrecalentamiento.

El gas combustible suministrado al reformador primario es registrado por el FR-6 y controlada con la estación manual de carga MLS-35, que opera la válvula FV-35, manteniendo la presión de 65 psig por medio del controlador de presión PIC-67, que opera a válvula PV-7, instalada en la línea de entrada de combustible

En caso de falla, los detectores de llama FFC-1-1 y FFC-1-2, los cuales hacen sonar la alarma FFA -1 en caso de falla, y a su vez actuar sobre las válvulas solenoides SV-61, SV-3 y SV-11, cortando los flujos de combustible, gas de proceso y aire respectivamente.

Horno tipo modular para la reforma del gas natural

- Consta de 6 módulos de 8 tubos cada uno
- Colector de cada modulo: 6.3/4" O.D
- Tubos: 4.5/8" O.D x 3.9/16" x 10' 7.1/16" largo (MK modificado)
- Consta de 48 quemadores distribuidos en dos filas en sus paredes laterales.
- Tubos: catalizador C – 11 – 9 03 anillos (1/2" x 1/4 x 3/16)

Volumen del catalizador: 29 ft³

Temperatura de los tubos: 1725 F – 1800 F.



Figura 34. Reformador primario, H-1.

Reformador secundario (H-2): Los gases calientes del reformador primario fluyen hacia el reformador secundario, en donde se completa la reacción de reforma. El oxígeno del aire al reaccionar se convierte en monóxido de carbono y dióxido de carbono, quedando el gas libre de oxígeno.

Este reformador está compuesto por una sección refractaria, una camada de catalizador de reforma a base de níquel, y en la sección de fondos una camada con anillos rasching de acero inoxidable.

A la entrada del reformador secundario, el gas entra a 1375 F, mezclándose con aire precalentado a 900 F, proveniente del precalentador E-23.

Esta reacción es exotérmica, aumentando la temperatura del gas aproximadamente a 2100 F, a medida que el gas reformado pasa por la camada del catalizador, se realiza la reforma total, produciéndose una reacción endotérmica, bajando la temperatura al fondo de la camada del catalizador hasta 1620 F, este catalizador es de 3 ft de espesor de anillos rasching de 1" de diámetro, en donde se agrega vapor para bajar la temperatura del gas reformado hasta 890 F.

Existen conexiones para controlar variables importantes en este equipo, tales como:

FRC-11: controlador de flujo de aire, opera la válvula FV-11.

FRC-63: Registrador controlador de flujo de vapor, opera la válvula FV-63.

FRC-43A: Registrador controlador de flujo de condensado. Operada por la válvula FV-43A.

HTA-6: Alarma de alta temperatura.

TRC-6: Registrado controlador de temperatura

Constitución

- Cono superior: Tiene cámara distribuida
- Cámara de reacción: Revestida internamente con refractario
- Camada de catalizador de 9' de C – 11 – 4 – 03.
- Anillos (3/4" x 3/4" x 3/8")

Carga: 90 ft³

- Bolas de alúmina de 1'1/2" de diámetro
- Cono inferior (de enfriamiento), camada de 3' de anillos rasching de 1' de diámetro.

Altura total: 26' y diámetro mayor 5'4" OD.

Presión: 200 psi

Temperatura: 650 F.



Imagen 1. Reformador primario.

Convertidor de CO₂ (D-2): En este equipo se lleva a cabo la conversión de monóxido de carbono a dióxido de carbono, el gas de carga es enfriado en el precalentador de gas de carga E-1 a 700 F, para luego fluir hasta el D-2, el cual está compuesto por dos secciones:

1ª sección: en la camada se contiene una capa de 7' 6'' de catalizador de alta temperatura, el cual convierte la mayor parte de monóxido de carbono en dióxido de carbono, con desprendimiento de hidrogeno. Este gas parcialmente convertido es enfriado en el intercambiador de calor E-3 y en el tambor de condensado D-3,

para luego fluir a la sección inferior. La reacción que ocurre en el convertidor de alta temperatura es altamente exotérmica, produciendo un aumento de temperatura en la camada del catalizador de aproximadamente 80 F.

2ª sección: En esta sección se encuentra la camada del catalizador de baja temperatura de 9' 8'', el cual trabaja a una temperatura máxima de 500 F a la entrada, se debe trabajar a la temperatura más baja posible para aumentar su tiempo de vida, normalmente se emplean temperaturas aproximadas a 300 F; teniendo en cuenta estas condiciones el remanente de monóxido de carbono proveniente en la corriente de gas del D-3 es convertido en dióxido de carbono. Esta reacción es exotérmica, conllevando a un aumento de temperatura aproximadamente de 40 F.

Recipiente dividido en dos secciones de 10'6" y 14" y 3" respectivamente.

Diámetro interior: 66 pulgadas.

- Sección superior: Camada de catalizador C – 12 – 1 – 02 y C – 12 – 1 – 05 de 7'6" y una bolsa de alúmina de 3" de alto.

Carga total: 180 ft³

- Sección inferior: Camada catalizador C – 18HC (tabletas) de 9' 10" y una de las bolas de alúmina de 3" de alta.

Presión Max de trabajo: 200 psig.

Temperatura máx. Parte superior: 850 F.

Temperatura máx. Parte inferior: 700 F.



Figura 35. Convertidor de CO.

Intercambiador de calor de convertidor (E-3). El gas saliente del convertidor de alta temperatura, debe ser enfriado antes del fluir hacia el convertidor de baja temperatura: dicho enfriamiento se realiza en dos etapas, la primera etapa es a través del intercambiador de calor E-3, en donde intercambia calor con el gas proveniente de la torre absorbadora T-1

El gas reformado ingresa por el lado de los tubos del E-3 a 780 F , saliendo subenfriado a 660 F , cediendo el calor al fluido que va por el lado del casco hacia el metanizador, el cual tiene un aumento de temperatura de 120 F a 525 F.

Intercambiador de un solo paso, con 12° tubos

➤ Tubos: 3/4" OD. BWG 14, P.200 psi

Temperatura: 625°F

Gases que salen del D-2^a y pasan al D-2B

- Casco: 12.09" ID. Y 330" espesor y 7' 11 ¼" Longitud

P: 200 Psi

T.625°F

Gas de síntesis que viene de la T-1

Tambor de enfriamiento del convertidor (D-3). En este equipo se lleva a cabo la segunda etapa del enfriamiento del gas de proceso, a través de su mezcla con condensado, permitiendo que el gas tenga a la salida una temperatura de 660 F. Para poder alcanzar esta temperatura, el gas de proceso pasa a través de una camada de 2 ft de anillos rasching, con dimensiones de 1-1/2" x 1-1/2" fabricados en material de acero inoxidable, estos entran en contacto con el condensado impulsado por la bombas P-2A/B, permitiendo la disminución de temperatura hasta las condiciones deseadas. Es aquí donde se le adiciona el agua necesaria para complementar la reacción de conversión en el convertidor de baja temperatura.

Tambor enfriador de 18" OD, 3/16" espesor, 6' longitud

- Boquilla de atomización interna y una camada de 2 ft de anillos rasching de 1 ½" x 1 ½" de acero inoxidable.

Presión: 200 psig.

Temperatura: 350 F.

El registrador del flujo FR-5, indica el flujo de condensado al tambor de enfriamiento, el cual está controlado por el registrador controlador TRC- 126,

operado por una válvula TV- 126, la cual se encuentra conectada en la entrada de la línea de condensado.

Separador de condensado (D-10). El vapor inyectado a través de la boquilla de atomización, se evapora a través del enfriamiento del gas; pasando por el haz de tubos del rehervidor cediendo calor a la corriente de MEA, siendo este vapor removido en el separador D-10. El gas libre de condensado fluye hasta el E-4, mientras que el condensado es succionado por las bombas P-2A/B hasta el reformador secundario H-2, actuando como refrigerante también en el tambor de enfriamiento D-3, y la boquilla de atomización E-6.

El nivel en el D-10 se mantiene mediante el CD-3, un alto nivel en el separador es indicado por los switch L-1-1 y LS-1-2, los cuales activan las alarmas HLA-1 y LLA-1 el cual es un drenador continuo; el exceso de agua es enviada a la planta de agua desmineralizada.



Figura 36. Separador de condensados.

Bombas de condensado (P-2A/B). Son las encargadas de bombear el agua de enfriamiento del proceso; en operación normal una está en servicio y otra se encuentra con las válvulas abiertas lista para cualquier eventualidad de falla. Estas dos bombas son fundamentales ya que impulsan el condensado de enfriamiento hacia el H-2, D-3 y el E-6, teniendo en cuenta que estos equipos tienen conectadas líneas de emergencia de condensado en caso de alguna falla en la línea principal. Las características principales son:

Fluido: Condensado

Presión Succión: 2 Psig

Presión Descarga: 200 psig

Temperatura Succión: 300°F

Capacidad: 20 G.P.M

Potencia Motor: 7.5 HP

Velocidad: 3500 R.P.M



Figura 37. Bombas de condensado.

Enfriador de gas de proceso (E-4). Aquí se lleva a cabo la última parte de enfriamiento del proceso, desde el D-2 (convertidor de CO) hasta la T-1 (absorbedora de CO₂), efectuándose este en el E-4. En este intercambiador, el gas de proceso fluye por el casco a 235 F, enfriándose hasta 120 F con agua de enfriamiento que fluye por los tubos. El condensado formado es drenado a través del CD-2 a la alcantarilla.

Haz tubular es de tipo cabezal flotante con 161 tubos

- Tubos: 3/4" O.D BWC16, Longitud 16' - Presión: 75 Psig

T: 250°F

Fluido: Agua

- Casco: 14 3/4 " x 1 3/16" espesor

Presión casco: 200 Psig – T casco: 230 °F

Gas de proceso sufre enfriamiento alrededor de 120 °F

Absorbedora de CO₂, (T-1). El gas de proceso ingresa por el fondo de esta torre, atravesando una camada de sillas intalox de 25 ft de espesor, para salir por la cima de la torre.

