

OPTIMIZACION DE PLANTA DE ENDULZAMIENTO DE GAS MEDIANTE MEMBRANAS– AGUADA DE LA ARENA

Ana Valeria Herrero Capitanich - Claudio Cepollaro
PETROBRAS ENERGÍA

Abstract

El yacimiento Aguada de la Arena entró en producción en el año 1998, con pozos gasíferos. Actualmente, el gas tiene un contenido promedio de CO₂ de 18% y es procesado en la planta de tratamiento donde se realiza ajuste de punto de rocío mediante refrigeración mecánica y endulzamiento mediante tecnología de membranas, a los fines de entregar el producto en especificaciones de transporte a los gasoductos troncales

El sistema de membranas cuenta con dos etapas principales de endulzamiento con membranas y una etapa de membranas de reciclo que permite aumentar el porcentaje de recuperación de metano, incrementando de esta forma el rendimiento del proceso.

A los fines de optimizar el proceso de tratamiento del gas es necesario conocer bien el sistema utilizado. Mediante la identificación de parámetros clave de la planta y seguimiento de los mismos, es posible obtener un producto en especificaciones, cumpliendo con las normas de seguridad y medio ambiente al menor costo posible y con el mayor rendimiento.

Focalizado en el proceso de endulzamiento, se realizó un programa teórico-práctico de mejora continua de seguimiento de las variables críticas del sistema. Se identificaron potenciales mejoras de rendimiento del proceso; optimizando capacidad de tratamiento con cambios en el programa de reemplazo de elementos, ajustes de variables operativas y reconfigurando el sistema de membranas.

De los cambios ejecutados se obtuvo un aumento en la recuperación de hidrocarburos (de 90% a 98% actual) con consecuente incremento en el gas de venta. Asimismo se logró bajar a la mitad las emisiones de Gases Efecto Invernadero, contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

En el trabajo se presentan los resultados de optimización en el sistema de membranas, y pasos de ejecución mediante seguimiento y ajustes de variables, programa de recambios de membranas, balance de materia y energía y Permeability de membranas, aplicando un proceso de mejora continua utilizando herramientas de laboratorios y software.

Introducción

La planta de tratamiento de gas Aguada de la Arena se encuentra ubicada en la provincia de Neuquén, Argentina, a aproximadamente 165 km de la capital provincial. En dicha planta se acondiciona el gas proveniente de los pozos y se inyecta a gasoducto. Como el gas de ingreso contiene alto porcentaje de CO_2 , una de las operaciones que se realiza para llevarlo a la especificación establecida para la entrega, es la remoción del CO_2 . El endulzamiento se lleva a cabo con tecnología de membranas. En este informe se describe la experiencia del trabajo con este sistema, y el seguimiento realizado en estos equipos de proceso. A partir del análisis de seguimiento, se elaboraron estrategias de cambios de elementos, configuración y parámetros del sistema, teniendo especial cuidado en la calidad de gas que ingresa a las membranas. Se muestran los resultados obtenidos.

Descripción del Proceso

En la planta de tratamiento de Aguada de la Arena se realiza la separación, compresión, ajuste de punto de rocío y endulzamiento del gas proveniente de los pozos (Ver Figura 1-Diagrama de bloque). Actualmente están en producción 10 pozos de la formación Mulichinco, a 1610-1670 m de profundidad de interés.

El yacimiento es gasífero y con alto contenido de CO_2 , cuyo porcentaje varía entre 2,7 a 27,5 en los diferentes pozos perforados activos (Ver Figura 2-Distribución de CO_2 en pozos).

(Ver Figura 3 – Diagrama de proceso).

El gas, con contenido promedio de 18% CO_2 , ingresa a la planta a través de los manifold de entrada a 22 $\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$. Pasa por separadores trifásicos a los fines de separar los hidrocarburos condensados y el agua de la corriente gaseosa. Los hidrocarburos líquidos van a estabilización y el agua a la pileta API.

El gas se comprime a 60 $\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ y se dirige a la planta de ajuste de punto de rocío, pasa por intercambiadores y chiller donde por enfriamiento con utilización de propano llega a la temperatura de -26°C , en estas condiciones se produce la separación y extracción del agua e hidrocarburos líquidos del gas en el separador frío. El contenido de C_6+ queda por debajo de 0.06, condición requerida para el buen funcionamiento de las membranas, y a los fines de evitar condensación de C_6+ en el proceso de permeado e ingreso de agua en estado líquido con consecuente envenenamiento de los elementos.

El gas deshidratado y ajustado en punto de rocío se mezcla con el gas proveniente del reciclo de recuperación del sistema de membranas, e ingresa al pretratamiento. Esta etapa cuenta con filtro coalescente, filtros de carbón activado, filtro de partículas y calentador. El objetivo es ingresar el gas lo más puro posible al sistema de membranas para incrementar su vida útil y resguardarla de envenenamiento por contaminantes. Para llevar a cabo esto se realiza eliminación partículas sólidas, hidrocarburos pesados líquidos y se sobrecalienta el gas para que el punto de operación se encuentre alejado de la curva de dew point, aumentando el margen de seguridad en cuanto a la condensación de hidrocarburos por disminución de temperatura y presión. Puesto que en el proceso de permeado hay diferencial de presión a través de las membranas y esto produce un enfriamiento del gas por efecto joule-thompson.

El gas sobrecalentado ingresa al sistema de membranas, tecnología de endulzamiento seleccionada para el diseño de esta planta. El gas que permea a través de la membrana (con CO_2 en su mayoría y un menor contenido de metano) es venteado a la atmósfera. Y el gas que sale del sistema con contenido de CO_2 reducido se dirige a los compresores de salida de planta que elevan la presión hasta 75 kg/cm^2 , pasa por caudalímetro de salida de planta y es inyectado a gasoducto.

Configuración del sistema

Podemos decir que el sistema de endulzamiento con membranas cuenta con dos subsistemas:

- ☐ Pretratamiento.
- ☐ Membranas.

(Ver Figura 4-Foto sistema de membranas y pretratamiento)

Siendo indispensable que previamente el gas haya sido tratado en una planta de ajuste de punto de rocío para remoción de líquidos (agua e hidrocarburos).

Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es evitar el ingreso de contaminantes a las membranas.

Para esto cuenta con:

- Filtro coalescente: remueve los aerosoles del gas.
- Calentador/Intercambiador de calor: eleva la temperatura del gas llevándolo a un estado sobrecalentado, para evitar condensación de agua e hidrocarburos en la membrana. (Ver Figura 5- Envoltorio de gas de diferentes puntos del sistema)
- Filtro de carbón activado: remueve hidrocarburos pesados del gas.
- Filtro de partículas: remueve las partículas sólidas del gas.

Sistema de membranas

Los elementos de membranas, por lo general, se utilizan alojados en tubos de a varias unidades (4 y 5 unidades en nuestro caso). Cada grupo de tubos, trabajando en paralelo, que toma el gas de una alimentación común, se denomina banco. Y, a su vez, cada grupo de bancos se agrupan en un skid de membranas.

Con esta breve introducción, describimos ahora nuestro sistema, que está compuesto por una primera etapa con dos skids en paralelo, una segunda etapa con dos skids más, y un skid de reciclo para mejorar la recuperación de hidrocarburos.

MB-01/01A – Primera etapa de permeado

El gas de entrada a planta mezclado con el reciclo ingresa al sistema de membranas a través de 2 skids que trabajan en paralelo: MB-01 y MB-01A.

MB-01 tiene 3 bancos, de los cuales, dos de ellos tienen 1 tubo cada uno, y uno tiene dos tubos. En total MB-01 tiene 3 bancos y 4 tubos.

MB-01A cuenta con tres bancos de 1 tubo cada uno.

Cada tubo aloja 4 elementos de membranas. Por lo cual en la primera etapa hay 28 elementos cubriendo el servicio.

De las membranas sale gas con alto contenido de CO₂, que es el gas permeado, y el gas con contenido de CO₂ menor, gas residual, se dirige a la segunda etapa de membranas.

MB-02/02A – Segunda etapa de permeado

En la segunda etapa hay 2 skids de membranas trabajando en paralelo: MB-02 y MB-02A.

Cada skid cuenta con 3 bancos formados por cuatro tubos cada uno de ellos.

Cada tubo aloja cuatro elementos, pero en MB-02A hay dos lugares ocupados por espaciadores (internos sin el elemento de polímero de membrana).

En esta etapa hay 94 elementos con membranas en servicio.

Del sistema sale gas permeado con alto contenido de CO₂ y el gas residual con bajo contenido de CO₂, el requerido para la salida de planta, es el que se inyecta a gasoducto.

MB-03 – Etapa de reciclo y recuperación de hidrocarburos

El gas permeado se recircula, previa compresión y paso por pretratamiento con filtración y calentamiento, a una tercera etapa de recuperación compuesta por un skid de membranas: MB-03.

MB-03 está compuesta por tres bancos con dos tubos cada uno. Cada tubo cuenta con 5 espacios, tres de los cuales están ocupados por membranas y dos de ellos por espaciadores. En esta etapa hay 18 elementos con membranas en servicio.

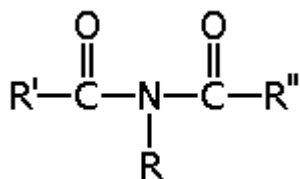
Ver Figura 6-Detalle de sistema y elementos de membranas, y Tabla 1-Detalle cantidad de elementos. Los bancos principales poseen elementos PI de 12" y los de reciclaje de 10".

Elementos

Los elementos de membranas están conformados por internos metálicos, membranas formadas por polímeros, y o-rings que sellan las conexiones entre los elementos dentro de los tubos.

Los dos tipos de membranas que son conocidas y utilizadas en la industria del gas, son las spiral wound y hollow fiber.

Las membranas utilizadas en Aguada de la Arena son del tipo hollow fiber (ver figura 7 – Foto elemento de membrana Poliimida del tipo hollow fiber), de poliimida, un polímero de alta resistencia al calor, formado por el monómero imida, cuya fórmula es:



Precauciones.

