

SISTEMA DE ELIMINACION DE OLOR NO CARACTERISTICO EN CO₂ CAPTADO DE UN PROCESO DE PRODUCCION DE ALCOHOL A PARTIR DE CAÑA DE AZUCAR*

Jorge Ivan Sabogal Paz¹
Jorge Maldonado Villa²
David Eugenio Dajles Lenis³
Duvan Javier Orozco Olarte⁴
Jose Mauricio Cifuentes Blandon⁵

Resumo

Con este trabajo se desarrolló un sistema para eliminación de un olor no característico en CO₂ captado como subproducto industrial de un proceso de producción de alcohol por fermentación de jugos de caña de azúcar. Al incrementarse la producción, este CO₂ comenzó a presentar un olor Dulce que afectaba la calidad insabora por lo cual en este trabajo se reporta el diseño y análisis de un sistema de eliminación de este olor no característico basado en sistemas de lavado. optimizado por sistemas de control automático. En los resultados se reporta el efecto en la disminución de los olores no característicos de distintos sistemas con respecto a su eficacia técnica e impacto.

Palavras-chave: Lavado de gases; CO₂; Captación CO₂; Dimetil sulfuro.

ODOR ELIMINATION SYSTEM UNCHARACTERISTICALLY CAPTURED CO₂ PROCESS OF ALCOHOL PRODUCTION FROM SUGAR CANE

Abstract

With this work a system for removal of an uncharacteristic odor captured CO₂ as an industrial by-product of a process of alcohol production by fermentation of sugar cane juice it was developed. With increased production, the CO₂ began presenting a sweet smell tasteless affecting the quality for which this paper reports the design and analysis of a system of eliminating this uncharacteristic odor -based washing systems optimized automatic control systems. Effect results in decreasing odors uncharacteristic of different systems with regard to their technical effectiveness and impact is reported.

Keywords: Scrubbing; CO₂; CO₂ uptake; Dimethyl sulphide.

¹ *Magister, magister en educación superior con énfasis en investigación aplicada. Ingeniero de Materiales, licenciado en Electricidad y Electrónica, Docente – Investigador, Sector eficiencia energética, papel y artes gráficas, universidad Antonio Nariño – Cali/Valle del Cauca/Colombia.*

² *Doctor, Doctor en Ingeniería con Énfasis en Ingeniería de Materiales. Ingeniero de Materiales, Tecnólogo Químico, Docente – Investigador, universidad Antonio Nariño – Cali/Valle del Cauca/Colombia.*

³ *Magister, magister en Administración. Ingeniero Industrial, Docente – Investigador, universidad Antonio Nariño – Cali/Valle del Cauca/Colombia.*

⁴ *Estudiante de Ingeniería Electromecánica, Estudiante de Último año – universidad Antonio Nariño – Cali/Valle del Cauca/Colombia.*

⁵ *Estudiante de Ingeniería Electromecánica, Estudiante de Último año – universidad Antonio Nariño – Cali/Valle del Cauca/Colombia.*

1 INTRODUCCION

En este trabajo presenta el diseño y montaje de un sistema de remoción de olor no característico de una empresa captadora y distribuidora de CO₂, a partir de un proceso de producción de alcohol por medio de la fermentación de jugo de caña de azúcar, Debido a incrementos en la capacidad de producción de alcohol de la empresa, el CO₂ captado en las pruebas organolépticas comenzó a presentar olores y sabores no característicos que afectan la calidad del producto y generando quejas de los clientes que lo usaban para distintos procesos de carbonatación para la industria de alimentos.

Para la eliminación de estos olores se presenta un diagnóstico inicial del proceso y se plantea la instalación de un sistema de lavado con agua mediante un proceso totalmente automatizado. En el estudio se plantea la identificación de variables de proceso de control y manipulación de las mismas y el efecto en variables de pruebas organolépticas entre los que se destaca la inclusión de un tercer scrubber y el incremento en el tiempo de los trenes.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 CO₂ en la industria de alimentos

El CO₂ presurizado es una de las principales materias primas en la elaboración de distintos productos alimenticios carbonatados como son las bebidas, el cual debe cumplir distintos requisitos de BPM para su manejo en este sector; es por eso que el CO₂ presurizado y captado de sectores industriales por fuera del sector alimenticio tiene controles para garantizar la ausencia de contaminantes y patógenos al hombre para garantizar su inocuidad.

Por lo anterior, actualmente en Colombia muchas empresas han optado por captar el CO₂ de la misma industria de alimentos garantizando las diferentes exigencias del sector aprovechando la incursión de Colombia en la producción de alcohol carburante a partir de la fermentación de jugo de caña de azúcar las cuales con llevan una atractiva producción de CO₂ de este proceso.

2.2 Dióxido de Carbono, Descripción General y Propiedades Químicas (CO₂)

El anhídrido carbónico o dióxido de carbono es un gas resultante de la combinación de dos cuerpos simples: el carbono y el oxígeno. Se produce por la combustión del carbón o los hidrocarburos, la fermentación de los líquidos y la respiración de los humanos y de los animales.

En ocasiones se le llama ácido carbónico gaseoso o anhídrido carbónico y al CO₂ sólido se le llama con frecuencia hielo seco. Presente en proporción débil en la atmósfera, se asimila por las plantas, que por su parte devuelven oxígeno.

En resumen, el CO₂ es un gas de olor ligeramente picante, incoloro y más pesado que el aire (1.4 veces). No es esencial para la vida. Solidifica a temperatura de -78°C, formando nieve carbónica. En solución acuosa el gas crea el ácido carbónico, muy inestable para ser aislado de forma sencilla.

2.3 Principales Aplicaciones del Dióxido de Carbono.

Química: El Dióxido de carbono es utilizado en química para el control de la temperatura en reactores. El CO₂ También se utiliza en neutralización de efluentes alcalinos, de igual manera también se utiliza en condiciones supercríticas para purificaciones o para operaciones de teñido de polímeros, fibras animales o vegetales.

Farmacéutica: El Dióxido de carbono es utilizado en inertización, síntesis química, extracción con fluidos supercríticos, neutralización (pH) de aguas residuales o de proceso y transporte a baja temperatura (-78°C ó -108°F).