El gas de proceso al entrar a la torre, hace contacto con la solución MEA (monoetanolamina), la cual fluye en contracorriente absorbiendo el dióxido de carbono contenido en el gas.

De la torre T-1, salen donde corrientes:

Corriente de MEA rica en CO₂: Sale de los fondos de la torre por gravedad hacia la cima de la torre regeneradora T-2.

Corriente de gas frío: Sale por la cima de la torre absorbadora, hacia el intercambiador E-3, en donde adquiere las condiciones necesarias para ingresar al metanizador D-1.

Características físicas:

54" I.D x 5/8" x 36' 10" Longitud

Internamente tiene una camada de 31: Sillas de cerámica

Intalox de 1 ½", además un distribuidor de MEA pobre y en la parte inferior el soporte de la camada de sillas.

Presión: 154 Psig –Temp: 125°F



Imagen 2. Enfriador de gas de proceso.

Metanizador (D-1). El gas sale de la torre absorbadora a 120 F, calentándose en el intercambiador de calor E-3 por el lado del casco. El gas entra por la cima del metanizador a través de una camada de catalizador de metanización de 6´7" de espesor.

Este equipo se encarga de retirar toda la cantidad de monóxido de carbono y dióxido de carbono remanente en el gas de proceso, que no haya sido removido en los convertidores ni en la torre absorbadora, estos serán convertidos en metano. Esta reacción es exotérmica, por lo tanto se genera un aumento de la temperatura a través de la camada del catalizador de 40 F.

Existe un control de alta temperatura, el cual está operado por la alarma HTC-55-8, dando aviso al switch automático, el cuál cerrará las válvulas de entrada al metanizador TV-95-1 y la TV-95-3 que es la válvula de entrada al D-9. Abriendo la válvula de pase TV-95-2, de tal modo que el metanizador queda en modo de pase cortando el flujo de gas a los compresores. También es necesario controlar la presión, la cual es medida por el PIC-22, el cuál actúa sobre la válvula PV-22.

Diámetro interno.48"espesor: 7/16"

Longitud: 8'7"

- Camada del catalizador: C-13-4-04(Esferas)

Carga total: 85 pies cúbicos

Presión: 200 psi - Temp: 650°F

Función: Conversión de CO Y CO₂ en Metano (CH₄)

Enfriador de gas de síntesis (E-5). El gas de proceso que sale del metanizador fluye por el lado del casco de este intercambiador de calor, enfriándose hasta 105 F, permitiendo el intercambio de calor con el agua de enfriamiento que fluye por los tubos. Al formarse condensado este es removido a la alcantarilla.

Intercambiador de cabeza flotante con 154 tubos

- Tubos: ¾" O.D. BWG14, Longitud 16' - Presión: 70 psig

Temperatura: 600 F

- Fluido: Agua
- Casco: Longitud 15'7 3/8" I.D. x 5/16" espesor

Presión: 200 psig - Temperatura: 650 – 350 F

Fluido: Gas de síntesis.

Tambor de succión de los compresores (D-9). El gas de síntesis está formado por hidrógeno y nitrógeno en una proporción de 3/1, mas una cantidad de metano y argón. El cuál llega desde el enfriador E-5 hasta el tambor de succión de los compresores D-9, en donde se separa cualquier cantidad de condensado presente en el gas. La presión de succión en los compresores se mantiene a 148 psig, a través del indicador controlador de presión PIC-22, el cual controla las válvulas PV-22, protegido por la válvula de seguridad RV-7, calibrada para que se dispare a 180 psig.

5.3.2 Sistema de MEA Girbotol. Encargado de la depuración y recuperación de gases ácidos tales como el dióxido de carbono, los cuales son removidos del gas al entrar en contacto con la solución de aminas alifáticas. A su vez estos gases son removidos de la solución de MEA por medio de una regeneración con calor, ya que las sales de aminas se disocian fácilmente de los ácidos débiles en presencia del calor para poder ser usada nuevamente la solución MEA.

El agente utilizado en la solución MEA es monoetanolamina en una concentración de 15% - 17%.

Al pasar el gas de proceso por la torre absorbadora de CO₂, saldrán dos corrientes que son la solución MEA pobre, que fluye del fondo de la regeneradora T-2 hasta los intercambiadores E-8 A/B por el lado de cascos. Mientras que la MEA rica fluye hacia la regeneradora T-2 enfriándose de 230 F a 205 F, teniendo otra etapa de intercambio de calor, para disminuir su temperatura con ayuda del agua de enfriamiento que pasa por el lado tubos en los intercambiadores E-7A/B.

La solución MEA pobre es impulsada hasta la torre T-1 por las bombas P-1A/B, la cual bombea en operación normal 370 GPM, controlando este flujo con el registrador controlador FRC-19, que actúa sobre la válvula FV-19. Esta solución fluye hasta el fondo de la absorbadora de CO₂ a través de un cabezal, el cual asegura su distribución uniforme. Este solución va en sentido contrario con el gas de proceso, y de este modo absorbe el CO₂, ocasionan una reacción exotérmica y

un aumento de temperatura en el fondo de la camada de la torre absorbadora de 150 F.

Al fondo de la torre absorbadora, tendrá la salida la solución de MEA rica en CO₂, la cual se dirige, hacia el intercambiador de calor E-8A/B por el lado de tubos, para aumentar su temperatura a 200 F, con el intercambio de calor de la solución de MEA pobre que sale de la torre regeneradora. Luego la solución de MEA rica fluye hasta la cima de la regeneradora, la cual es controlada por una válvula (LV-2), que no permite que el CO₂ se separe antes que entre a la torre, esta solución también debe ser distribuida uniformemente sobre la camada de las sillas intalox, en donde se calienta mas debido al flujo de vapor que es adicionado en sentido contrario, el CO₂ junto con el vapor salen por la cima de la torre aproximadamente a 210 F, el cual inmediatamente pasa a través del intercambiador de ácido (E-9), en donde el vapor se condensa y el ácido se enfría a 120 F.

El CO₂ es depositado en el tambor D-14 B, separando cualquier condensado que este contenga para luego fluir hasta los gasómetros, estos condensado que salen del E-9, son recirculados a la regeneradora, para mantener un nivel constante y controlar la temperatura en la cima.

El gas va descendiendo hasta acumularse en un plato en el fondo de la regeneradora, para luego pasar al rehervidor de MEA (E-6), por el lado de casco, hasta llegar al punto de ebullición, para generar vapor, el cual fluye a la cima de la torre calentando la solución descendente. El calentamiento se realiza a través del uso del calor residual proveniente del convertidor de CO de baja temperatura. En el fondo de la regeneradora la solución de MEA fluye, en donde se acumula completando el ciclo.

Intercambiador de MEA (E-8A/B). Contribuye a la transferencia de calor necesaria para el proceso Girbotol y evitar la separación de CO₂ antes que el gas entre a la T-2. La solución de MEA pobre, fluye al fondo de la regeneradora pasando por el lado de casco enfriándose de 230 F a 205 F transfiriéndole calor a

la solución de MEA rica. Este equipo está protegido por una válvula (RV-17), la cual se dispara a 180 psig.

Intercambiador de 290 tubos

- Tubos: $\frac{3}{4}$ " O.D B.W.G 16, longitud 10' E-8B(BWG14)

Presión: 180 psig – T 250 F.

Fluido: MEA rica hacia la T-2.

- Casco: 19 $\frac{3}{4}$ " I.D y $\frac{3}{8}$ " espesor

Presión: 75 psig – T: 450 F

- Fluido: MEA pobre que va a las bombas de MEA.



Imagen 3. Intercambiador de calor de MEA.

Enfriadores de solución (E-7A/B). la solución de MEA pobre sub - enfriada del E-8A/B, fluye por el lado de tubos de los enfriadores de solución E-7A/B, esta

solución se enfría hasta 120 F, por medio del intercambio de calor con el agua de enfriamiento que pasa a través del casco.

A través de la válvula de seguridad RV-9, calibrada para activarse a 75 psig, operando el sistema de agua de enfriamiento

Intercambiador de 360 tubos

- Tubos: 1" O.D., BWG 14, longitud 19' 8"

Presión: 75 psig – Temperatura: 450 F.

Fluido: Solución de amina (MEA).

- Casco: 27.26" I.D. B: 28.94"

Presión: 75 psig – Temperatura: 450 F.

Fluido: Agua.

- Tubos: catalizador: C-11 – 9 – 3 anillos (1/2" x 1/4" x 3/16")

Volumen del catalizador: 29 ft³

Presión: 212 psig.

Temperatura de tubos: 1725 – 1800 F.

La reforma del gas es ayudada por la presencia del catalizador.



Imagen 4. Enfriadores de solución.

Bombas de MEA (P-1A/B). Normalmente una está en servicio y la otra lista para cualquier eventualidad; pero durante el arranque inicial es necesario que ambas estén en servicio para que la bomba auxiliar retorne la MEA rica de la T-1 a la T-2 y de esta manera establecer la recirculación.

Fluido: Solución de Monoetanol Amina 18%(MEA)

Presión Succión: 2 Psig.

Presión descarga: 206 Psig

Temperatura Succion.120 °F

Capacidad.370 G.P.M

Potencia Motor: 75 HP

Velocidad: 3550 RPM



Imagen 5. Bombas de MEA.

Absorbedora de CO2 (T-1). La solución de MEA pobre fluye por la cima de la absorbedora, siendo controlado este flujo por la FRC-19, operando la válvula FV-19; en caso que el flujo baje a 94 G.P.M, el switch FS-19, activará la alarma de flujo bajo LFA-19.

La solución de MEA pobre entra por la cima, fluyendo a través de un distribuidor, que asegura la homogeneidad de líquido sobre la camada de las sillas intalox. Esta solución fluye hacia el fondo de la camada absorbiendo todo el CO2 de la corriente que fluye en contracorriente hacia el metanizador. La solución de MEA rica, es depositada en el fondo de la T-1 para luego fluir a la cima de la T-2.

