

EVALUACIÓN PRELIMINAR TÉCNICA PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES CON DIÓXIDO DE CARBONO EN LA CERVECERÍA DE
BUCARAMANGA

ANDREA YISETH PINZÓN FRIAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2011

EVALUACIÓN PRELIMINAR TÉCNICA PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES CON DIÓXIDO DE CARBONO EN LA CERVECERÍA DE
BUCARAMANGA

ANDREA YISETH PINZÓN FRIAS

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera
Química.

Director

Maestro Cervecerero. Carlos Mauricio Díaz Zapata

Cervecerero de Cocinas.

Codirector

Dr. MARIO ALVAREZ CIFUENTES.

Universidad Industrial de Santander.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. CONCEPTOS TEÓRICOS.....	14
1.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA NEUTRALIZACIÓN CON DIÓXIDO DE CARBONO.....	14
1.1.1. Hidratación del dióxido de carbono	14
1.1.2. Neutralización de una solución de hidróxido de sodio NaOH con CO ₂	16
1.1.3. Restricciones de las reacciones y propiedades fisicoquímicas de las sustancias involucradas.....	18
1.1.4. Seguridad, toxicidad e impacto ambiental del proceso.....	19
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	20
2.1. RECONOCIMIENTO Y CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	21
2.1.1. Estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales “PTAR”	21
2.1.2. Problemática.....	23
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS ALCALINOS DE LA CERVECERÍA	24
2.2.1. Fuentes de aguas residuales alcalinas en la cervecería.....	25
2.2.2. Seguimiento de las aguas residuales alcalinas en la PTAR	27
2.3. DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES FUENTES DE CO ₂ EN LA CERVECERÍA	29
2.3.1. CO ₂ que proviene directamente de los biorreactores UASB.....	29
2.3.2. CO ₂ proveniente de los gases de combustión en las calderas	30
2.3.3. Reutilizar el CO ₂	30
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	34
3.1. DETERMINACIÓN TEÓRICA DE LOS REQUERIMIENTOS DE CO ₂ PARA LAS AGUAS RESIDUALES ALCALINAS DE LA CERVECERÍA.....	34
3.1.1. Condiciones de reacción	34

3.1.2.	Procedimiento estequiométrico.....	34
3.1.3.	Resultados	36
3.1.4.	Relación pH/Kg de CO ₂	37
3.2.	PLANTEAMIENTO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN	38
3.2.1.	Alternativas para el sistema de burbujeo de CO ₂	38
3.2.2.	Ubicación del punto de neutralización en la cervecería	39
CONCLUSIONES.....		40
RECOMENDACIONES.....		41
BIBLIOGRAFIA.....		42

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Curva de neutralización de una solución de NaOH usando CO₂ y un ácido mineral fuerte.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Solubilidad de dióxido de carbono en función de la temperatura a 1atm. de presión.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Descripción metodológica.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Reporte de descargas alcalinas meses abril y mayo.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5. Venteo de licuefacción.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 6. Torres deodorizadoras.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7. Torres secadoras.....</i>	<i>53</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Características de diseño de la planta</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2. Características del vertimiento de la cervecería.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Características y normas del vertimiento de la PTAR.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4. Inventario de materias primas de las áreas de Elaboración y salón de Envase.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5. Valores mensuales promedio de las características de las aguas alcalinas.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6. Resultados teóricos de los requerimientos de neutralizante.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Relación de pH y Kg de CO₂.....</i>	<i>37</i>

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS COMPONENTES.	45
ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.	51
ANEXO C. FUENTES DE SODA EN LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.....	52
ANEXO D. EQUIPOS QUE DESECHAN EL CO ₂	53
ANEXO E. UBICACIÓN DEL PUNTO DE NEUTRALIZACIÓN EN LA CERVECERÍA.....	54

GLOSARIO

Alúmina Al_2O_3 : Es uno de los componentes más importantes de las arcillas y los esmaltes, confiriendo resistencia y aumentando su temperatura de maduración. Su regeneración para el caso de la adsorción/desorción es con gas seco y caliente.