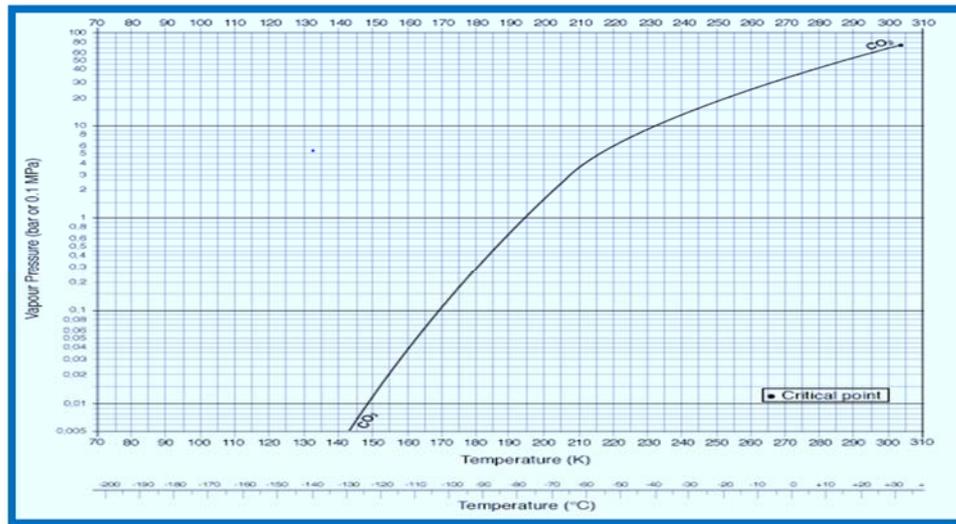
Alimentos y bebidas. El CO₂ es utilizado en el sector alimenticio, donde es uno de sus principales dominios y se tiene mayor participación en:

- La carbonatación de bebidas gaseosas, como las sodas, el agua mineral o la cerveza.
- En el acondicionamiento de productos alimenticios, sus propiedades de inertización y bacteriológicas se combinan bien con las del nitrógeno y aumenta la duración de los alimentos.
- Como fluido criogénico en las operaciones de enfriamiento o de congelación, o como nieve carbónica para la regulación de temperaturas durante la distribución de productos alimenticios.
- La cafeína se remueve del café por el CO₂ supercrítico.

Medicinal: El CO₂ produce una atmósfera similar a las condiciones fisiológicas durante la manipulación de órganos artificiales. El dióxido de carbono es utilizado mezclado con el aire o el oxígeno como estimulante para mejorar la aireación del sistema respiratorio. Sirve además, en la dilatación quirúrgica para la realización de laparoscopia abdominal.

Industria Metalúrgica: *El Dióxido de Carbono se utiliza normalmente para la protección del medio ambiente:* Se emplea para eliminar los humos rojos durante las cargas de chatarra y carbón, para la reducción de la nitruración durante la colada en nivel del suelo. En la metalurgia de no férreos, el dióxido de carbono sirve para suprimir los humos durante la transferencia de mata (producción de Cu/Ni) o lingotes de metales preciosos (producción de Zn/Pb). Pueden utilizarse pequeñas cantidades de CO₂ en los procesos de reculado de las aguas provenientes de drenado de minas. Los láseres de CO₂ se alimentan con dióxido de carbono de pureza especial

Curva de Equilibrio Líquido Vapor. La curva de presión de vapor. En la figura 1, la presión es en bar o 0.1 MPa, temperatura en K o °C. El punto crítico es indicado por un punto negro en la curva de equilibrio líquido- vapor.

Figura 1 Curva de Equilíbrio Líquido – VaporFuente: www.crcleanair.com

2.4 LAVADOR DE GASES (CO₂) O SCRUBBER

Los lavadores de gases se utilizan para limpiar el CO₂ gaseoso de contaminantes. Para ello se introduce el aire contaminado por la parte inferior de la columna y se hace circular hacia la parte superior. Por su parte, el líquido de lavado se introduce por la parte superior y se reparte por el cuerpo de la columna para absorber los contaminantes y lavar de este modo el CO₂ Gaseoso. Este tipo de lavadores, son utilizados para la eliminación de olores, Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), Amoniacó (NH₃), Gases Tóxicos, entre otros; acorde a la aplicación, se debe escoger los componentes, tales como, El Relleno y el fluido lavador.

Este principio ha sido implementado, en varios procesos Industriales a lo largo del tiempo, no necesariamente un lavador de gases debe ser con agua pura, también pueden utilizarse saturaciones acorde a la necesidad del proceso. Por ejemplo un lavador de CO₂ Gaseoso con una solución acuosa de monoetanolamina (MEA) es el disolvente estándar para corrientes de gas con relativamente bajas concentraciones de CO₂ y esencialmente, no hay contaminantes menores, tales como SO₂.

Esto es especialmente cierto, cuando el gas se trata a bajas presiones y se requiere la eliminación máxima de CO de carbón. Las principales ventajas en el uso MEA / agua soluciona la reactividad de CO₂, su alta capacidad de absorción y su bajo peso molecular, el principal inconveniente de este disolvente es el alto calor de reacción con CO₂ lo que lleva a mayores requerimientos de energía para usar en los sistemas de MEA, un lavador de gases, generalmente se compone por las siguientes partes:

- Separador de Gotas: Sirve para retener las gotas del líquido de lavado evitando que abandonen el cuerpo del lavador de gases, los separadores bien diseñados, son capaces de retener hasta el 90% de las gotas formadas, y su eficiencia será la función de la distribución del tamaño de la gota.
- Distribuidor del Líquido: la distribución del líquido de lavado es uno de los parámetros más importantes del lavador porque debe conseguir una distribución uniforme del líquido para obtener altas eficiencias de

lavado ya que de no ser así, el líquido puede elaborar caminos y existiría la posibilidad de quedar partes del cuerpo del lavador sin paso de líquido lavador.