El nivel en el fondo de la absorberbedora es controlado por medio de la válvula LV-2, la cual está localizada en la línea de la entrada de la torre regeneradora. Mientras que el nivel en la abosorbedora está indicado por el indicador de nivel L-1-2, en caso de un bajo nivel, se activará el switch LS-2-1 ó L-S-2-2, el cual hará sonar la alarma de alto o bajo nivel HLA-2 ó LLA-2 respectivamente.

Para controlar la presión a 200 psig, está instalad una válvula de seguridad calibrada (RV-5).



Imagen 6. Absorbedora de CO₂.

Regeneradora de MEA (T-2). La solución que sale de la absorbedora de CO₂ a 150 F, es calentada hasta 200 F al pasar por los tubos de los intercambiadores de calor E-8A/B. La solución de MEA rica caliente llega hasta la cima de la regeneradora de MEA T-2 por diferencia de presiones, esta fluye a través de la camada entrando en contacto con el vapor que fluye hacia arriba, saliendo una mezcla de gas y vapor por la cima de la regeneradora. La MEA pobre es recolectada en un plato localizado directamente debajo de la camada de sillas intalox, para luego fluir al rehervidor de MEA E-6.

Para la inspección de la torre se instalaron unos lagrimeos, a su vez, el equipo se encuentra protegido por una válvula de seguridad calibrada para que se accione a

30 psig. Para mantenerla en buen estado y evitar la corrosión, la torre fue revestida interiormente con láminas de acero inoxidable.

Torre: 72" I.D * 3/8" espesor y 41' de longitud

- Cabezas elípticas de 1/2" de espesor
- Internamente tiene una camada de sillas intalox
- Parte inferior, debajo del soporte de las sillas dos chimeneas, parte inferior, debajo del soporte de las sillas dos chimeneas, parte inferior, debajo del soporte de las sillas dos chimeneas.

Mayor: 24" O.D Y 3' 4 1/2" Altura

Menor: 12 3/4" Y 3' 1/2" Altura

Presión interna.30 Psig – Temperatura: 450° F

Presión externa: 75 Psig.



Imagen 7. Regeneradora de MEA.

Rehervidor de MEA (E-6). En este equipo la solución de MEA pobre que fluye por el lado del casco, llega hasta su punto de ebullición generando vapor, por medio del intercambio de calor con el gas de proceso que pasa a través de los tubos del rehervidor. El vapor que se desprende de esta solución fluye hasta la cima de la regeneradora para calentar la solución, contribuyendo a alcanzar las condiciones necesarias para la separación del CO₂, retornando la MEA pobre al fondo de la regeneradora.

Hay una platina de decantación instalada en el rehervidor, para asegurar que los tubos por los cuales pasa el gas caliente, siempre estén recubiertos con la solución de MEA pobre.

El fondo de la regeneradora funciona como lugar de abastecimiento para el sistema. En caso de alto o bajo nivel allí, se activará el switch LS-5-1 ó LS-5-2, que harán sonar las alarma HLA-5 ó LLA-5 respectivamente.

Características físicas:

Haz tubular con 225 tubos en U y 21' 10 5/8" de longitud.

- Tubos: 3/4" de diámetro BWG16 soldadas. Fluido: Mezcla de gas de proceso.

Presión: 150 psig. Temperatura: 365 psig.

- Casco: cono – casco – cabeza. El cabezal del haz tubular tiene 28 3/16" x 2'3/16" espesor.

Presión: 75 psig. Temperatura: 400 F.

- Fluido: Monoetanol Amina (MEA).

Enfriador de gas de ácido (E-9). Es encargado de enfriar la solución proveniente de la T-2 al casco del E-9, intercambiando calor con el agua de enfriamiento, permitiendo que el vapor se condense, y enfriando el dióxido de carbono de 210 F a 120 F.

El dióxido de carbono, fluye hacia los gasómetros, hasta el tambor de condensado D-14B, siendo descartados los condensados al piso.

La presión del sistema se controla por medio del indicador PIC-23, que opera la válvula PV-23, estos equipos se encuentran localizados en la línea de salida del CO₂, permitiendo mantener una presión de 9 psig en el fondo de la regeneradora.

Tanque de mezcla (D-14). Se realiza el cargue de la solución de MEA, en donde esta se adiciona directamente de los tambores, agregándole agua desmineralizada hasta encontrar la concentración deseada.

Tambor separador de condensados (D-14B). Se encuentra ubicado en una zona aledaña a la planta, en donde se separan los condensados mezclados con la corriente de CO₂, antes que esta sea enviada a los gasómetros; en caso que el sistema necesite ser desocupado, también se puede almacenar a solución MEA.

En el caso de cargar la MEA de nuevo al sistema, se utiliza la bomba P-38, que descarga la solución en el fondo de la torre regeneradora T-2 o en el tanque de mezcla D-14A.



Imagen 8. Tambor separador de condensados.

5.3.3 Producción de vapor. El vapor necesario para complementar el proceso de producción de amoníaco en la planta, es suministrado a través de la caldera residual, que aprovecha el calor residual de los gases de combustión del reformador primario H-1.

Los gases de combustión pasan a través de la caldera WHB-1 con ayuda del ventilador de tiro inducido IB-1, para finalmente ser enviado a la atmosfera. Para el arranque o cuando sea necesaria una producción adicional de vapor, están instalados un quemador auxiliar y un piloto.

Los principales componentes en este sistema son:

Caldera de calor residual (WHB-1). Los gases de combustión provenientes del reformador primario, aproximadamente a 1880 F, pasan hacia la caldera a través de un ducto localizado en la parte posterior del H-1, en donde transfiere calor al serpentín del calentador de aire E-23, para finalmente pasar a través de la caldera y convertir el agua desmineralizada en vapor a 250 psig, el cual es direccionado hacia el cabezal de vapor para luego ser distribuido hacia los diferentes equipos.

Estos gases de combustión salen de la caldera y entran al economizador HE-1 donde ceden calor al agua de alimentación de la caldera, finalmente salen a la atmósfera aproximadamente a 450 F.

Está compuesto por:

- Cámara de radiación (Hogar): Quemador, lleva 48 tubos de 2" de diámetro exterior, 0.109" de espesor, soldados.
- Cámara de convección: 612 tubos verticales de 2" O.D
- Economizador: Tiene 3 serpentines horizontales de 18 pasos cada uno de 2"O.D
- Colectores de lodo: Dos tambores de 16" O.D., Longitud 21'3".
- Tambor de vapor: 42" O.D Longitud de 23' 3 ½"

TIRO INDUCIDO: Un ventilador, equipado con con motor de 75 H.P Y 7 correas en V.

TIRO INDUCIDO: Un ventilador con motor de 7.5 H.P.

Presión de trabajo: 240 Psig.

La caldera trabaja con el gas de residual del reformador primario que es traído por el IB-1 a una temperatura =1880°F

Agua llega al economizador a 95°F y de allí se lleva a 250°F donde pasa a los tubos para ser convertidos en vapor.

Para el control y conocimiento de las variables presentes tiene instalado en sus líneas los siguientes componentes adicionales:

FR-12: Registrador de flujo de la producción de vapor.

PRC-162: Controlador registrador de presión.

LIC-20: Indicador controlador de nivel, en el suministro de agua de alimentación.

LV-20: Válvula en la línea de entrada de agua.

LS-20-1 ó LS-20-2: Switch alto o bajo nivel de agua.

HLA-20 ó LLA-20: Alarma de alto o bajo nivel.

LS-20-3: Switch de nivel

SV-162 – SV-114- SV-61: solenoides de flujo de gas al quemador auxiliar, gas al piloto de la cadera, gas combustible al reformador primario.

PIC-41: Controlador indicador de presión en el cabezal de vapor.

PV-41: Válvula de cabezal de vapor.

FV-66: Válvula de vapor en la red general.

FI-66: Indicador de vapor de exportación.

PV-95: Válvula de excesos de vapor en el cabezal general.

RV.3: Válvula de seguridad de gases de purga, calibrada a 55 psig.

RV-62A y RV-62B: Válvula de seguridad de la caldera, calibradas a 275 y 270 psig respectivamente.



Imagen 9. Caldera de calor residual.



Imagen 10. Parte posterior de caldera de calor residual.

Ventilador de tiro inducido (IB-1). Ayuda a que los gases de combustión del reformador primario, pasen a través de la caldera para luego ser enviados a la atmosfera.

MLS-51: Estación manual de cargue del control de tiro.

DV-51: Válvula mariposa para la descarga del ventilador de tiro inducido.

DI-51: Indicador de tiro.



Imagen 11. Ventilador de tiro inducido.

Ventilador de tiro forzado (AB-1). Controla la relación gas – aire en el quemador auxiliar, este ventilado recibe la señal de PRC-162. Otros componentes para el manejo de este equipo son:

PS-163: switch de baja presión de aire.

LPA-163: Alarma de baja presión de aire.

SV-114: Válvula solenoide de entrada de gas combustible a la caldera.

Tambor de drenaje (D-37). Este tambor recibe el drenaje continuo del tambor de vapor de la caldera y los drenajes intermitentes de los tambores de lodos. La corriente líquida es desechada a la alcantarilla y el vapor ventado a la atmósfera, por medio del separador de exhosto EH-37, el cual es enfriado con agua, manteniendo un nivel de condensado de vapor.



Imagen 12. Tambor de drenaje.

5.3.4 Compresión. En el proceso de producción de amoníaco, son necesarios cuatro compresores:

Dos Compresores multiservicio White Superior: Superior de 1500 Hp y 900 rpm cada uno, estos son movidos por motores eléctricos, alimentados a una corriente de 4160 V, la corriente máxima a plena carga es de 169 A, la corriente de

excitación es de 1.4 A, 60 V. Utilizado para comprimir gas de síntesis, gas de reciclo, aire y amoniaco de refrigeración.