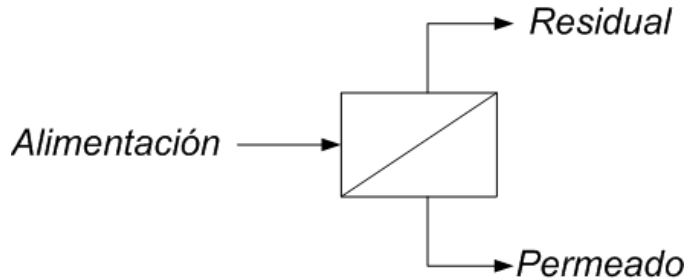
Hay productos que contaminan las membranas, son veneno al entrar en contacto con dichos elementos:

- Hidrocarburos aromáticos.
- C6+.
- Agua en estado líquido.
- Sólidos.

En el caso de ingreso de estos contaminantes al sistema y contacto con los elementos de membranas, el daño causado es irreversible. Se produce bloqueo para el pasaje y difusión libre de los gases que permean a través de la membrana, disminuyendo de esta forma la eficiencia en la separación, y ocasionando una caída del rendimiento en el sistema. Esto se manifiesta en un incremento en el CO₂ de salida para iguales condiciones de entrada.

Principio de funcionamiento de las membranas

El objetivo principal por el cual son utilizadas las membranas es la disminución del contenido de CO₂ en el gas. Al sistema ingresa una corriente de gas con alto contenido de CO₂ (Alimentación), y salen dos corrientes gaseosas, una con bajo contenido de CO₂ (Residual) y prácticamente a la misma presión que la alimentación, y otra con alto contenido de CO₂ (Permeado) y a muy baja presión.



Dentro de los elementos de membranas ocurre el fenómeno de transporte de las moléculas de gas a través del medio, desde una región de alta presión a otra de baja.

Este mecanismo está gobernado por el modelo de solución-difusión, según las etapas (Ver Figura 8):

- ☐ Adsorción del gas a la superficie.
- ☐ Disolución del gas en la membrana.
- ☐ Difusión del gas a través de la membrana.
- ☐ Remoción del gas de la solución.
- ☐ Desorción del gas de la superficie.

$$Q_i = \frac{S \cdot D_i (P_f - P_p)}{z}$$

Según la fórmula:

Q_i = Caudal de componente i.

S = Factor de proporcionalidad específico de la membrana y el componente i.

D_i = Difusividad de i en la membrana.

P_f = Presión parcial del componente i en el gas de alimentación.

P_p = Presión parcial del componente i en el gas permeado.

z = Dimensión de Capa activa de membrana.

El parámetro utilizado para describir el transporte de masa a través de la membrana, de espesor finito, cuya fuerza motriz es el diferencial de presión es la **Permeability (Π)**. Reordenando la ecuación, y agrupando los factores de difusión y solubilidad en uno, llamado Permeability Factor:

$$\Pi_i = \frac{Q_i}{\Delta P_i / z}$$

La tasa de caudal de cada componente a través de la membrana depende de las características del componente, las características de la membrana, y la temperatura y presión parcial diferencial del componente gaseoso a través de la membrana. Puesto que la caída de presión a través de la membrana

es alta, el gas permeado está disponible a baja presión, no así para el gas residual, siendo la caída de presión similar a la que ocurre en cualquier otra unidad de proceso.

Los gases con alta Permeability son llamados “Fast gases”. Por lo general, gases con bajo peso molecular y alta polaridad tienden a ser “Fast gases”.

Por lo cual, diferentes gases pasan a través del polímero a diferente velocidad debido a diferencias de difusión y solubilidad.

La relación que existe entre moléculas diferentes que pasan a través de la membrana define la **selectividad** de esta última con respecto a cada componente permeado.

$$S = \Pi_i / \Pi_j$$

Puesto que la separación se basa en la diferencia de difusión de componentes, el permeado nunca es 100% puro. Y como la fuerza motriz es la diferencial de presión parcial del componente, nunca es posible pernear a través de la membrana el 100% del componente deseado. Sí es posible optimizar el sistema con múltiples etapas, reciclo y combinación óptima de parámetros operativos.

La eficiencia de la separación está afectada por la composición del gas, diferencial de presión, selectividad y temperatura.

Seguimiento del sistema

La realización sistemática de un seguimiento nos permite un conocimiento más profundo del sistema. Es importante la identificación de los parámetros críticos a ser registrados, que permitan una caracterización del estado actual y planificación estratégica de mejora.

En un sistema de membranas, el parámetro clave que define los fenómenos que ocurren es la **Permeability**.

Teniendo en cuenta que la Permeability cambia con la temperatura y la presión parcial del componente, para hacer el seguimiento y evaluar la evolución de este parámetro, elaboramos un plan de seguimiento del sistema, con registro de los siguientes parámetros en los puntos críticos (ver tabla 2-Registro de variables y Figura 9-Esquema de muestreo del sistema):

- ☐ % CO₂
- ☐ Caudal
- ☐ Temperatura.

Seguimiento mensual global

Mensualmente se registran los valores tomados en los puntos críticos del circuito. Con esto se realiza un balance de masa total y de CO₂ del sistema. Se calcula y grafica la tendencia de Permeability (ver Figura 11-Permeability de elementos de membranas), eficiencia de remoción de CO₂, eficiencia de recuperación de hidrocarburos, caudales de venteo y totales. Los caudales se contrastan con las mediciones de los instrumentos. A lo largo del tiempo se ve la evolución del sistema, se grafica la tendencia de los parámetros históricos y se proyectan los rendimientos en recuperación de hidrocarburos y eficiencia en eliminación de CO₂, que sirven de herramienta para planificar la periodicidad de cambios de elementos, revisión de instrumentos y parámetros del sistema, con la detección de desvío en los indicadores.

Históricamente se han cambiado elementos del sistema cada aproximadamente 2 años (ver Figura 10 – Registro histórico de cambios de elementos), que es lo aconsejado por algunos proveedores de membranas.

Analizando todos estos parámetros podemos construir curvas características de nuestro sistema que nos permitan conocer mejor su comportamiento, evaluar cambios y proyectar la respuesta del sistema, seleccionando la forma óptima de operación con el mayor rendimiento. Un gráfico característico de las membranas es una curva de %CO₂ de salida de membranas vs %CO₂ de permeado (Ver Figura 12).

Seguimiento anual completo

Además del seguimiento mensual, se realiza un seguimiento cromatográfico completo del sistema, de todos los tubos, que permite detectar posibles pérdidas por los o-rings.

En la figura 13 se pueden ver los resultados de las mediciones con la propuesta estratégica de cambio de o-rings ante la evidencia de desvíos en los contenidos de CO₂ en el gas. Asimismo, se toman las temperaturas en todos los puntos, y una pérdida por sello puede detectarse con una disminución de temperatura en ese punto de permeado. Al haber pérdida por o-rings, el gas no pasa a través de la membrana, por lo cual el porcentaje de metano presente en el permeado es mayor al que debería estar presente.

Etapas de estudio y optimización

Basándonos en el esquema de mejora continua se desarrollaron etapas de conocimiento, con elaboración y alimentación del seguimiento estricto del sistema, que se utiliza como herramienta de análisis y evaluación de la performance del mismo. Las estadísticas de parámetros clave y las curvas calculadas y extrapoladas nos permiten hacer los balances de masa para predecir comportamiento, identificar las potenciales oportunidades de mejora y planificar estrategias de optimización.

ETAPA 1 - ANTES DEL CAMBIO DE MEMBRANAS

Descripción del proceso y parámetros antes del cambio de membranas:

El gas que sale de la LTS mezclado con el gas de reciclo ingresa al pretratamiento. La corriente sobrecalentada, libre de sólidos, agua e hidrocarburos líquidos ingresa a MB-01/01A. El gas permeado se ventea en la chimenea de CO₂ y el gas residual se deriva a la segunda etapa de endulzamiento en los skids de membranas MB-02/02A. El gas residual de MB-02/02A (bajo contenido de CO₂) se comprime, se mide y se inyecta a gasoducto, mientras que el gas permeado se comprime y se dirige al pretratamiento de reciclo para ser derivado a la etapa de reciclo de membranas MB-03. El gas permeado (alto contenido de CO₂) se ventea en la chimenea de CO₂, y el gas residual se recircula a proceso, favoreciendo la recuperación de hidrocarburos, y se mezcla con el gas de salida de la LTS para ingresar nuevamente al pretratamiento de los primeros bancos de endulzamiento MB-01/01A.

Parámetros operativos antes del cambio de membranas.

Balance de materia			
entrada	Gas	Sm ³ /d	858.388
	CO ₂	%	17,6
		Sm ³ /d	150769
venteo	Gas	Sm ³ /d	200.508
	CO ₂	%	69
		Sm ³ /d	137.348
salida	Gas	Sm ³ /d	657.880
	CO ₂	%	2,0
		Sm ³ /d	13.420,8
Eficiencia separación CO ₂			91%
Recuperación de HC			91%

Ver Figura 14 – Configuración del sistema.

ETAPA 2 - DESPUÉS DEL CAMBIO DE MEMBRANAS

En diciembre de 2006 se realizó el cambio de 22 elementos de membranas del sistema.

Dicha tarea fue ejecutada en dos días.

El tercer día se realizó la medición cromatográfica de los puntos de ingreso y salida de residual y permeado de cada tubo.

A partir de los ensayos y balances realizados, y teniendo en cuenta la capacidad adicional de nuevos elementos, se procedió a derivar la corriente de permeado de MB-01/01A a la etapa de reciclo, para poder incrementar la recuperación de hidrocarburos.

Ver Figura 15: Configuración del sistema..