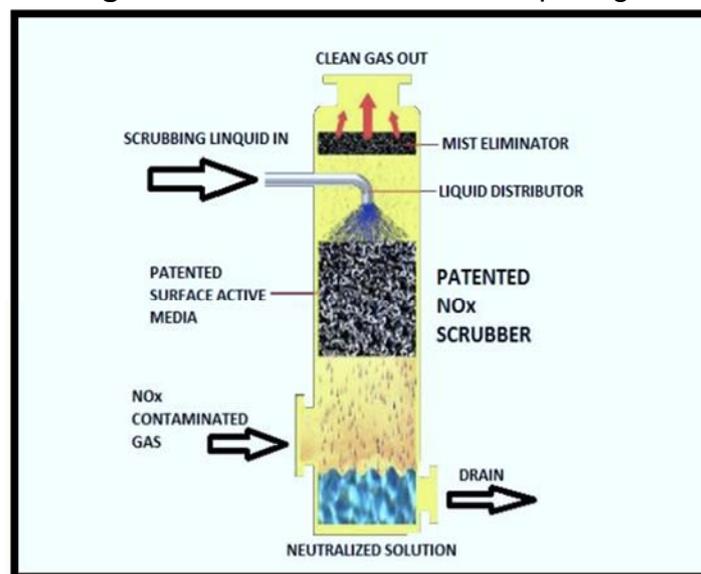
- Material de Relleno: Esta zona donde se producen las reacciones químicas (cuando aplica) en la torre de lavado, se encuentra el gas a lavar en contra flujo con el líquido lavador, el paso de los dos fluidos por el relleno, permite una elevada tasa de transferencia de materia, y al mismo tiempo, mantiene una mínima pérdida de presión.

La selección del material de relleno, se debe realizar acorde a las necesidades y condiciones técnicas, teniendo en cuenta los dos o más fluidos que se van a tener presentes, en este caso, el relleno a utilizar es una canastilla de plástico, por su economía, rendimiento y anti oxidación es la mejor alternativa.

3 METODOLOGIA

Para el desarrollo del sistema de limpieza del CO₂ se planteó efectuar un diagnóstico inicial de las condiciones de la planta identificando los parámetros que inciden en la presencia de sustancias no deseables en el CO₂. Para ello este trabajo se enfoca en tomar como punto de partida el diseño de un scrubber patentado por una empresa especializada en limpieza de aire, como el que se aprecia en la figura 2 para obtener un diseño preliminar.

Figura 2 Diseño de un scrubber para gas



Fuente: www.crcleanair.com

Luego se diseñó el sistema según las capacidades en las líneas principales de flujo controlado por un sistema automatizado a diferentes regímenes.

Después se efectuaron una serie de pruebas en el sistema haciendo análisis comparativos con distintos ciclos de pruebas basados en los resultados de composición de impurezas del gas CO₂ y de pruebas organolépticas según la norma internacional EIGA IGC Doc 70/08/E Carbón dioxide source Qualification Quality Standards and Verification

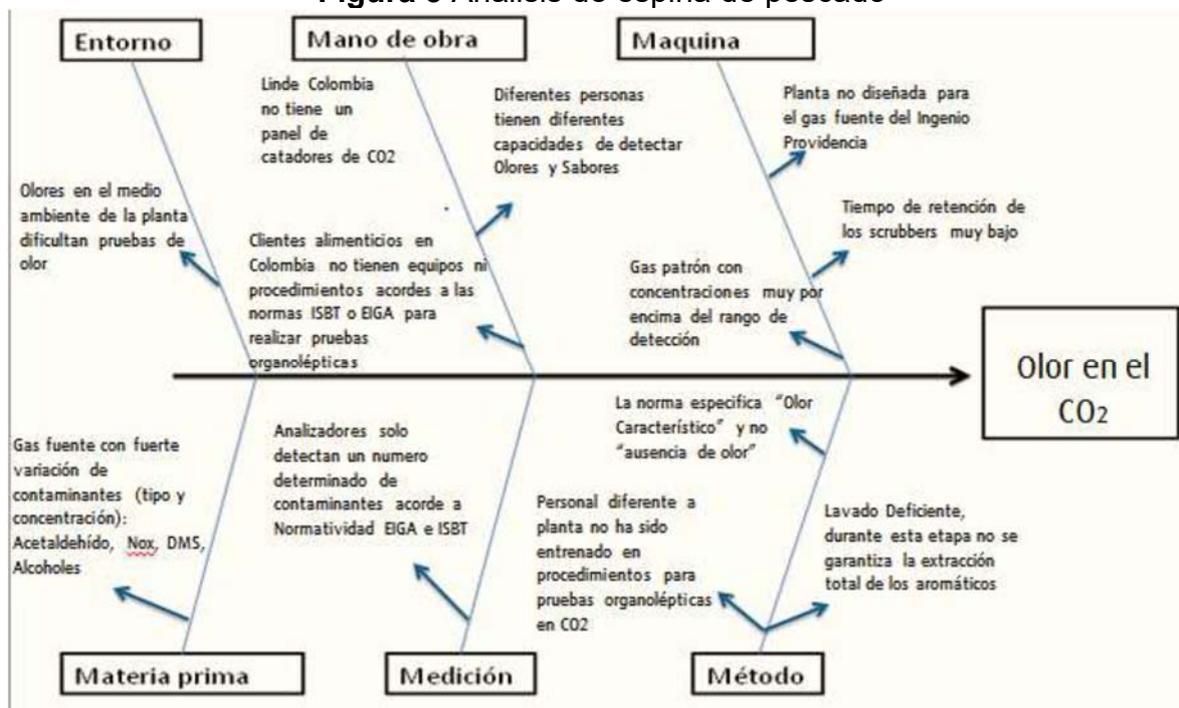
4 RESULTADOS Y DISCUSION

Al efectuar el análisis del funcionamiento de la planta después de incrementarse la producción de alcohol carburante a partir de la fermentación de jugo de caña, se encontró que el subproducto industrial de CO₂ captado por la planta tenía las siguientes características:

- Contenidos altos de Dimetil Sulfuro de 0.58 ppm
- Un sistema de lavado Para el gas carbónico con agua en contraflujo con efecto regadera
- El sistema denominado Scrubbers, se compone por dos recipientes de acero inoxidable, de 44.56 cm de radio por 280 cm de longitud, con agua en reposición del acueducto en el scrubber 1 del 90% y agua de recirculación en el scrubber 2 en un 70%, cada uno de ellos con una bomba centrífuga encargada de circular el flujo de agua a través de los Scrubbers.
- El proceso carece de sistemas automatizados y algunas unidades que cuentan con algún sistema de control trabajan con rangos por fuera de las variables de proceso, en este paso de lavado, la operación es completamente manual. Destacándose que en los pasos de lavado la operación es totalmente manual.

Análisis causa efecto. Mediante la técnica Ishikawa descrita en la figura 3, se realizó el análisis de causa raíz, en diferentes líneas de proceso de captación y lavado de CO₂ obtenido por el proceso de fermentación de jugos de caña de azúcar

Figura 3 Análisis de espina de pescado



Fuente: Los Autores

Entorno. Los olores en el medio ambiente de la Planta dificultan pruebas de olor las condiciones ambientales afectan las pruebas organolépticas o sensoriales, ya que la Planta de CO₂ se encuentra ubicada junto a la PTAR de aguas residuales del

ingenio azucarero y contiguo a la destilería de alcohol carburante, afectando la capacidad de detectar olores con umbral de percepción bajo.