Anaeróbico: En ausencia de oxígeno, microorganismos que en su metabolismo el aceptor final de electrones es otra sustancia diferente al O_2 .

Bbt: Tanques contrapresionados de cerveza brillante (después de filtrada) lista para enviar al Salón de envase.

Biogás: gas que se genera en medios naturales o dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. Está formado por CH_4 , CO_2 , CO y otros gases en menor proporción.

Biorreactor UASB (upflow anaerobic sludge blanket): reactor tubular que opera en régimen continuo y en flujo ascendente, es del tipo anaeróbico con microorganismos que forman lodos.

Carbón activado: es un derivado del carbón que ha sido tratado para convertirlo en un material extremadamente poroso que tiene un área superficial muy alta que torna muy eficiente los fenómenos de adsorción o las reacciones químicas.

Caudalímetro: es un instrumento de medida para la medición del caudal o gasto volumétrico de un fluido, estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta un fluido líquido o gaseoso.

Cip (Clean in place): sistema de limpieza y sanitización interna de los equipos y líneas. Se utilizan para este propósito además de agua, ácido clorhídrico, ácido peracético y soda caústica con concentraciones variantes dependiendo del equipo.

Licuefacción: cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido, por acción de la temperatura y el aumento de presión, llegando a una sobrepresión elevada lo que la diferencia de la condensación.

pH (potencial de hidrógeno): medida de acidez o alcalinidad de una solución, indica concentración de iones de hidronio H_3O^+ .

PTAR: planta de tratamiento para aguas residuales (existen tratamientos primarios, secundarios y terciarios) puede ser del tipo anaeróbico o aeróbico.

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN PRELIMINAR TÉCNICA PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CON DIÓXIDO DE CARBONO EN LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA*.

AUTOR: ANDREA YISETH PINZÓN FRIAS**.

PALABRAS CLAVES: Neutralización con CO₂, Aguas residuales alcalinas, PTAR, Bavaria S.A.

DESCRIPCIÓN.

En la cervecería de Bucaramanga se generan continuamente vertimientos residuales con pH alto debido a las descargas de soluciones cáusticas limpiadoras de las lavadoras de botellas en el Salón de Envase y de los sistemas de limpieza CIP en la División de Elaboración. Se evaluó la posibilidad de utilizar CO₂ que es un subproducto del proceso cervecero como neutralizante de las aguas residuales alcalinas y se determinó que reutilizar el gas que desechan al ambiente en la planta de recolección y purificación de CO₂ es ideal para este sistema. Sin embargo, no se contó con las cantidades exactas de gas venteado por los equipos en sus servicios de regeneración y de verificación de pureza por dificultades técnicas en la medición.

Las alternativas propuestas para burbujear el CO₂ a las aguas residuales alcalinas son: inicialmente, un eyector de gas a presión en la tubería que lleva las aguas residuales alcalinas desde la Estación de Bombeo Inicial a la PTAR, o un panel de flautas porosas instalado en el tanque de recibo de aguas alcalinas. Se recomienda que para ambas opciones se cuente con un medio alternativo de inyección de gas puro para el proceso de neutralización cuando sean necesarias cantidades de CO₂ mayores, y una válvula de fácil desmontaje al final de la línea de inyección de dióxido de carbono para la limpieza semanal del sistema.

* Práctica Empresarial.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Mario Álvarez Cifuentes, Universidad Industrial de Santander. Co-Director: Ing. Mauricio Díaz Zapata, Cervecería de Bucaramanga.

ABSTRACT

TITLE: Technical Preliminary Assessment for the Neutralization of Residual Waters with Carbon Dioxide in Bucaramanga's Brewery*

AUTHOR: ANDREA YISETH PINZÓN FRIAS**.

KEY WORDS: Neutralization Using CO₂, Alkaline Residual Waters, PTAR, Bavaria S.A.

DESCRIPTION

Bucaramanga's brewery continuously generates high pH wastewater due to the discharge of caustic cleansing solutions from the bottle washer into the Bottling Room and from the CIP cleaning systems into the Brewing Area. At present, the CO₂ from the Collection and Purification Plant is let out into the environment being an environmental problem. The possibility of using CO₂ as a neutralizing agent was examined and as a By-product of the brewing process, using CO₂ is ideal for this system. However, accounting for the exact amounts of waste gas let into the environment because of the processes for the regeneration of the equipment and for the verification of the purity of the CO₂ was impossible due to technical difficulties in measuring said amounts.