Balance de materia			
entrada	Gas	Sm ³ /d	856.596
	CO ₂	%	17,60
		Sm ³ /d	150.761
venteo	Gas	Sm ³ /d	185.596
	CO ₂	%	74,0
		Sm ³ /d	137.341
salida	Gas	Sm ³ /d	671.000
	CO ₂	%	2,0
		Sm ³ /d	13.420
Eficiencia separación CO ₂			91
Recuperación de HC			93%

En la Figura 18 se muestra una sensibilidad realizada con un simulador, con los parámetros de Permeability de campo, calculados con los valores de las variables registradas en los seguimientos, para evaluar la recuperación de hidrocarburos en diferentes condiciones.

ETAPA 3 - OPTIMIZACIÓN CON LA MEZCLA EN GASODUCTO

Aprovechando que el gas de salida de planta se mezcla con gas sin CO₂ proveniente de la planta El Mangrullo, se regulan los parámetros de proceso para regular el CO₂ del gas de salida según el valor para que el balance de la mezcla resulte menor a 2% CO₂, que por especificación debe ser.

Puesto que a medida que el contenido de CO₂ de salida de membranas es mayor, el contenido de CO₂ de permeado también aumenta (ver figura 17), con consecuente incremento de recuperación de hidrocarburos. De esta forma, la premisa es salir de planta con el mayor contenido de CO₂ que la mezcla lo permita para cumplir con la entrega en especificación.

Balance de materia			
entrada	Gas	Sm ³ /d	852.469
	CO ₂	%	18,71
		Sm ³ /d	159.505
venteo	Gas	Sm ³ /d	129.293
	CO ₂	%	90,51
		Sm ³ /d	117.019
salida	Gas	Sm ³ /d	723.176
	CO ₂	%	5,88
		Sm ³ /d	42.486,6
Eficiencia separación CO ₂			73,4
Recuperación de HC			98%

Ver Figura 16-Condición actual, Balance de materia/Configuración.

Estas tres etapas planteadas como base y resultados de la optimización se pueden ver en la tabla 3 del anexo, valorizando el gas recuperado para resolver el análisis técnico-económico. Asimismo se

muestra en el gráfico de Figura 19 la evolución de los parámetros de %CO₂ en función del tiempo, donde se pueden distinguir los saltos debido a los cambios de condiciones.

Medio ambiente - Emisiones

Es de conocimiento general la situación que el mundo está atravesando en cuanto al daño ecológico-ambiental. El cambio climático se debe principalmente a las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera. (Ver figura.20)

Gases de Efecto Invernadero emitidos en la planta:

- ☐ CO₂
- ☐ CH₄.
- ☐ N₂O.

Estos tres tipos de gases tiene diferente magnitud de efecto en el perjuicio en la capa de ozono y al medio ambiente. Por tal motivo, se toma como regencia el CO₂ y este daño se mide en toneladas de CO₂ equivalente.

Ton CO₂ equivalente = tonCO₂ + 21 x tonCH₄ + 310 x tonN₂O

CO₂ equivalente: Cantidad de CO₂ que podría causar el mismo grado de forzamiento radiactivo que una mezcla determinada de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Es decir, cantidad de CO₂ necesaria para producir el mismo efecto invernadero que el gas en cuestión.

El metano es 21 veces más perjudicial que el CO₂, y el N₂O es 310 veces más perjudicial que el CO₂.

Hay un gran compromiso corporativo de responsabilidad con el medioambiente. Se realiza un programa de gestión de inventarios de emisiones que proporciona la herramienta de identificación de puntos críticos con oportunidades de mejora de mayor impacto.

Las fuentes de emisión de Aguada de la Arena son:

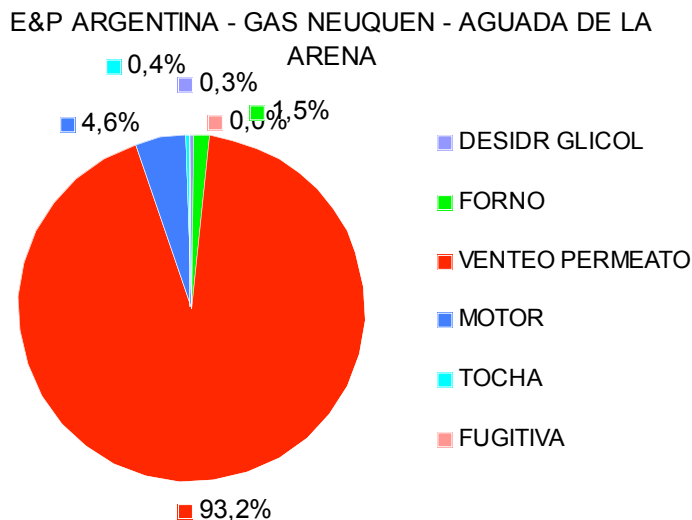
- Combustión estacionaria:
 - ☐ Compresores.
 - ☐ Hornos.
 - ☐ Antorcha.
- De proceso:
 - ☐ Endulzamiento con membranas.
 - ☐ Ajuste de punto de rocío.
- Fugitivas:
 - ☐ Válvulas, bridas, juntas,etc. Fugas imprevistas que no se miden.

A continuación, brevemente se describe la distribución de emisiones de la planta y el impacto que tiene el trabajo de optimización del tratamiento en las membranas en el total de las emisiones producidas, contribuyendo con el compromiso corporativo de control y reducción de emisiones, con la mejora continua del proceso.

Escenario base

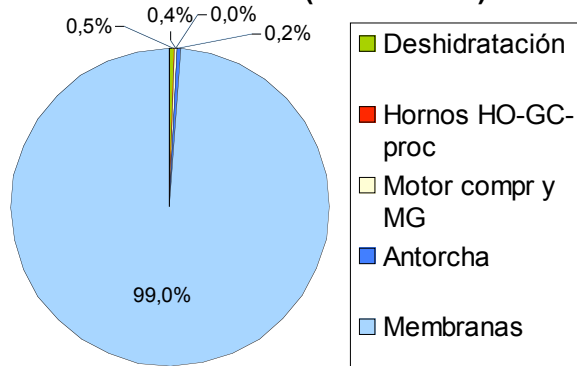
Tomamos como ssituación base las emisiones promedio mensuales de 2006, antes de realizar el cambio de elementos y optimización de configuración.

Las emisiones de CO₂ equivalente de la planta en un 93,2% provienen del sistema de membranas. Por lo cual una mejora en este sistema es la de mayor impacto en el total de las emisiones.



Como dijimos anteriormente, el metano es 21 veces más perjudicial que el CO₂, por lo cual identificamos la fuente de mayor impacto en las emisiones de metano.

Emisiones ADLA 2006 (ton de CH₄)

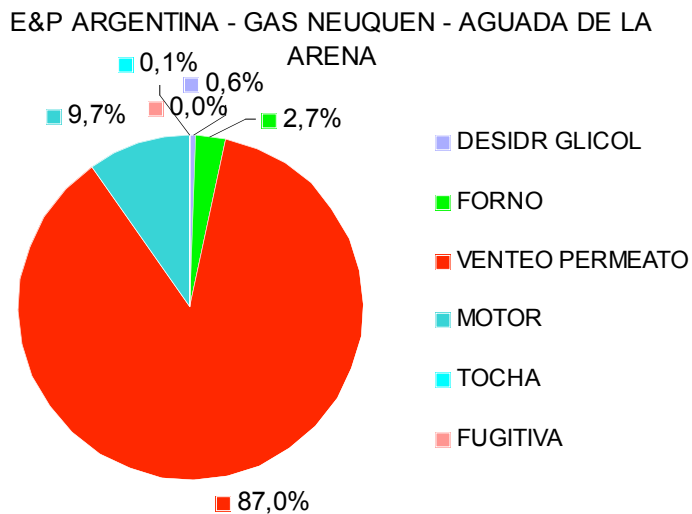


Por una cuestión intrínseca de las membranas, en el permeado hay metano asociado al gas que se ventea.

Este análisis también fue parte de las premisas en la mejora continua de proceso: Disminución de las emisiones contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

Escenario actual

La contribución de emisiones de CO₂ equivalente bajó sustancialmente en el total de emisiones de la planta.



Para hacer el análisis de performance del sistema se hace seguimiento de indicadores que sean representativos, y permitan identificar desvíos de proceso, y mejoras por optimización en el rendimiento de planta. El indicador global para gestión de emisiones representa las toneladas de CO₂ equivalente emitidas por gas tratado en la planta (Ton CO₂e/MMSm³ gas tratado). Este indicador bajó de 1200 a 670 (Ver figura 21 – Tendencia indicador de emisiones).

CONCLUSIÓN

Es indispensable la elaboración de un plan de seguimiento y análisis del sistema que permita la mejora continua del proceso.

En cuanto al comportamiento de las membranas, podemos decir que:

- ☐ A medida que aumenta el CO₂ de salida de membranas, aumenta el CO₂ en el permeado y aumenta la recuperación de hidrocarburos.
- ☐ La Permeability aumenta con la temperatura y la presión parcial.

Con la optimización de los parámetros y configuración, basándonos en los resultados del seguimiento de variables críticas, logramos:

- ☐ Reducción del caudal de gas total venteado a la atmósfera
- ☐ Reducción de las emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera. . En la actualidad se vende en ADLA un 55% menos de CO₂e. Con esta optimización se evitan 18000 ton/mes de emisiones de CO₂e a la atmósfera.
- ☐ Incremento en el caudal de gas de venta. Se obtuvo un beneficio de 80Mm³/d de venta de gas adicional, que equivale a un 12% incremental.

De la metodología aplicada concluimos:

- ☐ La estrategia de análisis y seguimiento nos dio excelentes resultados.
- ☐ Se elaboraron los procedimientos que tenemos como sistemática de operaciones.

De esta manera se logró minimizar el impacto ambiental, a través de menor volumen de emisiones a la atmósfera, y se obtuvo mayor recuperación y venta de hidrocarburos con menores costos de tratamiento.