Mano de Obra. La empresa productora de gases no tiene un panel de catadores de CO₂, ante la inconformidad por el olor presente en el producto final, se recalca que para realizar pruebas organolépticas es necesario estar acreditado para realizar análisis sensoriales y tener competencia, por lo que se requiere entrenar al personal de planta

Máquina. La refinería de gas carbónico (CO₂), se encontraba instalada en Noruega con una especificación de diseño que no cubría las condiciones de producción para clientes alimenticios, lo que resulta en una adaptación local por parte del equipo de Planta, para garantizar que el producto terminado pueda ser consumido por las personas y de carácter inocuo, entre las adaptaciones que se realizaron fue la inclusión de enfriador de CO₂ antes del ingreso a los secadores, cambio de referencia de los lechos de purificación y secado, optimización de los ciclos de regeneración de los tamices. El tiempo de retención de los scrubbers muy corto, El tren de scrubbers no garantiza la retención total de contaminantes aromáticos, ya que la columna de paso del gas es muy corta y el CO₂ gaseoso pasa muy rápido por estos lavadores, el tiempo aproximado es de 1.5 segundos a una presión promedio de 30 mBar

Materia Prima. El Gas fuente presenta una variación de contaminantes como; Acetaldehído, NO_x, DMS, Alcoholes: Con el seguimiento que se realizó a la materia prima (CO₂ gaseoso) en laboratorios externos y análisis internos, se determinó una gran variabilidad en las concentraciones de los contaminantes aromáticos entre otros, por lo que esta materia es una fuente indeseable de suministro para la reducción de CO₂ presurizado que pueda ser utilizado en la carbonatación de distintos tipos de bebidas en la industria de alimentos, ya que la capacidad de retención y purificación con que contaba la planta antes debido a su sobredimensionamiento permitía refinar el gas y liberándolo de este tipo de sustancias, en el proyecto fue necesario incrementar la capacidad de algunas unidades además de definir las tolerancias máximas de cada contaminante.

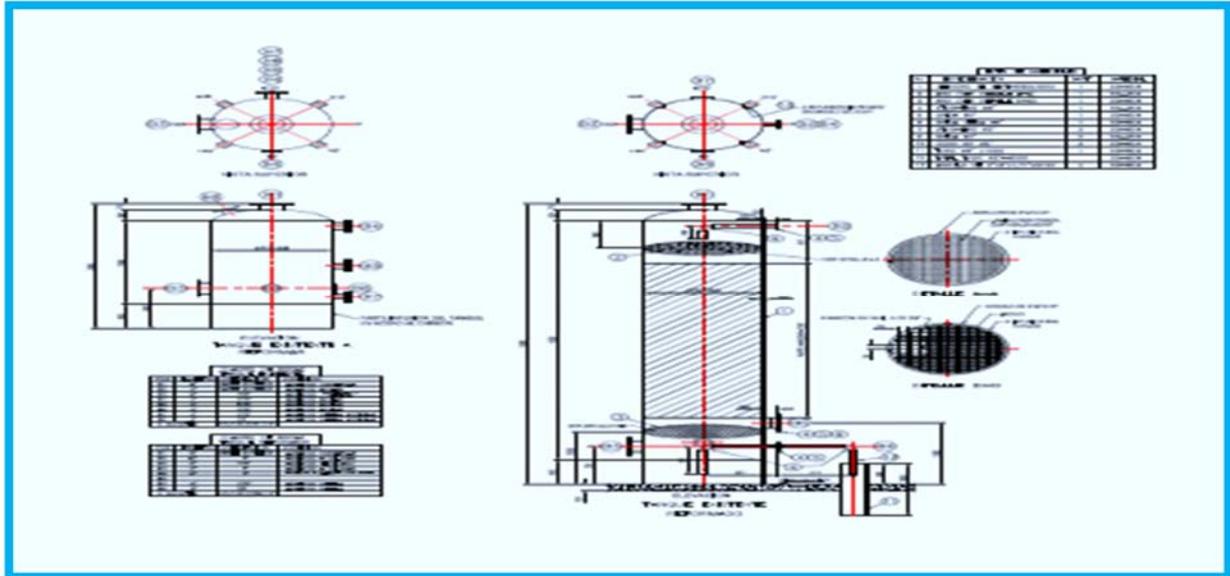
Método. El lavado deficiente, durante esta etapa no se garantiza la extracción total de contaminantes aromáticos: mediante entrevistas realizadas a personal de apoyo especialista en procesos de CO₂, se confirma que el tiempo de lavado es crucial para la calidad del producto terminado, por lo que se reconoce que el diseño actual de los Scrubbers no es suficiente para retener la carga de contaminación que contiene el gas de suministro apoyando este criterio con los análisis realizados tanto a producto terminado, como al gas de suministro

4.1 DISEÑO DETALLADO

El diseño detallado del sistema se basó en implementar un nuevo scrubber que permita mayor tiempo de residencia del CO₂ en el proceso de lavado. Este tercer scrubber se caracterizó por tener el doble de capacidad de los dos existentes con ingreso de CO₂ por la parte inferior y con un efecto regadera. El agua utilizada en este paso tiene la función de atrapar los contaminantes solubles y es vertida en la planta de tratamiento; estos contaminantes aromáticos al ser solubles y por ende al