Compresor multiservicio Clark: de 1000 HP y 600 rpm movido por un motor a gas de cuatro tiempo, 12 cilindros divididos en dos bancadas, tiene un turbo – cargador movido por gases de combustión, además de un sistema de lubricación y enfriamiento con agua desmineralizada en sus camisas para aumentar la eficiencia de su operación. Comprime gas de síntesis, aire y amoniaco de refrigeración.

Compresor de reciclo Clark: de 200 HP movido por un motor eléctrico. Comprime gas de reciclo.

Para el mantenimiento y buen funcionamiento de estos compresores, la lubricación juega un papel importante; esta se hace por medio de una bomba de aceite acoplada al cigüeñal. Las alarmas LPA-25A/B/C se activarán en caso de baja presión en el sistema de lubricación, se considera baja presión por debajo de 10 psig, en donde se actúa el switch PS-25A/B/C parando la máquina en donde sucede la falla.

Las funciones en la compresión son:

- Compresión de gas de síntesis: el gas de síntesis es succionado del tambor separador de condensado D-9 a 110 F y 150 psig, esta corriente se divide en 3 flujos iguales pasando a través de las cuatro etapas de compresión con enfriamiento entre etapas, siendo descargado a 4950 psig.

Este gas es analizado por el analizador de gases GAR-1, determinando la cantidad de hidrógeno presente y así ajustar el controlador registrador de aire para mantener una relación 3/1 de Hidrogeno – Nitrógeno.

Cada etapa de compresión de la síntesis de amoniaco tiene una botella separadora en la succión y en la descarga, el gas fluye por el lado de los

tubos situados en los inter – enfriadores colocados después de la botella separadora de la descarga, en donde cede calor al agua de enfriamiento antes de llegar a la botella separadora de la succión en la siguiente etapa de compresión. El aceite y el condensado de cada etapa son drenados a la alcantarilla. Finalmente el gas de la 4^{ta} etapa sale a 100 F y 4950 psig, el cual se combina con el gas de reciclo para luego fluir hasta el filtro de aceite D-12.

La capacidad de los compresores White Superior, es controlada por medio de los bolsillos variables localizados entre la primera y segunda etapa. Los equipos de medición utilizados en esta sección son:

PS-29A, PS-29B, PS-29C: Switch de baja presión.

LPA-29A/B/C: Alarmas de baja presión

PS-29-1A, PS-29-1B, PS-29-1C: Switch de baja presión, parada de compresores de multiservicio.

PIC-33: Controlador Indicador de presión.

PV-33: Válvula de presión, situada en la línea de 2” que se desprende de la descarga de la 4^{ta} etapa de compresión y la entrada del tambor separador de condensado.

MLS-33: Cargue manual de gas de reposición.

RV-39: Válvula de seguridad, calibrada a 180 psig.

- Compresión de aire: el aire utilizado para el proceso, primero es filtrado y purificado, para luego pasar a los compresores White Superior, en donde es comprimido a través de 3 etapas hasta 200 psig, con enfriamiento entre cada una de ellas. Cada etapa tiene botellas separadoras en la succión y descarga. En a primera y segunda etapa de compresión el aire es enfriado con un intercambiador de calor, cediéndole calor al agua de enfriamiento,

esto se realiza antes que el gas ingrese a la botella separadora de succión de la etapa siguiente.

La capacidad de los compresores White Superior, es controlada por medio del bolsillo variable en la primera etapa.

Aire comprimido de descarga de la tercera etapa: Pasa al tambor de aire D-5, allí la presión es controlada por el PIC.11, que opera la válvula PV-11 dirigiendo el exceso de flujo de aire a la atmósfera a través del silenciador MV-2.

Aire de la segunda etapa de compresión: pasa al separador de aire D-5 en donde se mezcla con el aire que sale de los compresores White Superior.

Cada una de las etapas está protegida, por una válvula de seguridad calibrada para activarse a la presión de trabajo de cada etapa.

- Compresión de amoníaco de refrigeración: Esta corriente proviene del tambor D-32 y pasa por una etapa de compresión, con refrigeración en la succión y descarga de las botellas separadoras.

Después de pasar por la etapa de compresión, los vapores de amoníaco fluyen a una presión de 225 psig por el lado del casco del intercambiador de calor E-22, en donde cede calor al agua de enfriamiento que pasa por el lado de los tubos, es aquí en donde se condensa el amoníaco.

El amoníaco condensado fluye hasta el tambor acumulador de amoníaco D-11, este pasa por el lado del casco del condensador secundario E-20, en donde la evaporación del amoníaco refrigerante produce la condensación del amoníaco producido que pasa por los tubos. Los gases de amoníaco

refrigerante pasan a través del separador D-32 antes de entrar a la succión del compresor.

Implementos adicionales como los descritos a continuación, son necesario para que esta compresión sea implementada a cabalidad:

LC-13: Controlador de nivel de amoniaco en el condensador secundario.

LV-13: Válvula operada por el LC-13, localizada en la línea de salida del amoniaco.

D-11: Tambor de amoniaco.

D-8: Tambor depresionador de amoniaco de reposición.

LS-12: Switch de alto nivel en el tambor separador.

HLA-12: alarma de alto nivel.

Adicionalmente para mantener una presión constante en las etapas de refrigeración de los compresores multiservicios, está equipada por un control automático de capacidad de tres etapas, instalados en el tablero de control.

La capacidad de cada uno de los compresores White Superior se controla por medio de un bolsillo variable que tiene cada etapa. Para el arranque inicial de estos compresores, las camisas de enfriamiento de la etapa de refrigeración son llenadas con Etylene Glycol sirviendo como anticongelante.

Cada uno de los equipos está protegido por válvulas de seguridad calibrada a 250 psig.



Imagen 13. Compresor multiservicios

5.3.5 Síntesis de amoníaco. La mezcla comprimida de gas de reciclaje y gas de síntesis fluye a través del separador de aceite D-12, removiéndose el aceite y el agua del gas. Este gas llega al intercambiador de calor E-19 por el casco, en donde se enfría desde 110 F hasta 56 F, con el gas frío que viene de los separadores S-2 A/B fluyendo por el lado de los tubos.

El gas que sale por el lado del casco del E-19, ingresa por el lado de tubos del E-20 y fluye por el lado de los tubos del segundo condensador de amoníaco E-20, en donde su temperatura disminuye hasta 45 F, permitiendo la condensación de la mayor cantidad de amoníaco, por medio de la evaporación del amoníaco refrigerante que circula por el lado del casco del E-20.

Los separadores secundarios de amoníaco S-2A/B, separan el amoníaco de la corriente de gas, antes que el gas fluya por el intercambiador de calor E-19 para calentarse hasta 90 F, por intercambio de calor con la mezcla de gas de síntesis.

El gas de síntesis que sale por los tubos del E-19, fluye hacia el convertidor de amoníaco T-3, reaccionando el hidrógeno y el nitrógeno para la formación de amoníaco. Aquí hay un intercambio de calor entre los gases fríos que fluyen por la camisa y el gas que atraviesa la camada del catalizador, saliendo el gas a una temperatura de 390 F, para luego enfriarse hasta 105 F en los condensadores primarios de amoníaco E-21A/B, por medio del intercambio de calor con el agua de enfriamiento que circula por el lado del casco. La mezcla de gas de síntesis fluye al separador primario -1, en donde se separa el amoníaco del gas de síntesis, este último es direccionado hacia los compresores para ser utilizado como gas de reciclo, y como gas de purga para controlar los gases inertes (metano, argón) del sistema.

El amoníaco líquido de los separadores primarios y secundarios, fluyen por los tambores depresionadores, en donde el D-6 se controla a 885 psig, el D-7 disminuye la presión a 485 psig y el D-8 hasta 285 psig, en cada etapa de depresión se forman gases disueltos en amoníaco líquido, estos son llevados hasta el cabezal de gas combustible de la caldera o venteados a la atmósfera.

El amoníaco líquido que sale del último tambor depresionador D-8, es dirigido hacia la sección de almacenaje de amoníaco.

Los equipos principales presentes en el proceso de síntesis de amoníaco son:

Filtro separador de aceite (D-12). Este equipo está construido con un filtro de recipiente metálico de acero inoxidable, el cual remueve del gas el carbamato de amonio y el aceite. Se deben tener condiciones dadas de temperatura y presión para que el remanente de óxidos de carbono presentes en el gas de síntesis que

sale del metanizador, reaccionen con el amoniaco y forme el carbamato de amonio

Intercambiador de calor (E-19). intercambiador de calor de tubos concéntricos, el gas que fluye por el lado del casco a 110 F, disminuye su temperatura hasta 56 F, por el intercambio de calor del gas frio que sale de los separadores secundarios S-2A/B a 45 F y calentándose hasta 90 F antes de entrar al convertidor de amoniaco.

Condensador secundario (E-20). El gas que sale por el lado de casco del E-19, fluye por el lado de tubos del E-20 para ser enfriado a 45 F, permitiendo que la mayor cantidad de amoniaco presente en el gas de síntesis y de reciclo sea condensada, debido al enfriamiento con amoniaco refrigerante que fluye por el lado de casco del condensador secundario E-20.

Se requiere que en este paso sea condensado del 50% - 60% de amoniaco presente en el gas, a su vez separando el agua y el aceite, para que no dañe el catalizador del T-3, también es necesario dejar un remanente de amoniaco para que sirva de control de temperatura en el convertidor de amoniaco.

Es Intercambiador con 49 tubos en U

- Tubos: ¾" de OD., longitud 20 ft

Presión: 5400 psig. Temperatura: 350 F.

- Fluido: Gas de síntesis y reciclo.
- Casco: 20" de OD., espesor 3/8".

Presión: 250 psig. Temperatura: 450 F.

- Fluido: Amoniaco refrigerante.

Este equipo está controlado por:

LC-13: Controlador de nivel de amoniaco refrigerante.

LV-13: Válvula de nivel de amoniaco refrigerante.

RV-11A/B: Válvulas de seguridad calibradas a 250 psig.