ANEXOS

Figura 1. Diagrama de bloque

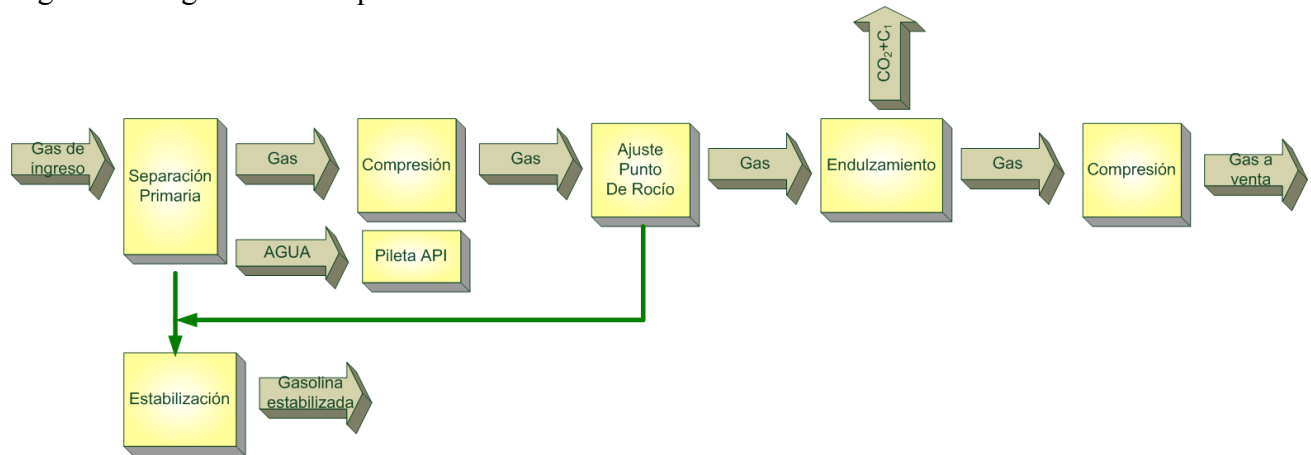


Figura 2. Distribución de CO₂ en pozos.