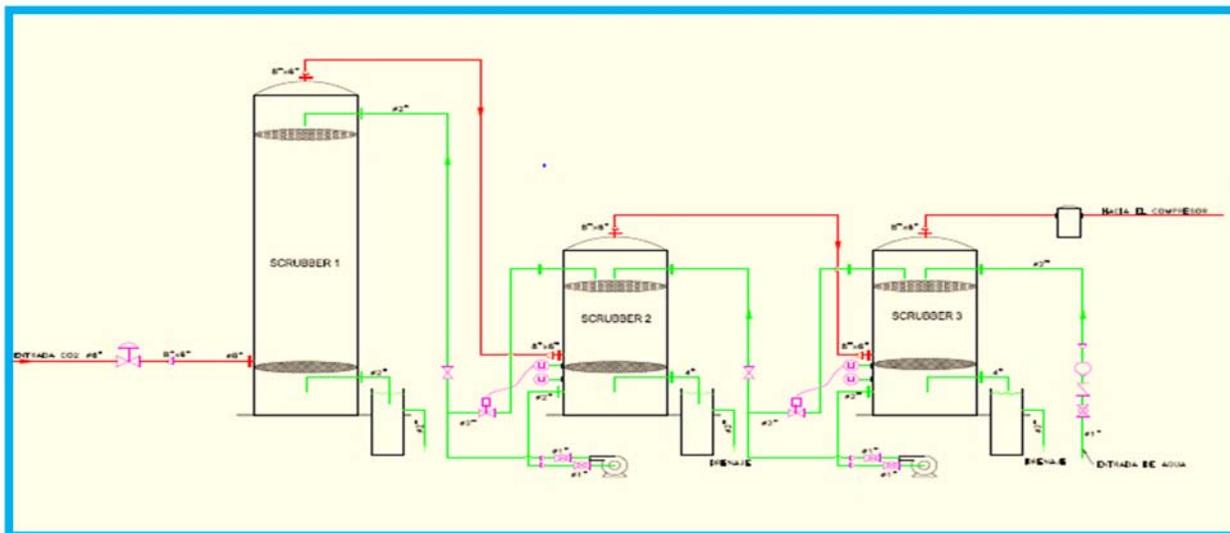
augmentar el tiempo que tarda en recorrer el scrubber incrementa la capacidad de disolución y de eliminación de olores indeseables en el CO₂. Al respecto en las figuras 4 y 5 se muestran el diseño de los scrubber con las respectivas de flujo en las que se destaca un sistema de scrubber por placas y celdas cortantes.

Figura 4 Isométrico Scrubber N° 3



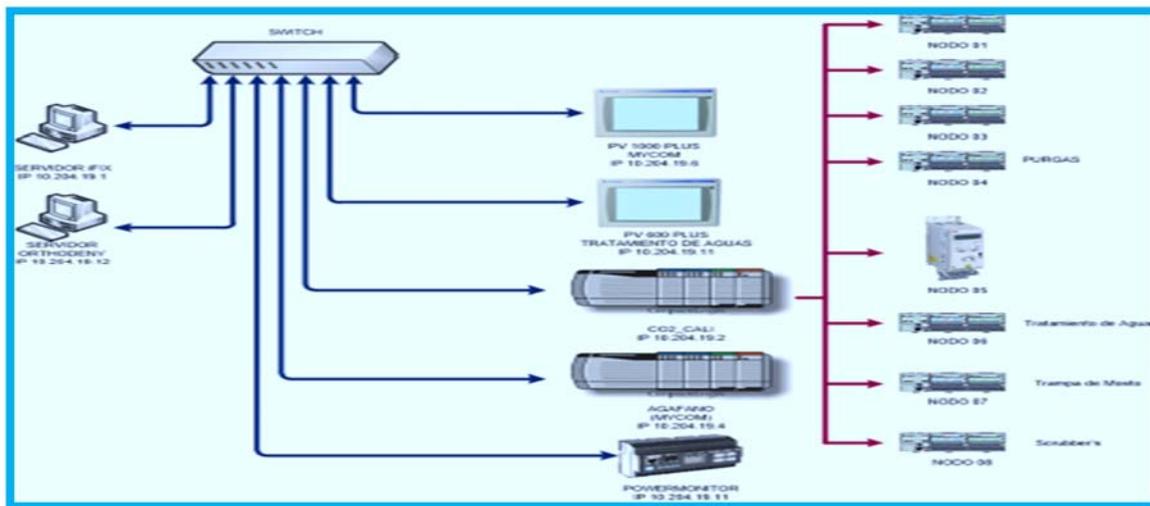
Fuente/ Los Autores

Figura 5 P&DI Scrubbers



Fuente/ Los Autores

Para el control del proceso descrito en la figura 5 se utilizó un sistema de lógica y control cuya arquitectura se presenta en la figura 6 donde se destaca el uso de sensores de medición de nivel, módulos de entradas y salidas y un sistema de control de flujo que permite optimizar el funcionamiento de los tres scrubber.

Figura 6 Arquitectura de Red de la Planta

Fuente/ Los Autores

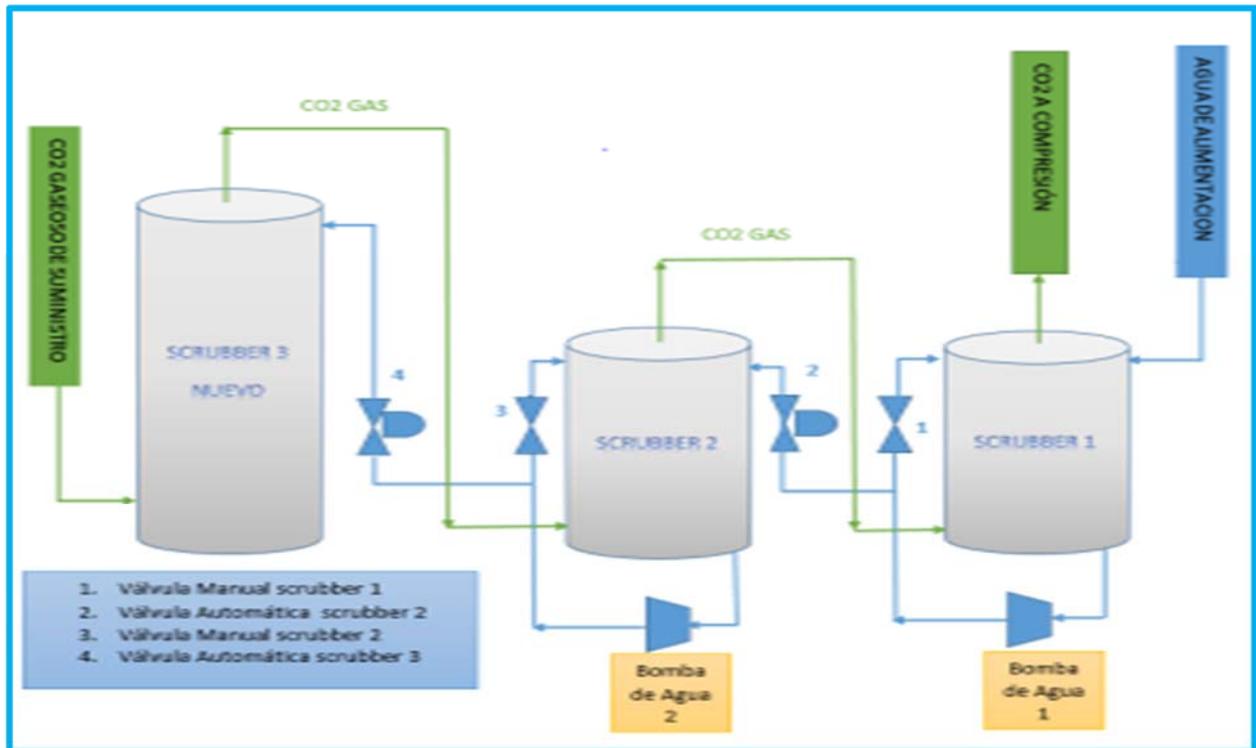
Funcionamiento del Sistema. La electroválvula VM0382 permite el ingreso de agua al proceso de lavado del gas en los Scrubbers de baja, esta válvula no opera si el paro de emergencia se encuentra activado. La bomba de agua del scrubber 1, permitirá operación siempre y cuando el nivel de agua del scrubber 1 (SCB_LT01) no se encuentre en un nivel muy bajo (inferior a 15 cm). La válvula proporcional (SCB_XVP01) del scrubber 1 no opera si el paro de emergencia se encuentra activado, al ser proporcional el control de esta es por medio de una señal de 4 a 20 mA, donde 4 es 0% y 20 es 100%.