Disco de ruptura por el lado del casco para 250 psig.



Imagen 14. Condensador secundario.

Separadores secundarios de amoniaco (S-2A/B). Por el lado de los tubos del condensador secundario E-20 sale una mezcla de amoniaco con gas de síntesis, esta fluye por los separadores secundarios conectados en paralelo, los cuales separan el amoniaco liquido de la corriente de gas. Las características físicas de este equipos son:

Capacidad: 10 GPM

Presión: 5400 psig

Temperatura: 100 F

Equipos adicionales a estos separadores son:

LC-14A: Controlador de nivel

LV-14A: Válvula de control de nivel.

LS-14-1 ó LS-14-2: Switch de alto o bajo nivel.

HLA-14 ó LLA-14: Alarmas de alto o bajo nivel.

LI-14: indicador de nivel instalado en el tablero de control.

Se encuentra instalada una mirilla para indicar los niveles cuando están a un 25%, 50% y 75%.

Convertidor de amoniaco (T-3). Está conformado por tres principales componentes:

- a. Calentador eléctrico de arranque.
- b. Camada de catalizador.
- c. Intercambiador de calor.

Se usa dos tipos de catalizador: KMR-1 Y KMR-2.

Camada total del catalizador debe tener un espesor de 21 pies 2-1/4 pulgadas.

El gas antes de entrar al convertidor es analizado por el GAR-2 (analizador registrador), para determinar la cantidad de hidrógeno y nitrógeno presente en la corriente del gas.

El gas de síntesis que sale del intercambiador de calor E-19, entra por la parte superior del convertidor para luego fluir por la camisa de este hasta el fondo, y entrar por el lado del casco del intercambiador de calor localizado en la parte inferior del convertidor para calentarse y luego pasar a través de los tubos que están dentro de la camada del catalizador, y salir por una boquilla de rebose donde se encuentra un calentador de arranque de 100 kW; este calentador es utilizado solo cuando la planta arranca para poder alcanzar la temperatura necesaria para la reacción, después que esto sucede esta se mantendrá, ya que la reacción es exotérmica.

El gas que fluye por la camada de 46.5 ft³ de catalizador que permite la reacción entre el nitrógeno y el hidrogeno, esta reacción alcanza una temperatura de hasta 1000 F, fluyendo a través de la rejilla del fondo por el lado exterior hacia los tubos del intercambiador del la parte inferior y finalmente salir del convertidor a 390 F.

El control de la temperatura en la camada del catalizador es realizado a través de un flujo de agua frío de gas de síntesis, el cual no debe ser mayor al 80% del gas. Este control se hace por medio de la estación de cargue MLS-25, que está instalado en el tablero de control, accionando la válvula FV-25, que se encuentra instalada en la línea de entrada de gas de síntesis al T-3, la cual desvía la corriente de gas hacia el fondo del convertidor.

La temperatura de la camada del catalizador es medida por dieciséis termopares ubicados verticalmente a través del convertidor de amoniaco, estos puntos están indicados en el TI-84 (indicador de temperatura). Los puntos 10, 11 y 12 indican el punto anterior, posterior y el punto caliente¹⁴, estos están conectados al indicador de temperatura TR-55.

El punto caliente puede desplazarse debido al envejecimiento del catalizador o por cambios de presión, esto puede observarse mediante el TI-84.

Otros dispositivos de control son:

¹⁴ Aquella área de la camada del catalizador en donde se está verificando la mayor parte de la reacción exotérmica.

TIS-96: Switch indicador de temperatura, para evitar el sobrecalentamiento en el calentador de arranque.

HTS-56: Alarma de alta temperatura, activa cuando la temperatura alcanza 1080F.

TS-56: Switch de apagado de calentador, cuando la temperatura alcanza 1100 F.

MLS-29: Estación de cargue manual, Control de temperatura del calentador de arranque.

FV-29: Válvula automática, instalada en la línea de gas de síntesis antes del filtro de aceite D-12, está válvula desvía hacia la succión de la etapa de reciclo parte de la corriente del gas.



Imagen 15. Convertidor de amoniaco.

Condensadores primarios de amoniaco (E-21A/B). El gas que sale del convertidor de amoniaco T-3, fluye a través de los tubos de estos condensadores, intercambiando calor con agua de enfriamiento que va por el lado del casco, ayudando a disminuir la temperatura de 395 F a 105 F permitiendo la condensación de un 50% a 60% del amoniaco.

El casco está protegido con un disco de ruptura de 6" a 75 psig si ocurre alguna falla que lleve al rompimiento de un tubo.

Intercambiador de tubos en "U".

- Tubos: $\frac{3}{4}$ de diámetro BWG, 8 longitud 20 ft

Presión: 5400 psig. Temperatura: 365 psig.

Fluido: Gas de síntesis - Amoniaco.

- Casco: 20" de OD., espesor 3/8, longitud 21'4 7/8"

Presión: 75 psig. Temperatura: 450 F.

- Fluido: Agua.



Imagen 16. Condensadores primarios de amoniaco.

Separador primario de amoniaco (S-1). La mezcla de gas de síntesis – amoniaco que proviene de los condensadores primarios de amoniaco es separada, la separación se realiza debido a que el separador tiene instalado internamente unas platinas deflectoras.

El gas libre de amoniaco sale por la parte superior y retorna como gas de reciclo, utilizándose una pequeña como gas de purga el cual fluye por el cabezal de gas de purga, al cual también llegan flujos de D-6, D-7 y D-8.

Estos separadores poseen las siguientes características:

Capacidad: 11 GPM

Presión: 5400 psig

Temperatura: 100 F.

Para el control y conocimiento del estado de funcionamiento del separador están instalados los siguientes componentes:

MLS-26: Estación manual de cargue para el control de gas de purga.

FV-26: Válvula automática de control de gas de purga.

PR-55: Registrado de presión de gas de purga.

FR-26: Registrado de flujo de gas de purga.

LC-15: controlador de nivel del separador de amoniaco.

LV-15: Válvula de control de nivel (operada por el LC-15)

LS-15-1 Ó LS-15-2: Switch de alto ó bajo nivel.

HLA-15 ó LLA-15: Alarmas de alto o bajo nivel.

Se ha instalado una mirilla de vidrio para indicar un 25%, 50% y 70% de nivel, con el indicador de nivel LI-15 instalado en el tablero de control.



Imagen 17. Separador primario de amoniaco.

Tambor depresionador primario (D-6). El amoniaco que fluye de los separadores primario y secundario, en este tambor la presión se reduce hasta 885 psig y es controlado por:

PIC-52: Indicador controlador de presión.

PV-52: Válvula controladora de presión.

LC-16: Controlador de nivel.

LV-16: Válvula controladora de nivel (localizada en la línea del depresionador secundario D-7).

LS-16: Switch de alto nivel.

HLA-16: Alarma de alto nivel.

RV-14: Válvula de seguridad calibrada a 975 psig.

Tambor depresionador (D-7). Aquí la presión es reducida hasta 485 psig desprendiendo más gases de amoníaco. Siendo controlado por:

PIC-53: Indicador controlador de presión.

PV-53: Válvula de control de presión.

LC-17: Indicador de nivel.

LV-17: Válvula de nivel.

LS-17: Switch de alto nivel.

HLA-17: Alarma de alto nivel.

RV-15: Válvula de seguridad calibrada a 575 psig.

Tambor depresionador final (D-8). Finalmente la presión se reduce a 285 psig desprendiendo los gases del amoníaco líquido. Las variables son controladas por medio de:

PIC-54: Indicador controlador de presión.

PV-54: Válvula de presión.

LC-18: Controlador de nivel.

LV-18: Válvula de nivel (operada por el LC-18).

LS-18: Switch de alto nivel.

HLA-18: Alarma de alto nivel.

FR-39: Registrador de flujo de amoniaco producido.

RV-16: Válvula de seguridad calibrada a 325 psig.

PIC-54: Indicador controlador de presión de cabezal de gas de purga.

FRC-30: Registrador de flujo de gases de purga y gases evaporados.

FV-30: Válvula de flujo (operada por el FRC-30).

PV-54: Válvula de venteo para exceso de gases.

PS-54: Switch de alta presión.

HPA-54: Alarma de alta presión.



Imagen 18. Tambores depresionadores D-6, 7 y 8.

5.3.6 Almacenaje de amoníaco. La sección de almacenaje está diseñada para contener hasta 535 Toneladas de amoníaco a 20 psig, manteniendo esta presión por medio de los compresores de refrigeración que succionan los gases de amoníaco para enfriarlos con agua de enfriamiento, hasta condensarlos.

El amoníaco producido se distribuye a las demás plantas así: amoníaco líquido de los tanques de alta presión, SR-7 y SR-8 para Urea y la sección de salmuera, amoníaco gaseoso de baja presión para la planta de nitrato de amonio y amoníaco gasificado en el evaporador de amoníaco, F-1 en la planta de ácido nítrico.

Tanques de almacenamiento de alta presión (SR-7 & SR-8). A estos tanque llega el amoníaco del depresionador final, manteniéndose una presión de 228 psig, para que esta sea constante se utilizan los evaporadores de amoníaco E-7A/B; el amoníaco líquido fluye por la parte inferior de los evaporadores intercambiando calor con el vapor que fluye por el serpentín haciendo que el amoníaco se evapore.

La capacidad máxima de los tanques es de 9 toneladas, cuenta con las siguientes características:

Cuerpo cilíndrico

Diámetro 1850 mm, espesor 22 mm, en acero

Soldados eléctricamente

Presión de operación: 20 atmosferas

A los tanques de alta presión no solo llega el amoníaco producido, sino también el amoníaco de licuefacción, amoníaco de baja presión, SR-1, 2, 3,4 y 5 por medio de las bombas centrifugas PC-3/4 que descargan la succión de las bombas alternativas PA-1/2.

El amoniaco líquido almacenado en estos tanques se utiliza para suministrar en: Planta de Urea, evaporador de amoniaco, F-1 de ácido nítrico y para los tanques de baja presión.