There are two proposed options for fizzing CO₂ into the waste alkaline waters: first being using a gas pressure injector in the pipeline that takes the alkaline wastewater from the Pumping Station to the PTAR; and second being using a panel of porous flutes installed in the alkaline wastewater receiving tank. However, both of the options need an alternate way for injecting pure gas and an easy-dismantle valve at the end of the line in order to clean the system in a weekly basis.

* Business Practice

** Faculty of Physics and Chemistry Engineering. School of Chemical Engineering, Director: Mario Álvarez Cifuentes, Ph.D., Universidad Industrial de Santander. Co-Director: Mauricio Díaz Zapata, Eng., Bucaramanga's Brewery.

INTRODUCCIÓN

En todo proceso productivo se genera un desecho después de obtenido el producto deseado, desecho que debe tratarse de manera tal que su disposición final no afecte el medio ambiente. En el caso específico de la industria cervecera se generan efluentes con pH alto debido a descargas de soluciones cáusticas limpiadoras de las lavadoras de botellas y de los sistemas CIP².

La alcalinidad de las aguas residuales causa dificultades de operación en la PTAR, por esta razón, se debe implantar un método efectivo de neutralización, actualmente se ha usado para este propósito el ácido clorhídrico aunque presenta serias desventajas desde los puntos de vista técnico, ambiental, de seguridad y económico.

Este trabajo de grado se presenta como alternativa de neutralización de las aguas residuales alcalinas de la cervecería de Bucaramanga con dióxido de carbono examinando las fuentes disponibles, los requerimientos de CO₂ para las características del efluente y proponiendo un diseño conceptual para el sistema de neutralización.

² Ver página 25.

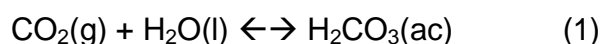
1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA NEUTRALIZACIÓN CON DIÓXIDO DE CARBONO

1.1.1. Hidratación del dióxido de carbono

La mayor parte del CO_2 en soluciones acuosas está en forma de gas disuelto, la disolución de una pequeña proporción del dióxido de carbono se convierte en ácido carbónico que actúa como neutralizante en las aguas residuales alcalinas.

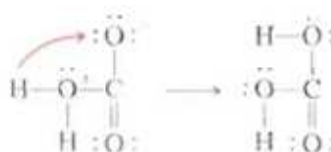
Se da lugar a la siguiente reacción:



La formación del H_2CO_3 que es un ácido poliprótico (sustancia que puede ceder más de un ion de hidrógeno por molécula) se lleva a cabo por etapas, es decir, pierden un protón a la vez. La primera etapa implica la donación de uno de los pares electrónicos libres del átomo de oxígeno en el H_2O al de carbono del CO_2 .



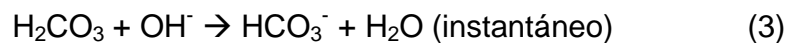
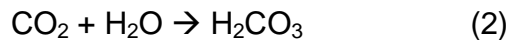
El H_2O actúa como base y el CO_2 como ácido. En la siguiente etapa se transfiere un protón al átomo de oxígeno que soporta una carga negativa para formar el ácido carbónico.



La hidratación del dióxido de carbono puede ocurrir en tres vías bajo diferentes condiciones. Se tomarán en cuenta constantes a una temperatura de 25°C.

Hidratación de una solución con pH < 8:

El mecanismo de reacción predominante del CO₂ es la hidratación directa.



La cinética de esta reacción es de pseudo primer orden con exceso de CO₂ representada por la siguiente ecuación:

$$-\frac{d(\text{CO}_2)}{dt} = k_{\text{CO}_2} * [\text{CO}_2] \quad (4)$$

Donde $k_{\text{CO}_2} = 0,03 \text{seg}^{-1}$

Hidratación de una solución con pH >10:

La reacción que predomina se da directamente con los iones OH⁻.