La bomba de agua del scrubber 2, permitirá operación siempre y cuando el nivel de agua del scrubber 2 (SCB_LT02) no se encuentre en un nivel muy bajo (inferior a 15 cm). La válvula proporcional (SCB_XVP02) del scrubber 2 no opera si el paro de emergencia se encuentra activado, al ser proporcional el control de esta es por medio de una señal de 4 a 20 mA, donde 4 es 0% y 20 es 100%. La electroválvula VS-03 permitirá operar sin ninguna restricción.

La electroválvula VM0311 permite el ingreso de agua, los tubos de desagüe o rebose; cuando el nivel de los mismos es muy bajo, esta válvula no opera, si el paro de emergencia se encuentra activado. La lógica de automatización del proceso, como se comentó anteriormente se opera desde el HMI o SCADA, existen diferentes opciones de start y stop, y pulso de Manual / Automático cada uno inicia un subproceso independiente. Para poder operar en Automático ninguno de los equipos puede estar en operación o posición manual.

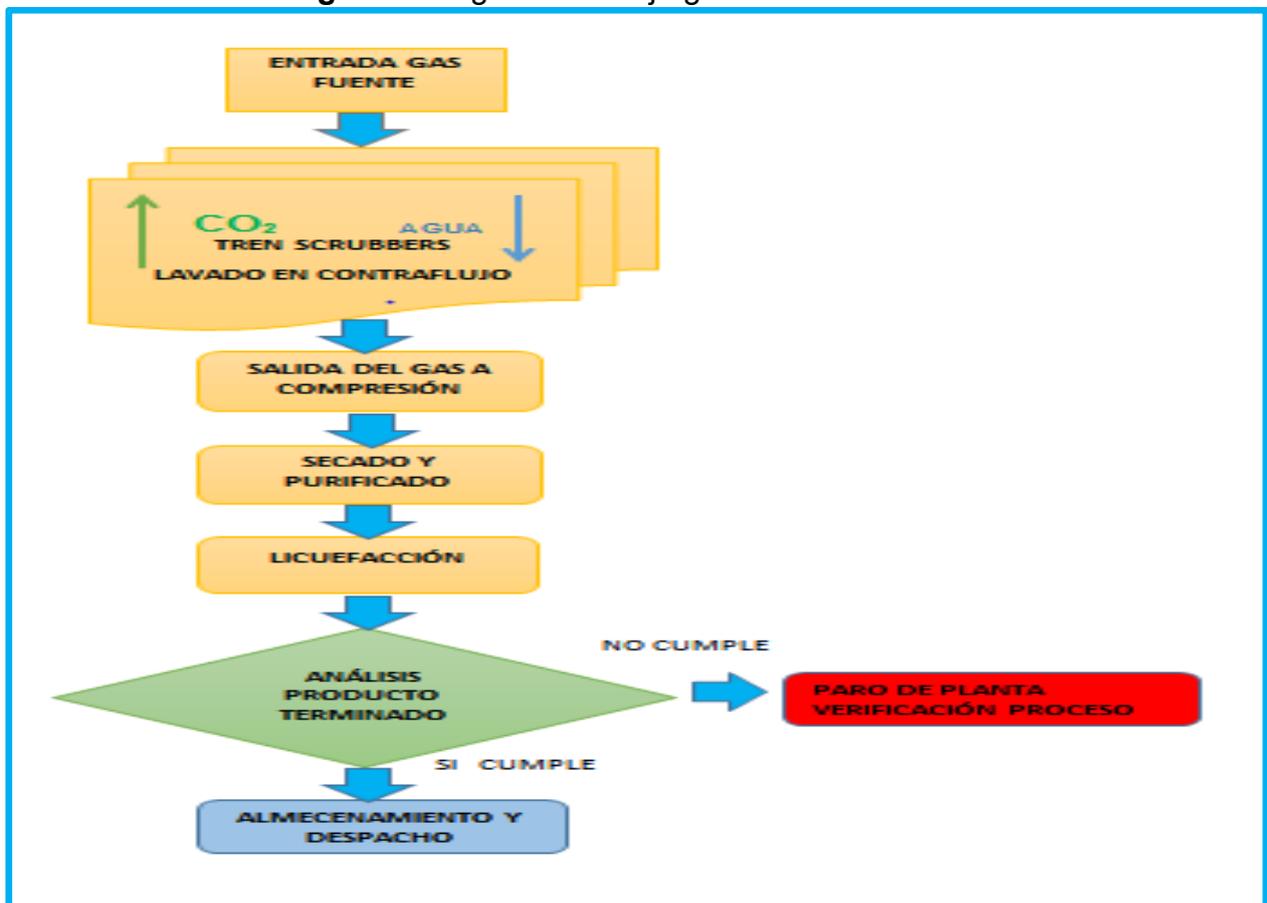
En la figura 7 y 8, se puede apreciar el proceso de lavado integrado con el resto del proceso de purificación del CO₂, el cual se divide en dos secciones, la primera zona es de baja presión, ya que la alimentación del gas es captada en un rango de 30 a 40 mBar y una temperatura de 40°C, el primer paso es precisamente la zona de lavado mediante el sistema de scrubbers, donde la función principal es la retención de contaminantes generados por el alcohol carburante y contaminantes aromáticos en general.