Para el control de estos tanques está instalado:

LI-7 y LI-10: Indicadores de nivel (instalados en el tablero de control de la sección de compresores).

LI-8 y LI-9: Indicadores de nivel (instalados en cada uno de los tanques).

LV-2 y LC-3: Controladores de nivel

LV-2-3: Válvula de control de nivel.

RV-106: Válvula de seguridad calibrada a 270 psig.

Tanques de baja presión (SR-1, 2, 3,4 y 5). Operan a una presión de 20 psig, y pueden operar independientemente (carga o descarga) aunque todos están conectados por medio de una línea de 8" al cabezal general de 12", ya que cada uno tiene válvulas para bloquear la entrada o salida de amoniaco líquido o gaseoso

El amoniaco que se gasifica en la planta de Urea y en la de salmuera es descargado al cabezal de baja presión.

La presión debe ser controlada para que en caso de falla de los compresores o exceso de amoniaco, en cada una de las líneas de salida hay un venteo de 1" que descarga a un cabezal general de 2" hacia la Tea, este venteo es controlado por el controlador de presión PIC-9 y actúa sobre la válvula PV-9 instalada en el cabezal general.

Son cilindros verticales con cabezas hemisféricas

Capacidad: 200m³ c/u

Altura Total: 10.300 mm

Superficie total.209.073 m²

Almacenaje de amoniaco anhídrido liquido en las condiciones:

Temperatura: -10°C

Presion.23 Psig

Otros dispositivos de control son:

PIC-5: Indicador controlador de presión de cabezal general de 12".

LI-1, 2, 3,4 y 5: Indicadores de nivel de cada tanque.

RV-105, 104, 103, 102 y 101: Válvulas de seguridad de cada uno de los tanques, calibradas a 43 psig.



Imagen 19. Tanques de baja presión

5.3.7 Sistema de bombeo. Para transportar el amoniaco del tanque de baja presión al de alta presión, es necesario emplear un sistema de bombas, que está integrado por dos bombas centrifugas (PC-3 Y PC-4) que succionan al cabezal de salida de amoniaco de los tanques de baja presión y dos bombas adicionales (PA-1 Y PA-2) que succionan la descarga de las bombas centrifugas y descargan en los tanques de alta presión.

Este sistema de bombeo se emplea cuando la planta de no genera el suficiente amoniaco para abastecer las otras plantas.

Las bombas adicionales con las que cuenta este sistema se encuentran protegidas en el momento de sus descargas por medio de dos válvulas de seguridad (RV-120 Y RV-1219) que se encuentran calibradas a 340 psig descargando a la succión de las mismas bombas.

5.3.8 Refrigeración. El amoniaco que proviene de la cima de los tanques de baja presión, los evaporadores de la planta de urea y de la planta de salmuera, es succionado por los compresores de refrigeración (CA-1, CA-2, CA-3 Y CA-4) y por medio de enfriamiento con agua, se condensa y se envía a los tanques de alta o baja presión en estado liquido.

La cantidad de amoniaco gaseoso que es succionando por los compresores, es controlado por medio del indicador controlar de presión (PIC-5) que opera la válvula (PV-5) que se encuentra instalada en la línea de succión, manteniendo la presión en la red de amoniaco de baja presión. Los principales componentes de la sección de refrigeración son:

A. Compresores (CA-1 Y CA-2): El amoniaco a 20 psig, es succionado por la primera etapa de los compresores (CA-1 Y CA-2) llevándolo a una presión de 85 psig. El amoniaco gaseoso es enfriado en los intercambiadores de calor (F-8 Y F-10) donde se separa el aceite y el condensado que pueda tener el amoniaco.

El amoníaco gaseoso comprimido y frío, fluye a la succión de segunda etapa y es comprimido hasta una presión de 227 Psig. El amoníaco gaseoso comprimido pasa a los enfriadores (F-7 Y F-9) donde disminuye su temperatura por medio de intercambio de calor con agua de enfriamiento la cual fluye por el lado de tubos. El amoníaco gaseoso y parte líquido fluye a los condensadores de amoníaco (F-5 Y F-6).

B. Compresores CA-3 Y CA-4: Estos compresores cumplen la misma función que el compresor (CA-1 Y CA-2) se emplea cuando la cantidad de amoníaco gaseoso es pequeña.

Estos compresores están movidos por motores eléctricos de 40 HP. Existe un sistema automático instalado en los compresores (CA-3 Y CA-4) que logra que estos compresores arranquen cuando la presión es mayor. Este sistema está controlado por el indicador controlador de presión (PIC-4) que actúa sobre un solenoide cuando ocurre una anomalía. Normalizada la operación, ellos se pararan automáticamente.

5.3.9 Licuefacción. La descarga de la primera etapa de los compresores de refrigeración, fluye por el lado del casco de los enfriadores (F-8 Y F-10) donde existe un intercambio de calor con el agua de enfriamiento que fluye por el lado de tubos, separando el aceite y el condensado que contenga el amoníaco.

El líquido frío pasa a la succión de la segunda etapa de los compresores donde ocurre una nueva compresión.

La descarga de la segunda etapa de los compresores de refrigeración, fluye por el lado de los cascos de los enfriadores, (F-7 Y F-9) donde ocurre intercambio de calor con el agua de enfriamiento que fluye por el lado de los tubos, separando el aceite que por arrastre lleva el amoníaco comprimido condensándose parte de este amoníaco.

El amoníaco líquido y gaseoso fluye por el lado de casco de los condensadores verticales, (F-5 Y F-6) donde es enfriado en mayor grado, condensado casi la totalidad del amoníaco gaseoso por intercambio de calor con el agua de enfriamiento que fluye por el lado de tubos.

El amoníaco líquido sale por el fondo de los condensadores verticales, (F-5 Y F-6) y pasa al tambor acumulador de amoníaco,(SR-1) el Nivel se controla por medio del controlador de nivel,LC-1. Opera la válvula LV-1 instalada en la línea de amoníaco líquido que va para los tanques de alta presión (SR-7 Y SR-8.)

El amoníaco que no se condensa, fluye por el lado de casco del condensador de amoníaco, (SC-4) donde se condensa por intercambio de calor con amoníaco líquido que fluye por entre un serpentín. El amoníaco líquido pasa al tambor acumulador de amoníaco, (SR-1) y el amoníaco que se evapora del serpentín fluye al tambor de succión de los compresores (SC-1).

Hay un sistema de control de temperatura para la succión del amoníaco gaseoso en la segunda etapa de los compresores de refrigeración, para evitar un sobrecalentamiento en el compresor, motivado por una alta temperatura en el amoníaco que succiona. Una línea de amoníaco líquido sale del tanque acumulador de amoníaco (SR-1) y va a la salida de los enfriadores, (F-8 Y F-10)

El amoníaco es controlado por medio de las válvulas controladoras de temperatura, TVC-1 Y TVC-2.

Los enfriadores (F-8 Y F-10) están protegidos por dos válvulas de seguridad RV-114 Y RV-113 respectivamente, a una presión de 100 psig.

Los enfriadores (F-7 Y F-9), y los condensadores, (F-5 Y F-6) están protegidos con la válvula de seguridad RV-112, RV-111,RV-123 respectivamente, a una presión de 255 psig.

5.3.10 Suministro de amoniaco. El amoniaco necesario para la producción en las plantas de ácido nítrico, urea y nitrato sale de esta sección. El amoniaco líquido para la planta de urea proviene de los tanques de almacenamiento de alta presión, (SR-7 Y SR-8) por diferencial de presión.

El amoniaco gaseoso para la planta de nitrato de amonio, sale de la red baja presión de amoniaco. El suministro de amoniaco gaseoso para la planta de ácido nítrico, se hace por medio de la evaporación del amoniaco líquido. El amoniaco líquido sale de los tanques de alta presión (SR-7 Y SR-8) entra por un serpentín al tambor separador de condensados, (SC-1) donde intercambia calor con el amoniaco vaporizado que va por el lado de casco, separando el agua que pueda llevar.

El amoniaco líquido, fluye por el evaporador de amoniaco (F-1) entrando por el lado de casco donde intercambia calor con el agua de enfriamiento que va por el lado de tubos. El amoniaco gasificado a una presión de 78 psig fluye hacia arriba para entrar por el lado de casco del separador de condensado (SC-1). La presión es controlada por medio del indicador controlador de presión, PIC-3, que opera la válvula de control PV-3 localizada en la línea de salida de agua de enfriamiento del evaporador de amoniaco (F-1). Existe un control adicional de presión con el indicador de presión con el indicador controlador de presión PIC-6 el cual actúa sobre la válvula de control de presión, PV-6 instalada en la salida de amoniaco gaseoso del evaporador de amoniaco, F-1.

El control de nivel se hace por medio del controlador de nivel LC-1. Opera la válvula de nivel, LV-1 localizada en la línea de entrada de amoniaco líquido al evaporador, (F-1).

Existe además, un indicador de nivel LI-6 instalado en el mismo evaporador.

En el caso de una alta presión en el cabezal de amoniaco que va para la planta de ácido nítrico, actuará el indicador controlador de presión PIC-1 que actuará el indicador controlador de presión PCI-1 que actúa sobre la válvula PV-1-2 descargando el exceso de amoniaco hacia la red de baja presión.

Se emplea el cabezal de amoniaco de alta presión, para alimentar la red de baja presión por medio del indicador controlador de presión PIC-2 que actúa sobre la misma válvula PV-1-2.

Del cabezal de amoniaco liquido que va para urea, sale una línea que alimenta el sistema de salmuera, el cual a su vez descarga amoniaco gaseoso a la red de baja presión.

5.4 BALANCE DE MASA Y CARACTERIZACION DEL PROCESO

El balance de masa se realizó mediante el apoyo de los registros de operación diligenciados en la planilla del 13 de abril de 2011. A continuación se muestra el balance de masa punto por punto según el diagrama de proceso descrito en la **figura 38**. Este balance de masa, no contempla perdidas.