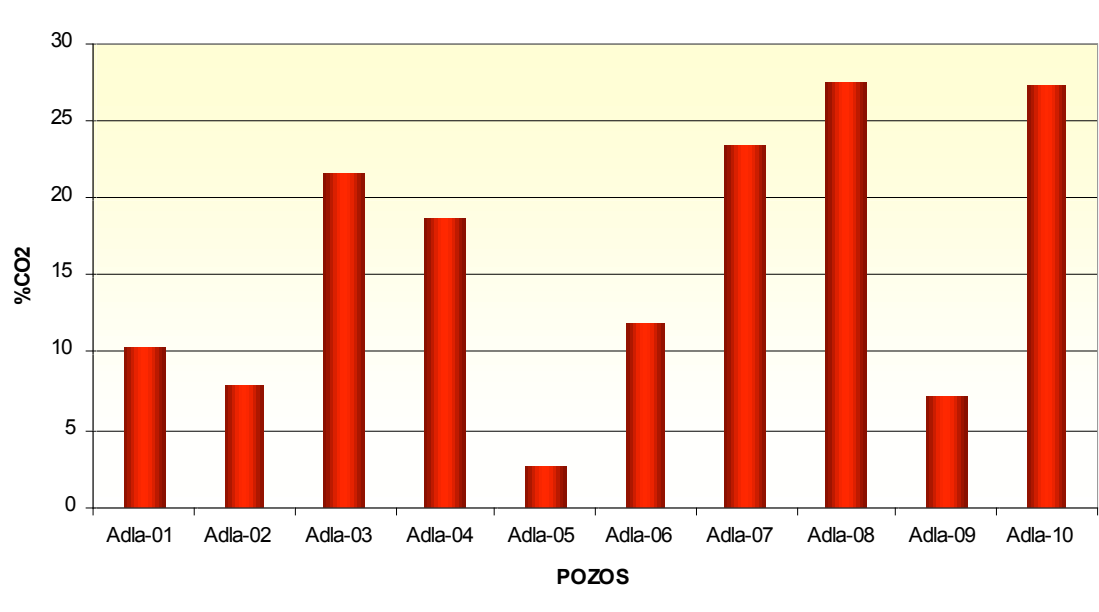


Figura 3. Diagrama de Proceso

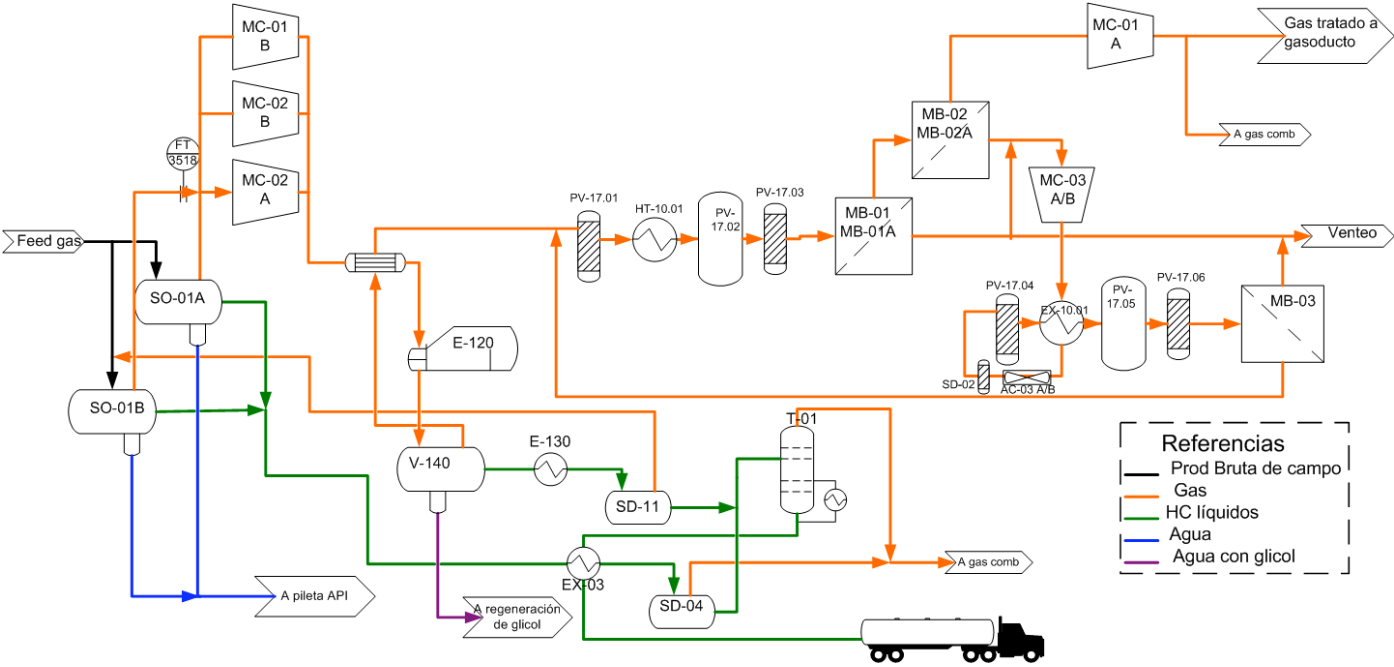


Figura 4. Fotos sistema de membranas



Figura 5. Envolvente del gas de entrada a planta y entrada y salida de membranas

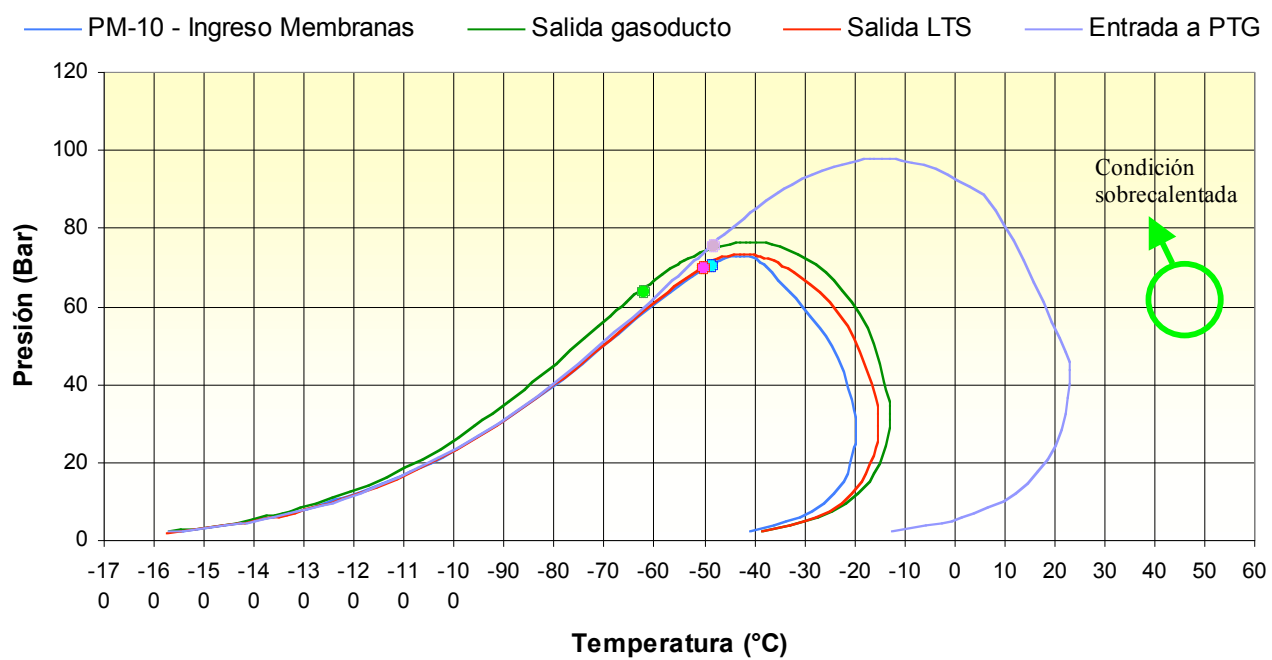


Figura 6. Detalle de Sistema de membranas - Elementos

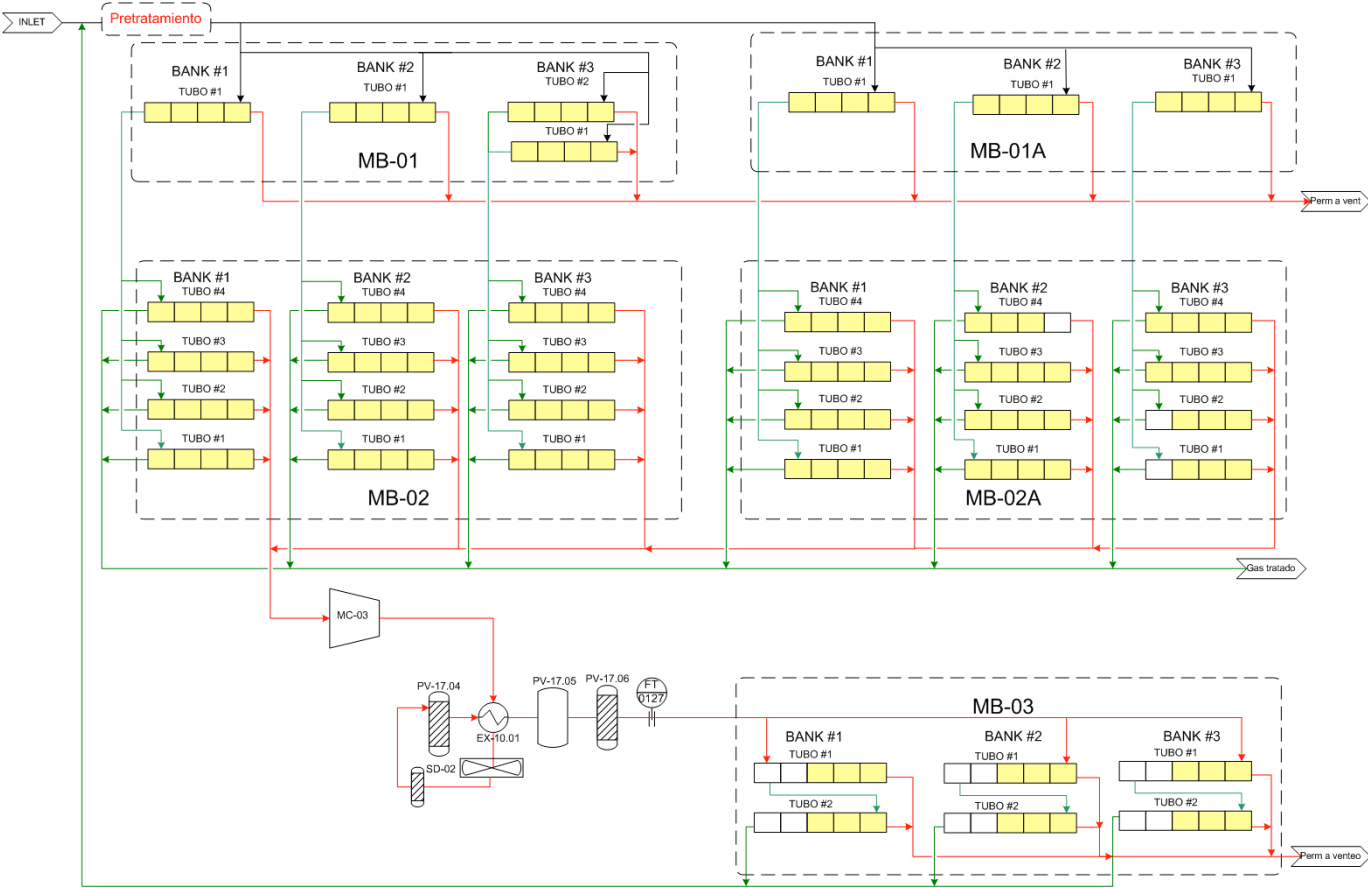


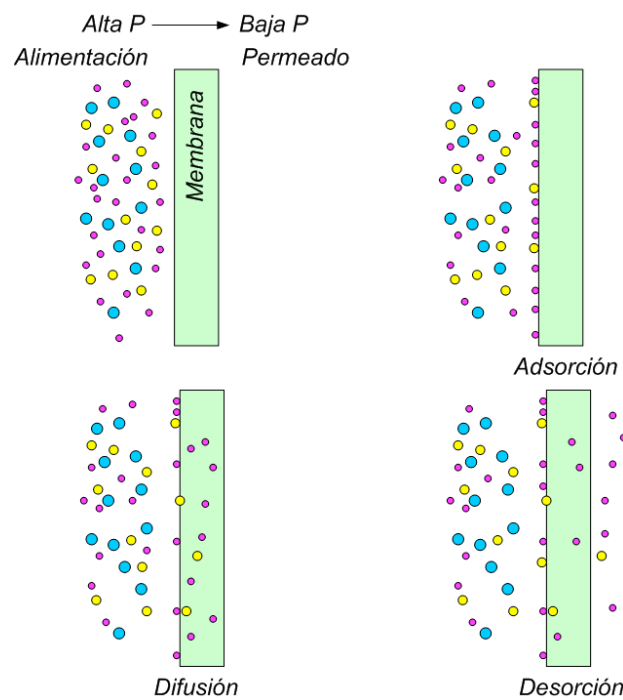
Tabla 1. Detalle elementos de membranas

Skid		MB-01	MB-01A	MB-02	MB-02A	MB-03	Total ppal	TOTAL
Bancos		3	3	3	3	3	12	15
Tubos	x banco	1/1/2	1	4	4	2	31	37
	total	4	3	12	12	6		
Elementos	esp x tubo	4	4	4	4	5	122	140
	total	16	12	48	46	18		
Espaciador	x tubo	0	0	0	-	2	2	14
	total	0	0	0	2	12		

Figura 7. Foto elemento de membrana



Figura 8. Detalle etapas que describen la Permeability



[illegible][illegible]

Figura 10. Distribución histórica de cambios de elementos.