Figura 7 Diagrama de Flujo Scrubber



Fuente/ Los Autores

Figura 8 Diagrama de flujo general de Planta



Fuente/ Los Autores

Posterior a esta zona de lavado, el CO₂ gaseoso cambia sus condiciones físicas y comienza el tránsito por la segunda sección que es de alta presión, consiste en la compresión del gas donde el CO₂ gaseoso es comprimido a una presión final de 18 a 20 Bar.

La siguiente etapa es el proceso de filtrado y secado, donde por adsorción se retienen las trazas de contaminantes tales como, azufres, acetaldeídos, alcoholes, benceno, hidrocarburos totales, metano, incondensables (Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Monóxido de Carbono, después de garantizar la correcta purificación y extracción de los contaminantes nuevamente cambian las condiciones físicas del gas.

La siguiente etapa es de licuefacción, donde el CO₂ cambia de estado gaseoso a líquido a una temperatura final de -25 a -30 °C, luego sigue el proceso de purificación de almacenamiento del CO₂ líquido, donde se considera Producto terminado o final, cada tanque de almacenamiento tiene una capacidad nominal de 100 ton de CO₂ líquido, en esta etapa el CO₂ almacenado, se encuentra listo para ser distribuido entre los clientes de la Compañía productora de gases Industriales.

ELIMINACIÓN DE OLOR NO CARACTERÍSTICO

El sistema, antes de ser implementado, arrojaba valores de 0,58 ppm de Dimetil sulfuro, el cual conllevaba a incumplir la norma EIGA que permite un margen de 0,1 ppm.; los análisis arrojaron un resultado de ND (no detectado) que significa que es inferior al límite de detección de la prueba, es decir, por debajo de 0,2 ppm; de acuerdo a los resultados reportados en la tabla 1.

Al desarrollar y estabilizar el sistema de lavado automático del proceso de captación, purificación y licuefacción del gas carbónico, se identificó la erradicación de contaminantes aromáticos en más de un 90%, entre los que se encuentra el Dimetil de Sulfuro.

Utilizando la técnica de lavado de gases en contraflujo con agua, se evidencia mediante resultados de análisis comparativos que la muestras del Producto terminado (CO₂ líquido) tomadas antes y después de la ejecución del proyecto. Permite obtener los resultados satisfactorios que se aprecian en la tabla 1, en especial a lo referente a la reducción total del Dimetil de Sulfuro, sustancia a la que se le atribuye el olor y sabor característico de naturaleza dulce.

Tabla 1. Pruebas de laboratorio

COMPUESTO	ANTES	DESPUÉS
Etanol	1,0 ppm	no detectado
Dimetil sulfuro	0,58 ppm	no detectado
Metano	0,9 ppm	0,8 ppm
Hidrocarburos en forma de metano	1,0 ppm	0,9 ppm

En la pruebas de laboratorio los compuestos aromáticos, óxidos de azufre y óxido nitroso no fueron detectados.

Fuente: Los autores

Los parámetros del proceso se aprecian en la tabla 2, estos muestran el ahorro en el consumo de agua en el CO₂ tratado, dado que antes se gastaba 8,5 m³ de H₂O/tn de CO₂ tratado y ahora se consumen aproximadamente de la mejora se gastaba 3,3 m³ de H₂O/tn de CO₂, lo cual evidencia el ahorro de H₂O en el proceso. También

se observan mejoras en el manejo de la planta aportados por la instalación de sistema mando y control que permitió ahorros en horas hombre del más del 50%.

Tabla 2. Parámetros de proceso

PARAMETRO	ANTES	DESPUES
Consumo específico de agua	8,5 m ³ /tn CO ₂ tratado	3,3 m ³ /tn CO ₂ tratado
Contraflujo	Efecto regadera	Contraflujo alta presión de agua
# de scrubbers	2	3
Recirculación de scrubbers #2	70 %	80 %
Recirculación de scrubbers #3	N.A.	90 %
Mando y control	Algunas unidades funcionamiento manual	Completamente automatizado
Horas hombre	100 %	52,5 %

Nota: el consumo de horas hombre es de un dato de restricción comercial por la empresa

Fuente: Los autores

5 CONCLUSIONES

El valor agregado y efecto positivo que aporta un sistema de automatización en el ciclo de lavado permitió el aumento en la seguridad, la confiabilidad de los equipos, la disminución en el consumo de horas hombre y el uso eficiente de los recursos naturales, ya que con la puesta en marcha del sistema de Scrubbers se disminuyó el consumo específico de agua de 8,5 m³/ton a 3.3 m³/ton (promedio), aportando directamente al cumplimiento de la norma ISO 14001, de medio ambiente en el consumo de recursos naturales.

La inclusión del tercer scrubber permite producir una calidad final del CO₂ más pura y de mayor confiabilidad, con el cual se pudo reducir la presencia de dimetil sulfuro de 0,6 ppm a valores indetectables en las pruebas químicas inferiores a 0,02 ppm, permitiendo cumplir la norma EIGA.

En los sistemas tipo scrubber la probabilidad de incrustación en la tubería es alta si se usa agua sin filtrar por lo que se requiere programas de limpieza o lavado químico con una rutina semestral, además de instalar pre filtros de arena y carbón activado.

BIBLIOGRAFIA

- 1 LINDE Colombia S.A. Bases de datos, digitales y en medio físico, departamento de Producción de Gases Industriales LEMSS
- 2 Gasesindustriales.wordpress.com/2009/03/16/que-son-los-gases-industriales-y-como-se-producen/ Recuperado el 16 de Septiembre de 2013.
- 3 FERNANDES, M.S.GOLUNSKI, S.M. RIGO, D. et al. "Fructooligosacarides production in aqueous medium with inulinase from *Aspergillus niger* and *Kluyveromyces marxianus* NRRL Y-7571 immobilized and treated in pressurized CO₂" Journal Food and Bioproducts Processing. Vol.91, Num. 4 (2013). Págs. 647-655
- 4 MASOUDIAN, M.S, AIREY, D.W., EL-ZEIN, A. "Experimental investigations on the effect of CO₂ on mechanics of coal", International Journal of Coal Geology, Vol. 128-129, (2014) págs. 12-23.