El 13 de Abril de 2011 se utilizaron 59100 Mft³/h de gas natural para producir 45.6 St/d de amoniaco liquido.

Teóricamente realizando el cálculo de la producción de amoniaco basándose en una carga de metano de 59100 Mft³/h, sería:

$$\begin{aligned} \text{Producción de amoniaco} &= 5407 \frac{\text{lb}}{\text{h}} * 0,000453 \frac{\text{Toneladas}}{1 \text{ lb}} \\ &= 2.5 \text{ Toneladas de } \frac{\text{NH}_3}{\text{h}} \\ &= 58.8 \text{ Toneladas de NH}_3/\text{día} \end{aligned}$$

Según los registros de las planillas con una carga de 59100 ft³/h se producen 45.7 Ton de NH₃/día, por lo tanto se actualmente se están produciendo

12.8 Ton de NH_3 /día, esto teniendo en cuenta la ineficiencia presente en el proceso, fugas en las líneas entre otros.

Tabla 18. Balance de masa de Planta de Amoniaco - Puntos 1 a 6

BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA EN LA PLANTA DE AMONIACO												
Carga para 59100 SCFH de gas natural												
FLUIDO	1		2		3		4		5		6	
	Salida H-1		Salida H-2		Entrada D-2A		Salida D-2A		Entrada D-2B		Salida D-2B	
PRESION, psig	179,0		169,0		173,0		158,0		158,0		163,0	
TEMPERATURA, °F	1.331		912		660		748		390		440	
COMPONENTES	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)
H2	46,1	339,7	37,6	428,1	24,1	428,1	28,7	509,6	27,1	509,6	27,6	518,3
N2	1,7	15,2	15,0	170,7	9,6	170,7	9,6	170,7	9,1	170,7	9,1	170,7
Ar	0,0	0,0	0,2	1,9	0,1	1,9	0,1	1,9	0,1	1,9	0,1	1,9
CH4	6,7	58,1	0,2	2,8	0,2	2,8	0,2	2,8	0,1	2,8	0,1	2,8
NH3 (v)		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
NH3 (l)		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
H2O (v)	41,0	357,4	33,3	379,7	57,1	1012,9	52,5	931,2	55,2	1037,9	54,8	1029,2
H2O (l)		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
CO	4,9	42,7	8,1	91,9	5,2	91,9	0,6	10,4	0,6	10,4	0,1	1,7
CO2	6,7	58,6	5,7	64,7	3,7	64,7	8,3	146,3	7,8	146,3	8,2	154,9
Total lbMol/h	107,1	871,8	100,0	1.140	100,0	1.773	100,0	1.773	100,0	1.880	100,0	1.880
Total Gas Lb/h	100	12.245	100	17.937	100	29.334	100	29.332	100	31.252	100	31.252
Total Liquido Lb/h												
Total Lb/h	100	12.245	100	17.937	100	29.334	100	29.332	100	31.252	100	31.252

Tabla 19. Balance de masa de planta de amoniaco - Puntos 7 a 8.

FLUIDO	7		8		9		10		11		12	
	Salida E-6		Entrada T-1		Salida T-1		Entrada D-1		Salida D-1		Salida D-9	
PRESION, psig	160,0		157,0		153,0		140,0		147,0		145,0	
TEMPERATURA, °F	235		120		142		500		544		90	
COMPONENTES	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)
H2	25,6	518,3	53,0	518,3	73,8	518,3	73,8	518	73,2	511,6	73,2	511,6
N2	8,4	170,7	17,5	170,7	24,3	170,7	24,3	171	24,4	170,7	24,4	170,7
Ar	0,1	1,9	0,2	1,9	0,3	1,9	0,3	2	0,3	1,9	0,3	1,9
CH4	0,1	2,8	0,3	2,8	0,4	2,8	0,4	3	0,7	4,9	0,7	4,9
NH3 (v)		0,0		0,0		0,0		0		0,0		0,0
NH3 (l)		0,0		0,0		0,0		0		0,0		0,0
H2O (v)	6,3	127,3	0,9	8,5	1,0	6,9	1,0	7	1,3	9,4	0,6	4,0
H2O (l)	51,7	1047,7	12,2	119,2		0,0		0		0,0	0,8	5,4
CO	0,1	1,7	0,2	1,7	0,2	1,7	0,2	2	<10 ppm		<10 ppm	
CO2	7,6	154,9	15,8	154,9	0,1	0,4	0,1	0	<10 ppm		<10 ppm	
Total lbMol/h	100,0	2.025	100,0	978	100,0	702,7	100,0	702,7	100,0	698,5	100,0	698,5
Total Gas Lb/h	44	15.093	86	12.954	100	6.125	100	6.125	100	6.125	98	6.029
Total Liquido Lb/h	56	18.859	14	2.146							2	97
Total Lb/h	100	33.952	100	15.100	100	6.125	100	6.125	100	6.125	100	6.125

Tabla 20. Balance de masa de planta de amoniaco - Puntos 13 a 18

FLUIDO	13		14		15		16		17		18	
	Gases T-2		CO2		Gas Reciclo		Gas Síntesis		Salida D-12		Entrada S-2	
PRESION, psig	8,5		5,0		4.650		4.650		4.910			
TEMPERATURA, °F	214		127		137		260					
COMPONENTES	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)
H2					55,8	1489	74,2	501,9	59,5	1991	59,5	1991
N2					18,6	496	24,8	167,6	19,8	664	19,8	664
Ar					6,2	165	0,3	1,9	5,0	167	5,0	167
CH4					9,7	260	0,7	4,7	7,9	264	7,9	264
NH3 (v)					9,7	259		0,0	7,7	259	3,4	112
NH3 (l)											4,4	147
H2O (v)	65,5	293,0	8,9	15,2								
H2O (l)		0,0		0,0								
CO		0,0		0,0								
CO2	34,5	154,6	91,1	154,6								
Total lbMol/h	100,0	447,5	100,0	169,8	100,0	2669	100,0	676,1	100,0	3345	100,0	3345
Total Gas Lb/h	100	12.074	100	7.074	100	32.049	100	5.848	100	37.897	93	35.401
Total Liquido Lb/h											7	2.808
Total Lb/h	100	12.074	100	7.074	100	32.049	100	5.848	100	37.897	100	38.209

Tabla 21. Balance de masa de planta de amoniaco - Puntos 19 a 20

FLUIDO	19		20		21		22		23		24	
	Salida Gas S-2		Salida T-3		Salida Gas S-1		Gas de Purga		Salida Gas D-6		Salida Gas D-7	
PRESION, psig	4.700		4.450		4.450		285		885		470	
TEMPERATURA, °F			393		105		87		33		32	
COMPONENTES	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)
H2	62,3	1.989	52,4	1.504	55,8	1.501	55,8	11,7	42,5	4,4	100,0	0,455
N2	20,8	663	17,5	501	18,6	500	18,6	3,9	15,9	1,6	0,0	0,000
Ar	5,2	167	5,8	167	6,2	167	6,1	1,3	5,3	0,5	0,0	0,000
CH4	8,2	263	9,2	263	9,7	262	9,5	2,0	16,8	1,7	0,0	0,000
NH3 (v)	3,5	112	15,2	436	9,7	261	10,0	2,1	19,5	2,0	0,0	0,000
NH3 (l)												
H2O (v)												
H2O (l)												
CO												
CO2												
Total lbMol/h	100,0	3.194	100,0	2.871	100,0	2.690	100,0	21,0	100,0	10,3	100,0	0,5
Total Gas Lb/h	100	35.349	100	35.349	100	32.301	100	251	100	138	100	1
Total Liquido Lb/h												
Total Lb/h	100	35.349	100	35.349	100	32.301	100	251	100	138	100	1

Tabla 22. Balance de masa de planta de amoniaco - Puntos 25 a 30.

FLUIDO	25		26		27		28		29		30	
	Salida Gas D-8		Salida Liq S-2		Salida Liq S-1		Salida Liq D-6		Salida Liq D-7		Amoniaco	
PRESION, psig	290		885		885		840		470		290	
TEMPERATURA, °F	31				105		33		32		31	
COMPONENTES	%	Flujos (lbmol/hr)	%	Flujos (lbmol/hr)								
H2	13,3	0,2	1,4	2,2	1,6	2,9	0,2	0,7	0,1	0,3	0,0	0,1
N2	6,7	0,1	0,6	0,9	0,6	1,0	0,1	0,3	0,0	0,1		0,0
Ar		0,0	0,1	0,2	0,3	0,5		0,1		0,0		0,0
CH4	20,0	0,3	0,6	0,9	1,0	1,8	0,3	1,0	0,2	0,7	0,1	0,5
NH3 (v)	60,0	0,8		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
NH3 (l)			97,2	146,8	96,6	174,6	99,3	319,4	99,7	318,9	99,8	318,0
H2O (v)												
H2O (l)												
CO												
CO2												
Total lbMol/h	100,0	1,4	100,0	151,0	100,0	180,8	100,0	321,5	100,0	320,0	100,0	318,6
Total Gas Lb/h	100	21	2	44	2	63	0	25	0	15	0	7
Total Liquido Lb/h			98	2.496	98	2.968	100	5.430	100	5.421	100	5.407
Total Lb/h	100	21	100	2.541	100	3.031	100	5.455	100	5.435	100	5.414