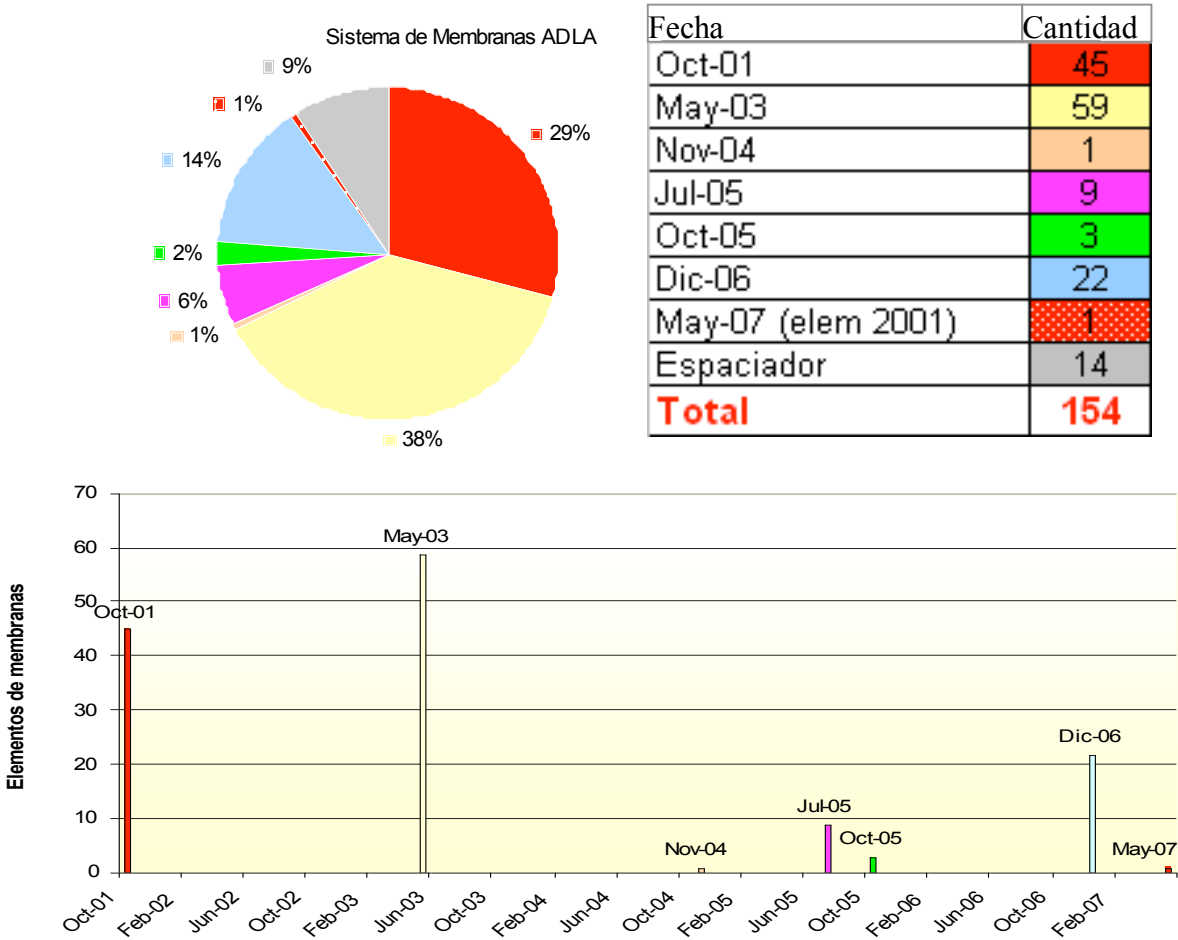


Figura 11. Permeability en membranas

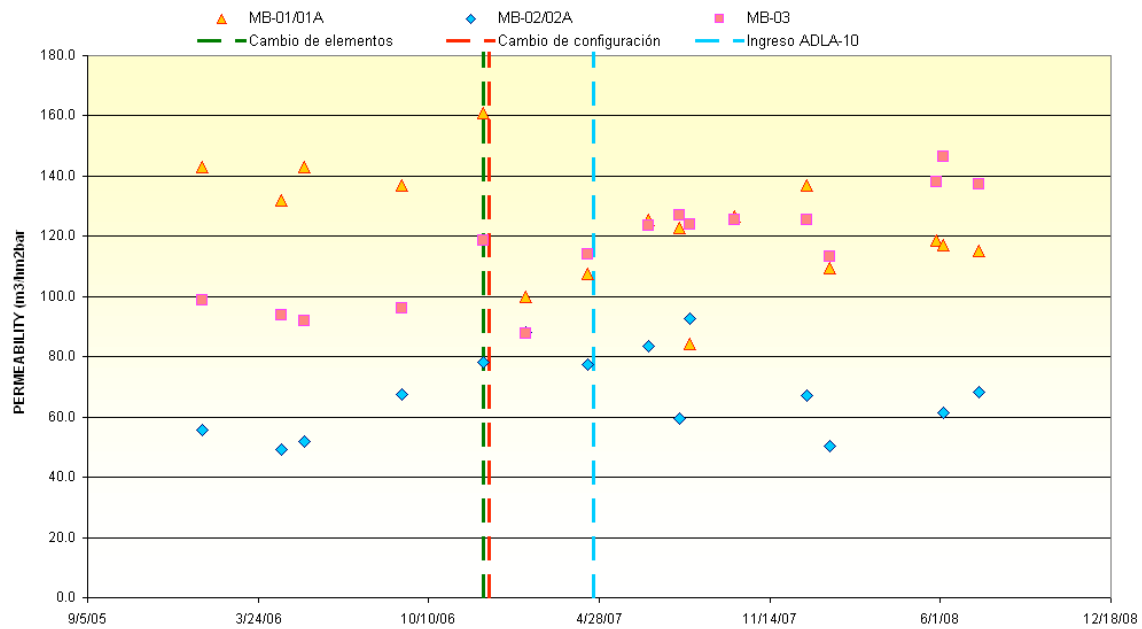


Figura 12. Curvas de %CO₂ de salida de membranas vs %CO₂ de permeado

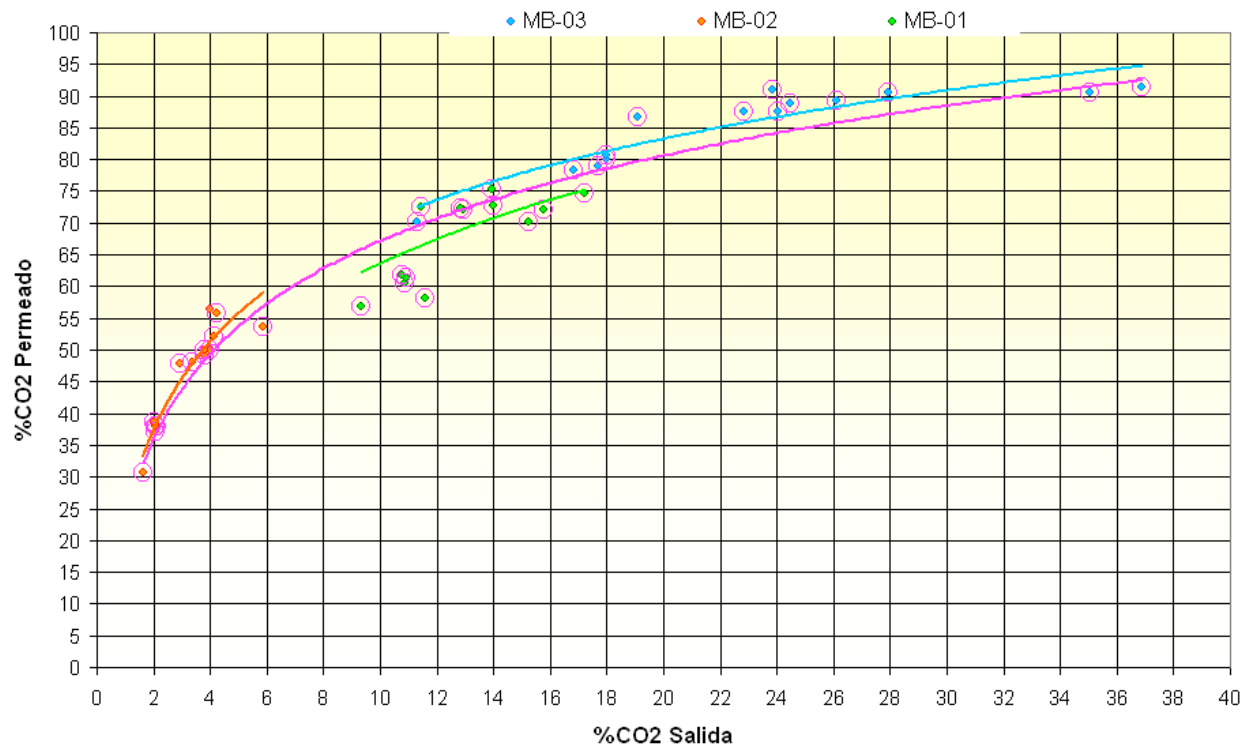
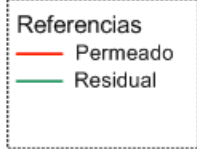


Figura 13. Seguimiento de sistema, detección de fugas y cambio de o-rings.



Válvula cerrada, Gas
Permeado MB-01/01A a
viente



30% Gas
Permeado
MB-01/01A



Figura 16. Condición actual

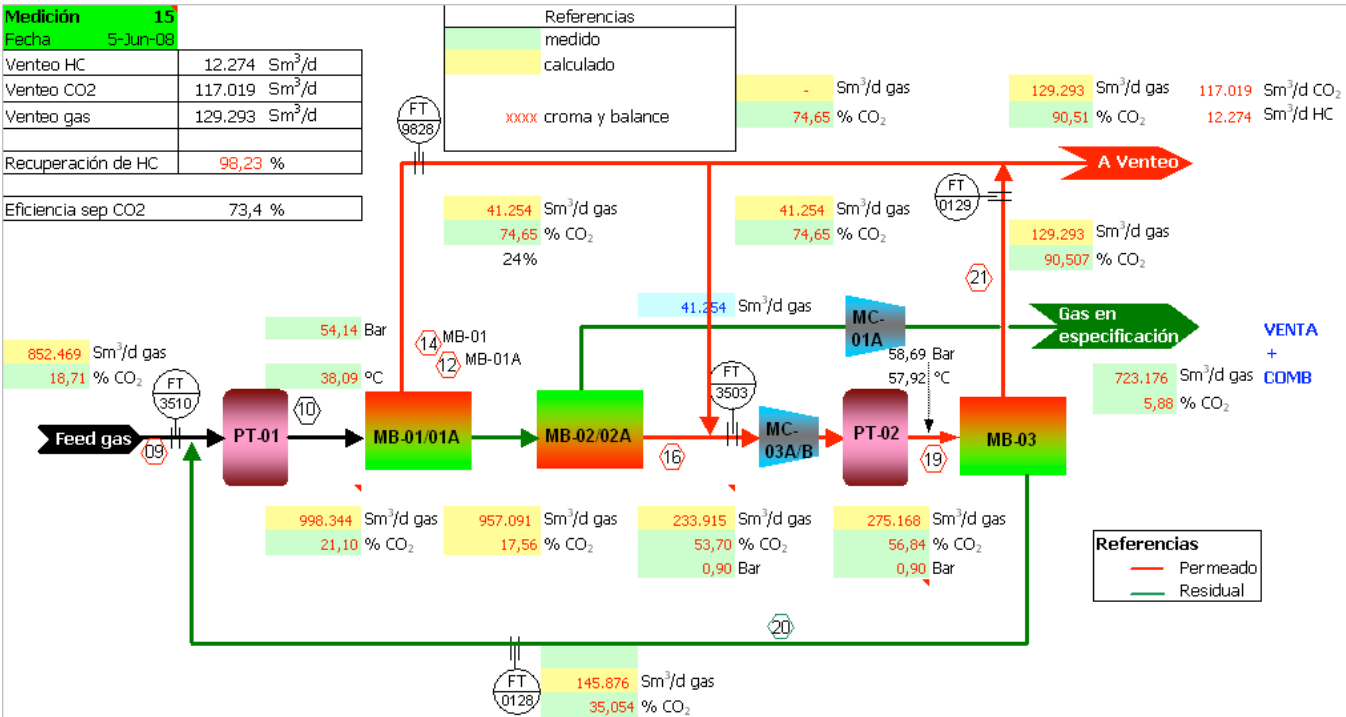


Figura 17. Curvas de %CO₂ de salida de membranas vs % CO₂ de permeado Global del sistema.