- 5 CLARAMUNT VALLESPÍ Rosa M^a, CORNAGO RAMÍREZ Pilar, et al. “Principales Compuestos Químicos”, Editorial UNED, 2013
- 6 PÉREZ C. Juan; PINEDA Manuel, Automatización de Maniobras Industriales mediante autómatas programables, Editorial Alfaomega Grupo Editor; págs. 7-14
- 7 HASTAK M., “Advanced automation or conventional construction process?”, Journal Automation in Construction, Vol. 7, págs 299–314,
- 8 TOOLA A. “The Safety of Process Automation,” Journal Automática, Vol. 29, No. 2, pp. 541-548, 1993, Recuperado el 22 de Octubre 2013 del sitio web <http://www.sciencedirect.com>.
- 9 GONÇALVES, J.A.S., COSTA, M.A.M, HENRIQUE, P.R. COURRY J.R. “Atomization of liquids in a Pease-Anthony Venturi scrubber Part I. Jet dynamics”, Journal of Hazardous Materials B97 (2003) págs. 267–279
- 10 SANCHEZ, G. María del pilar y otros, (2010), Ingeniería en Control y Automatización, politécnico Nacional, México.
- 11 ALANIS G. Antonio, “Trabajo Sistemas de Automatización, Mando y Control”, , Recuperado el 6 de Septiembre de 2013.
- 12 SIRKKA-Liisa, JA`msa`-Jounela, Annual Reviews in Control 31 (2007) pags 211–220, Future trends in process automation, recuperado el 22 de Octubre 2013 del sitio web <http://www.sciencedirect.com>.
- 13 . P. Galindo Cifre, K. Brechtel, S. Hoch, H. García, N. Asprion, H. Hasse, G. Scheffknecht, Fuel 88 2009, Integration of a chemical process model in a power plant modelling tool for the simulation of an amine based CO₂ scrubber, www.sciencedirect.com, pags 2481 – 2488
- 14 .TORABI M., SHARIFNIA S., MANSOURI AM, “Process modeling and optimization of simultaneous direct conversion of CO₂ and CH₄ greenhouse gas mixture over TiO₂/webnet photocatalyst”, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Vol, 45 págs. 869–879
- 15 MILLÁN Salvador Automatización, Neumática y Electroneumática, Editorial Alfaomega
- 16 LARACHI, F., LACROIX,O, GRANDJEAN, B , “CO₂ hydration by immobilized carbonic anhydrase in Robinson–Mahoney”, Journal Chemical Engineering Science Vol. 73 (2012) Págs. 99–115
- 17 R. J. M. VAN Gerwen, M. Verwoerd, (2000), In Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Under, Emission reduction of non-CO₂ greenhouse gases used as refrigerant pp 377-384.
- 18 AUSTRHEIMA T., GJERTSENA L.H., HOFFMANNB A.C.,” An experimental investigation of scrubber internals at conditions of low pressure”, Journal Chemical Engineering, Vol. 138 págs. 95–102.
- 19 Diccionario Básico de la Lengua Española Larousse Nueva edición.
- 20 .Enciclopedia.Airliquide.com/enciclopedia de los gases / CO₂
- 21 Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr., Bruce E. Bursten, Julia R. Burdge, (2004), Química, Pearson Educación,
- 22 FARLA JCM. HENDRIKS C., BLOCK K. “carbon Dioxide Recovery From Industrial Processes”, Journal Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Padualaan, Vol. 29, págs. 439-461.
- 23 JACCO, C. M. Farla, HENDRIKS, Chris A. Kornelis Blok in “Climatic Change” (1995) Carbon dioxide recovery from industrial processes, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University”, Padualaan 14, NL-3584, CH Utrecht, The Netherlands, Volume 29, pp 439-461
- 24 NILSON W. James, RIEDEL, A. Susan, Circuitos Eléctricos, Editorial Pearson Educación, Madrid 2005, PÁGS. 28-31.
- 25 KOLEV, Nikolay I. (2007) “Multiphase Flow Dynamics 3” Solubility of O₂, N₂, H₂ and CO₂ in Water, pp 185-214

- 26 SONG, Chunshan Wei, Pan, Srinivas, T. Srimat, 2002. "Environmental Challenges and Greenhouse Gas Control for Fossil Fuel Utilization in the 21st Century" Ratios, pp 247-267.
- 27 KANNICHEA M., Gros- BONNIVARDA R., Jauda P., Valle- Marcos J., J. Amannb, Bouallou C, pre - combustión, post- combustión y oxi - combustión en la central térmica para la captura de CO₂, Applied Thermal Engineering 30 (2010) 53-62.
- 28 YIN DD., LI YQ, ZHAO D.F, "Utilization of produced gas of CO₂ flooding to improve oil recovery", Journal of the Energy Institute, págs. 1-8
- 29 SUN H., YAO J., GAO S.H., FAN D.Y., WANG C., SUN Z.X., "International Journal of Greenhouse Gas Control", Vol. 19 págs. 406-419
- 30 CAMPANARI S., CHIESA P., MANZOLINI G., BEDOGNI S., "Economic analysis of CO₂ capture from natural gas combined cycles using Molten Carbonate Fuel Cells", Journal Applied Energy (2014).
- 31 M. WANG, A. LAWAL, P. STEPHENSON, J. SIDDEERS, C. RAMSHAW Post-combustion CO₂ capture with chemical absorption: a state-of-the-art review Chem Eng Res Des, 89 (2011), pp. 1609-1624
- 32 Article  PDF (1197 K) View Record in Scopus Cited By in Scopus (106)
- 33 DAUB G. William; SEESE S. William, Química, Editorial Pearson Educación, México 2005, págs 283-285
- 34 A.B. RAO, E.S. Rubin A technical economic and environmental assessment of amine-based CO₂ capture technology for power plant greenhouse gas control Enviorn Technol, 36 (2002), pp. 4467-4475
- 35 G. VALENTI, D. BONALUMI, E. MACCHI A. parametric investigation of the chilled ammonia process from energy and economic perspectives Fuel, X (2011) <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.06.035>
- 36 S. CAMPANARI, Carbón dioxide separation from high temperature fuel cell power plants J. Power Sources, 112 (1) (2002), pp. 273-289
- 37 Article  PDF (895 K) View Record in Scopus Cited By in Scopus (57).
- 38 EIGA EU pública una gran variedad de documentos útiles, escrito por expertos en tecnología y seguridad.
- 39 Las publicaciones tituladas " Documentos CIG / MGC / SAC a disposición del público en el sitio web EIGA para descargar de forma gratuita. www.eiga.eu