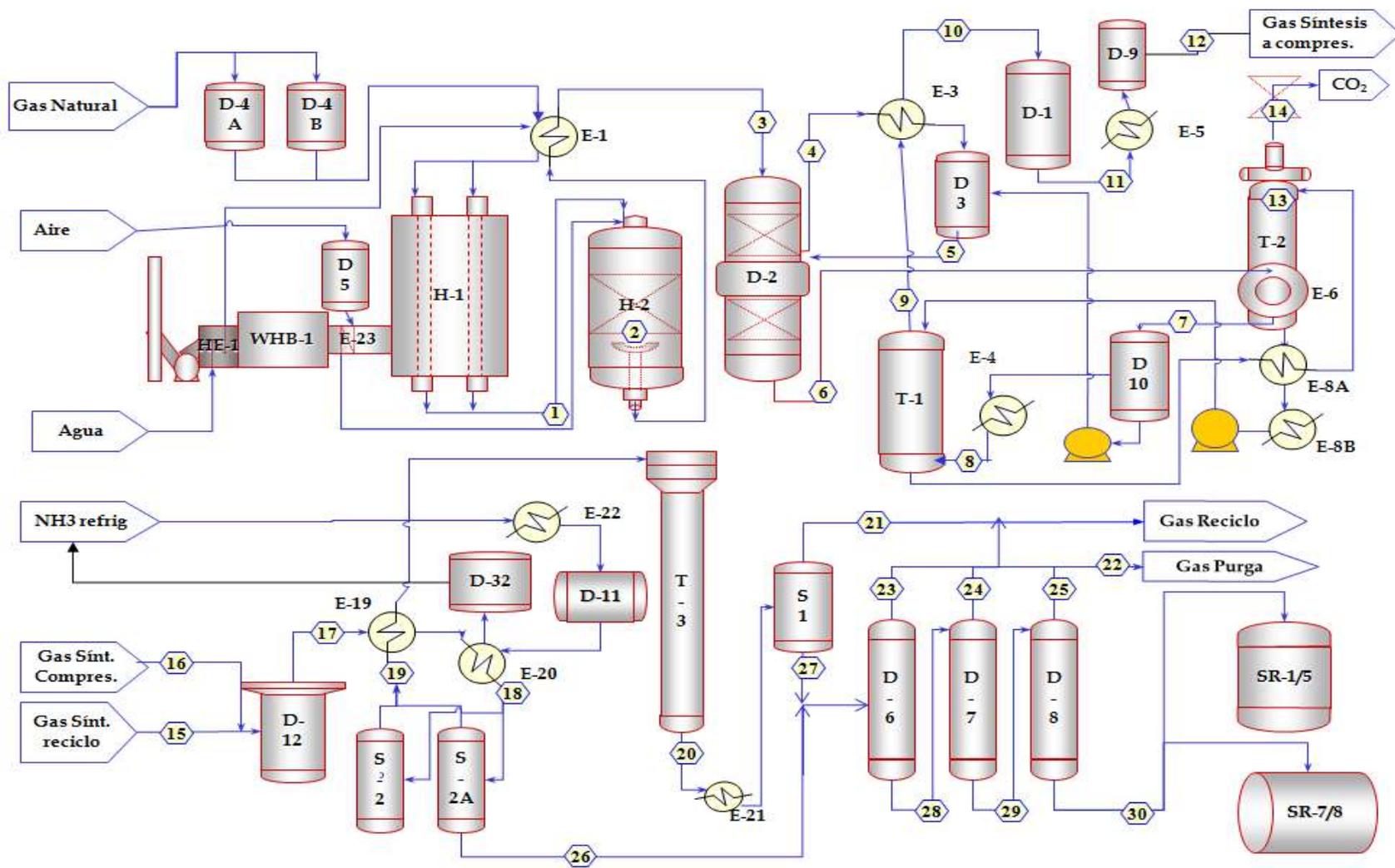


Figura 38. Diagrama de proceso planta de amoniaco de FERTICOL S.A.

5.8 ANALISIS DE PLANTA DE AMONIACO.

- Según el manual de la planta de amoniaco se instalaron 4 compresores para realizar el proceso de síntesis de amoniaco para su producción:
 - ✓ Dos Compresores multiservicio White Superior: Superior de 1500 Hp y 900 rpm cada uno, estos son movidos por motores eléctricos, alimentados a una corriente de 4160 V, la corriente máxima a plena carga es de 169 A, la corriente de excitación es de 1.4 A, 60 V. Utilizado para comprimir gas de síntesis, gas de reciclo, aire y amoniaco de refrigeración.
 - ✓ Compresor multiservicio Clark: de 1000 HP y 600 rpm movido por un motor a gas de cuatro tiempo, 12 cilindros divididos en dos bancadas, tiene un turbo – cargador movido por gases de combustión, además de un sistema de lubricación y enfriamiento con agua desmineralizada en sus camisas para aumentar la eficiencia de su operación. Comprime gas de síntesis, aire y amoniaco de refrigeración.
 - ✓ Compresor de reciclo Clark: de 200 HP movido por un motor eléctrico. Comprime gas de reciclo.

Cabe resaltar que actualmente se encuentra en funcionamiento un solo compresor el cual es el compresor multiservicio Clark.

- La eficiencia del proceso está demostrado a través del balance de masa realizado a la planta de amoniaco, demuestra que para alcanzar a tener

una producción máxima con las condiciones en las que se encuentra actualmente es necesario utilizar una carga mayor de metano a la que se utilizaría para la producción nominal.

- La calibración o cambio del equipo medidor encargado de registrar el flujo de amoníaco producido, es muy importante ya que reflejaría la producción real demostrando la eficiencia del proceso.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las turbogeneradores a gas teóricamente manejan eficiencias cercanas al 30%, por medio del análisis de la planta eléctrica se llegó a conocer la eficiencia con que se encuentra trabajando esta, la cual es aproximadamente 19%, lo anterior teniendo en cuenta que el gasto de gas natural para mantener la generación promedio está por encima de la cantidad para alcanzar la generación nominal viéndose esto reflejado en el rendimiento térmico de la maquina con un 9.758%.
- La planta de aguas tiene un buen comportamiento en su proceso; para un mejor manejo sobre este podría tenerse en cuenta la instalación de medidores de caudal en la entrada de la planta de clarificación para controlar el agua cruda que llega al perímetro de FERTICOL S.A; como fue descrito en el **capítulo de la planta de aguas**, es necesario la adición de sulfato de aluminio, soda caustica, hipoclorito de sodio los cuales no son cuantificados, la ubicación de medidores de caudales, ayudaría a tener control supervisado sobre esto y de esta manera evitar el desperdicio de la materia prima.
- La documentación sobre el proceso de producción de amoniaco, permitió el conocimiento pleno acerca de su funcionamiento, y las falencias que este tiene. Debido a los daños causados a través del tiempo, estos han hecho que la eficiencia del proceso disminuya hasta menos del 50%, proyectándose en la producción de amoniaco, teniendo en cuenta que la

planta está diseñada a fin de producir 65 Toneladas métricas/día, actualmente según los registros en promedio se tiene producción de 44 st/día de amoniaco.

- El análisis de la planta de amoniaco permitió el conocimiento de las variables físicas que se manejan actualmente para posteriormente realizar el balance de masa descrito en el capítulo **planta de amoniaco**, también ayudó para realizar el análisis de criticidad realizado durante las prácticas de Yadira Ortiz Duran (estudiantes Universidad de la Paz) a través del proyecto **PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE AMONIACO**, siendo esto mostrado a través del manual de la planta realizado con el apoyo de ambos trabajos; a lo largo de las practicas se observaron varios percances en la planta que en varias ocasiones conllevaron a parar la planta por días, siendo estos causados en su mayoría por los reformadores e intercambiadores de calor; a través de un análisis termográfico se podrían llegar a conocer los puntos críticos de los equipos para posteriormente tomar las medidas pertinentes y más acordes a los problemas ocasionados.
- La actualización del manual de planta de amoniaco, permitió observar algunos cambios en equipos que no se encuentran en funcionamiento hoy en día, y siguen apareciendo dentro del manual suministrado por la empresa que hizo la instalación de la planta desde los inicios de FERTICOL S.A.
- Se realizó el levantamiento del plano de FERTICOL S.A (ANEXO C), para así determinar la cantidad de luminarias existentes con la finalidad de determinar el costo de la aplicación de luminarias tipo led, funcionando con paneles solares, el cual se muestra en el ANEXO D.

BIBLIOGRAFIA

BERMUDES GREGORIO, Centrales térmicas a gas [en línea] < <http://www.slideshare.net/gbermudez/guia-n-3-centrales-trmicas-de-gas> > [citado el 5 de abril de 2011]

CACHADIÑA GUTIERREZ ISIDRO, Web blog, apuntes Termodinámica y termotecnia [en línea] < <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>> [citado el 6 de abril de 2011].

DISEÑO DE PLANTAS QUIMICAS, Obtención del amoniaco [en línea] <<http://www.plantasquimicas.com/Inorganicos/pi53.htm>> [citado el 23 de mayo de 2011].

FERNANDEZ JORGUE, Ciclo brayton – Turbina a gas [en línea] < http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/03-turbina_a_gas.pdf> [citado el 5 de marzo de 2011]

FERTILIZANTES COMLOMBIANOS S.A, Manual de operaciones de amoniaco.

FERTILIZANTES COMLOMBIANOS S.A, Manual de operaciones de planta eléctrica.

FERTILIZANTES COMLOMBIANOS S.A, Manual de operaciones de la 101, 102 y 103.

GUERRERO RODRIGUEZ GONZALO, Combustión en turbogas [en línea] <<http://es.scribd.com/doc/9786136/Turbo-Gas>> [citado el 15 de Marzo de 2011]

JIMENEZ JOSE, Eficiencia termodinámica [en línea]
<<http://www.docstoc.com/docs/17221565/C%EF%BF%BDiculos-de-Eficiencia-T%EF%BF%BDmica>> [citado el 6 de marzo de 2011].

ROYMECH, cp del gas natural [en línea]
http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Matter/Prop_Gas.htm [citado el 1 de Marzo de 2011].

VAXAZOFTWARE, Densidad del agua [en línea]
<http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf> [citado el 14 de Marzo de 2011]

WIZIQ, Tablas termodinámicas del aire como gas ideal [en línea]
<<http://www.wiziq.com/tutorial/73008-TABLA-TERMODINAMICA-DE-AIRE-COMO-GAS-IDEAL>> [citado el 1 de marzo de 2011]