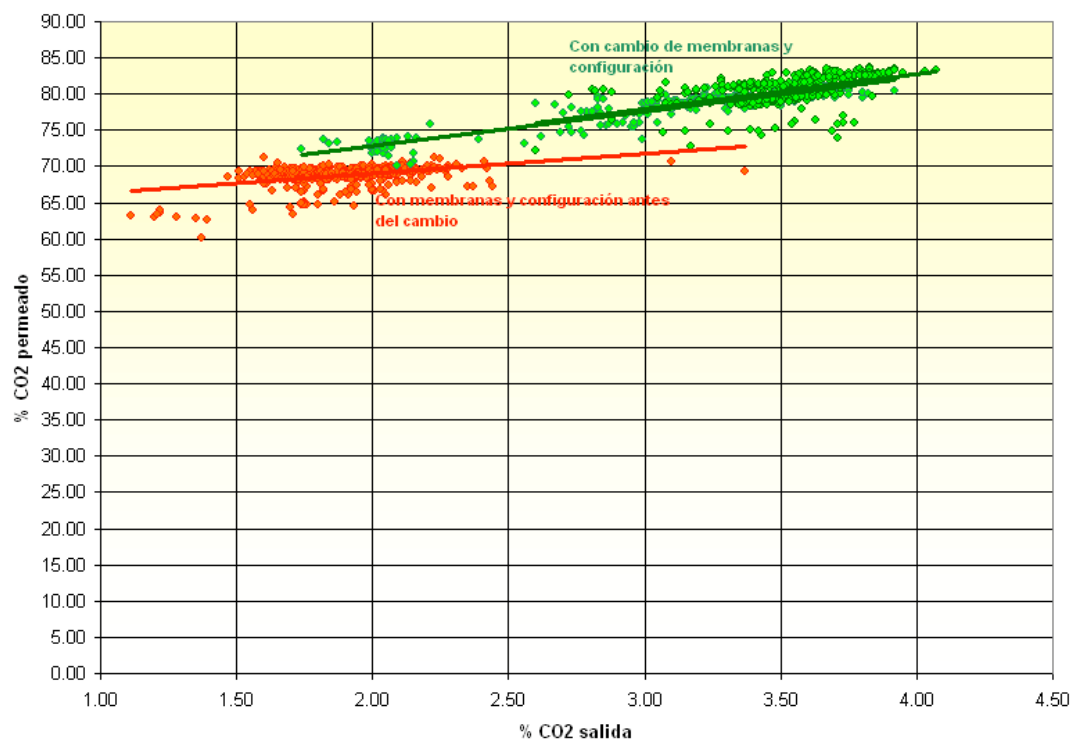


Tabla 3. Balance económico.

	VENTA		Diferencias		
Salida de planta	Sm ³ /d@9300	Sm ³ /año@9300	Sm ³ /d@9300	Sm ³ /año@9300	U\$/año
2%	646,420				
antes del cambio	646,559	235,994,139			
2%	658,415				
después del cambio	658,557	240,373,163	11,997	4,379,024	258,575
Con incremento de caudal de ingreso	694,994				
	695,143	253,727,227	48,584	17,733,089	1,047,114
4%	740,294				
	723,896	264,222,144	28,753	10,494,916	619,710

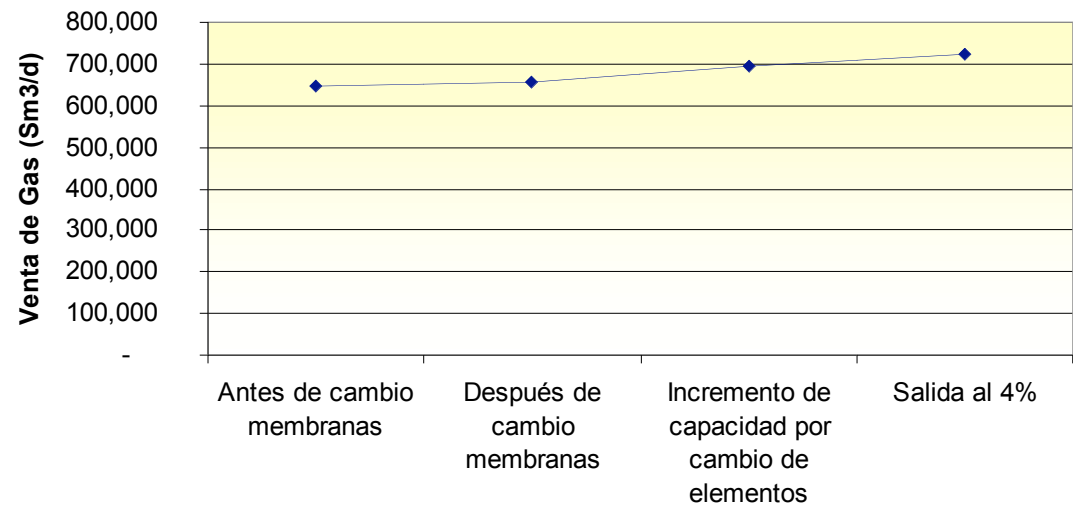


Figura 18. Curvas de sensibilidad de recuperación de hidrocarburos para diferentes %CO₂ de salida de gas

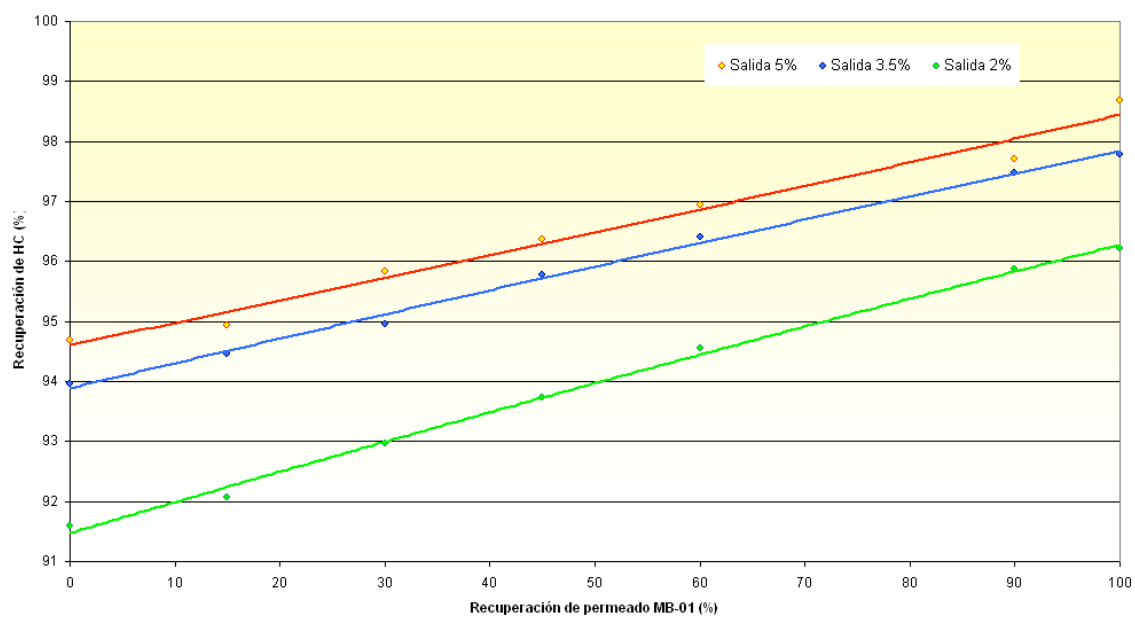
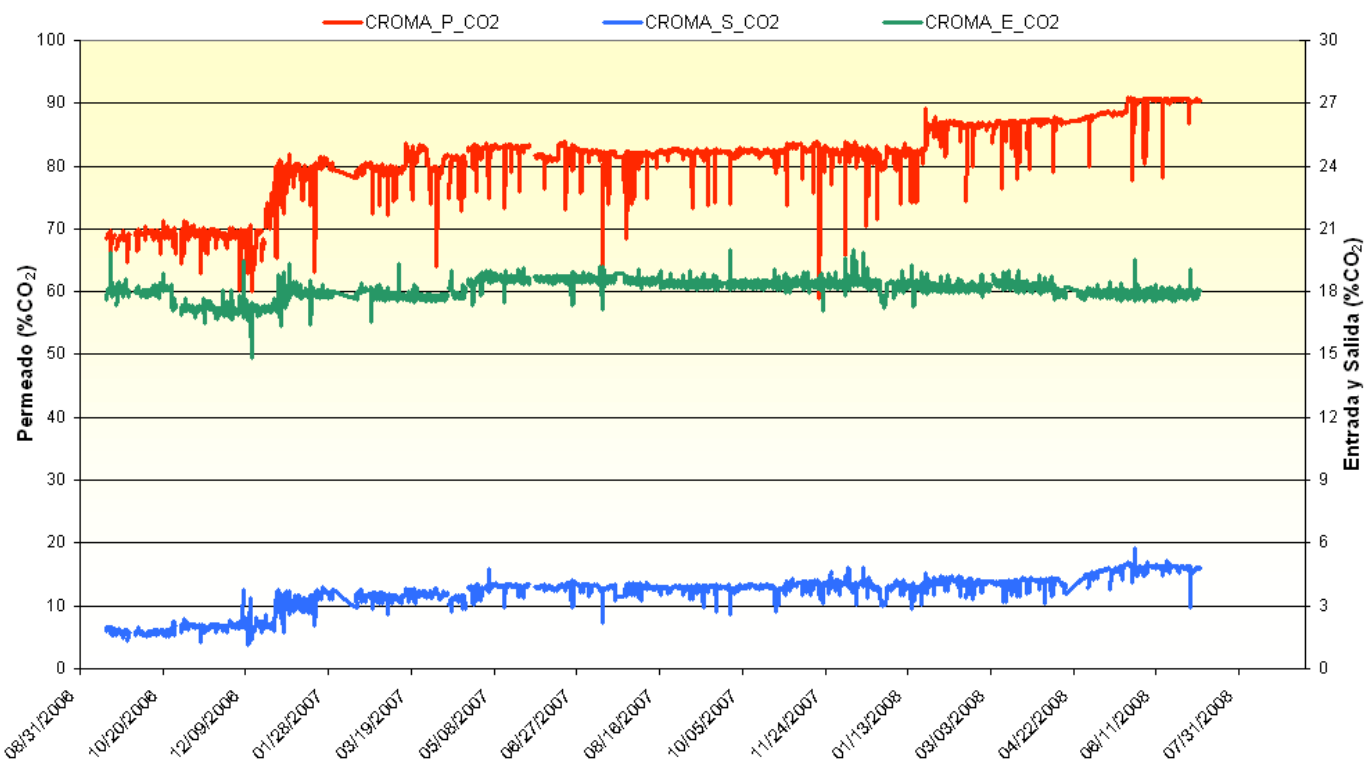


Figura 19. Tendencias de parámetros

A - Tendencia % CO₂ entrada, salida y permeado. Puntos con cromatografía on-line.



B- Tendencia de caudales de gas permeado

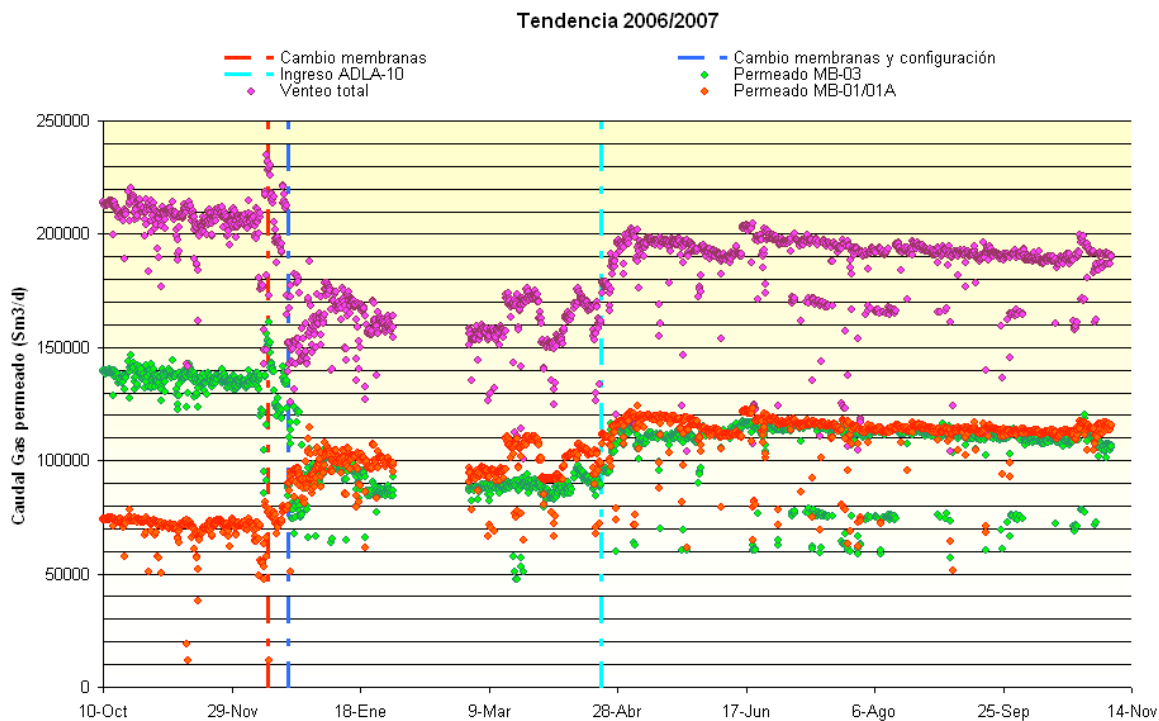


Figura 20. Esquema de calentamiento global por emisiones de gases efecto invernadero

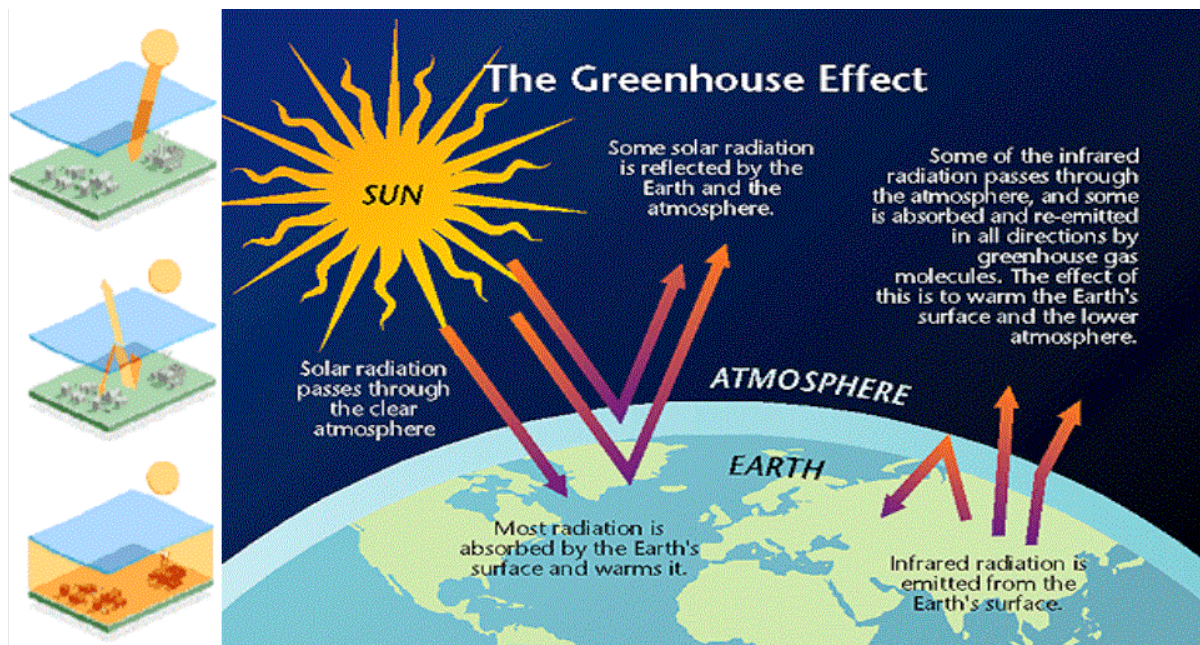
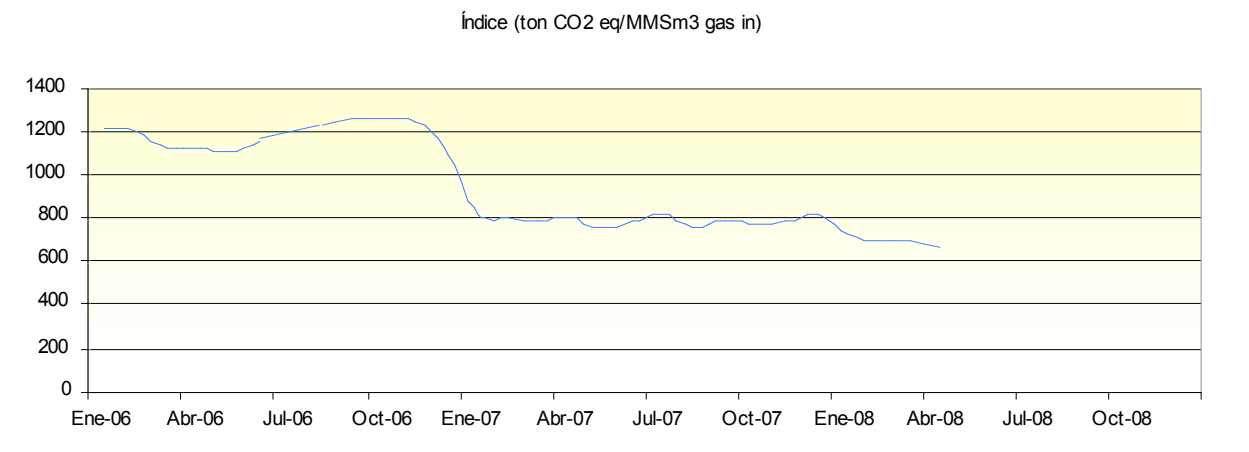


Figura 21. Índice de emisiones de planta



Ana Valeria Herrero Capitanich
Ingeniera Química

Información

- ☐ Domicilio laboral: Ruta Prov N° 7 . Acceso Planicie Banderita, Ruta 51 km 4,5..
- ☐ Telefono laboral: (0299) 4895268.
- ☐ Dirección de correo electrónico: valeria.capitanich@petrobras.com

Formación

1995-2001 Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

- Título: Ingeniera Química.

Experiencia profesional

Noviembre 2005 – Fecha Actual. **PETROBRAS ENERGÍA S. A.**

Área: Ingeniería de procesos. Neuquina Gas: Yacimientos Sierra Chata, Aguada de la Arena, El Mangrullo, Río Neuquén. Tratamiento de gas de yacimientos con alto contenido de CO₂.

Febrero 2003 – Noviembre 2005 **Empresa de Ingeniería “Process Ing”**

Área: Ingeniería de procesos. Diseño, dimensionamiento, análisis de fallas, análisis de riesgo y optimización de instalaciones de superficie y ductos, para la industria del petróleo y gas (plantas compresoras, plantas de tratamiento de gas, agua y petróleo).

Claudio Juan Cepollaro

Información

- ☐ Empresa : PETROBRAS ENERGÍA S.A
- ☐ Domicilio laboral: Ruta Prov N° 7 . Acceso Planicie Banderita, Ruta 51 km 4,5..
- ☐ Teléfono laboral: (0299) 4895202
- ☐ Dirección de correo electrónico: claudio.cepollaro@petrobras.com

Formación

- ☐ 1976-1982 Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca
Título: Ingeniero Químico.
- ☐ 1983-1984 UBA – Facultad de Ingeniería IAPG
Título: Ingeniero en Petróleo - Producción

Experiencia profesional

2003-2008 **PETROBRAS ENERGÍA S.A**

Activo Gas Neuquina
Jefatura de Producción

Área – Producción – Operaciones

Yac: Río Neuquén – Sierra Chata – Aguada de la Arena – El Mangrullo

2001-2003 **PECOM – PETROBRAS ENERGÍA S.A**

Activo Austral : Río Gallegos

Jefatura de Producción

Área - Producción – Operaciones Santa Cruz I y II .

1992-2001 **QUINTANA MINERALS.**

Río Gallegos

Gerencia de Explotación

Área - Producción – Operaciones

Yac: C.Boleadoras – La Porfiada - La Maggie – C-Bola etc.

1984-1992 **YPF**

Administración Austral: Río Gallegos

Área - Producción – Operaciones.

Yac: C.Boleadoras – La Porfiada - La Maggie – C-Bola etc.