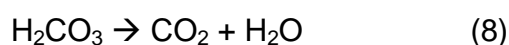


La ley de velocidad de esta reacción puede interpretarse como la reacción básica de la ecuación (2).

$$-\frac{d(\text{CO}_2)}{dt} = k_{\text{OH}} * [\text{OH}^-][\text{CO}_2] \quad (7)$$

Donde $k_{\text{OH}} = 8500(\text{seg} * \text{mol})^{-1}$

Para soluciones con pH entre 8 y 10 unidades ambos mecanismos de reacción son importantes. Las ecuaciones (2), (3), (4) y (5) hacen referencia al proceso de hidratación, para cada una de ellas corresponde una reacción de deshidratación.



Donde $k_{H_2CO_3} = k_{CO_2} * K = 20 \text{seg}^{-1}$



Donde $k_{HCO_3^-} = k_{OH^-} * \frac{K K_w}{K_a} = 2 * 10^{-4} \text{seg}^{-1}$

Para el equilibrio: $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$

$$K = \frac{[CO_2]}{[H_2CO_3]} = \frac{k_{H_2CO_3}}{k_{CO_2}} = 667 \quad (10)$$

En la literatura $K=600$ (constante de acidez)

Una consecuencia del equilibrio (10) es que la verdadera constante de ionización del H_2CO_3 debe ser mayor que la aparente del ácido carbónico que aparece en la tabla de las constantes de disociación de ácidos

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = 4,45 * 10^{-7} \quad (11)$$

Ya que la ionización se origina a partir de solo una fracción del dióxido de carbono total.

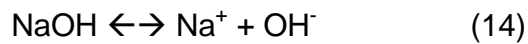
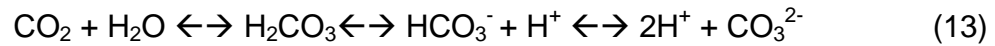
$$K_a = K_1(1 + K) = 2,7 * 10^{-4} \quad (12)$$

En la literatura $K_a = 2,5 * 10^{-4}$ (constante de acidez)

1.1.2. Neutralización de una solución de hidróxido de sodio NaOH con CO_2

Solo una fracción de CO_2 existe en forma hidratada H_2CO_3 , entre más básica sea la solución a neutralizar, más se acelera la hidratación del dióxido de carbono, ya que el ácido carbónico descarga dos protones que participan en el proceso de

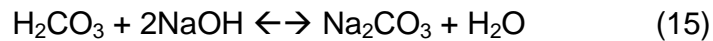
neutralización, a un pH debajo de 9 solo descarga un protón. Químicamente la neutralización se basa en las siguientes reacciones:



Químicamente en la neutralización con dióxido de carbono se pueden distinguir tres fases.

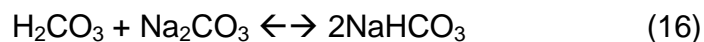
Primera fase: solución con pH >11,8:

Los iones carbonato CO_3^{2-} predominan en esta fase



Segunda fase: solución con pH entre 8,3 - 11,8:

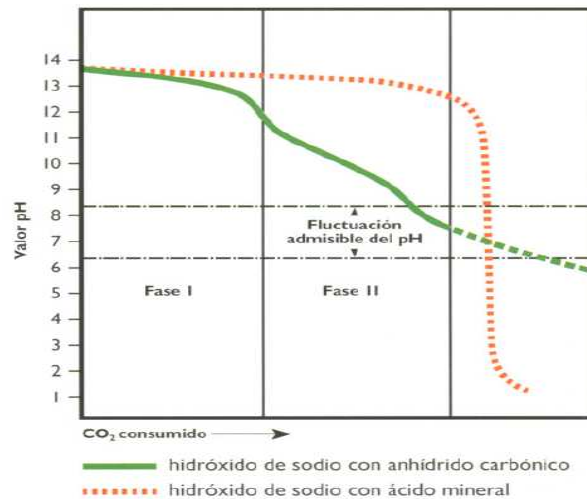
El porcentaje de bicarbonato (HCO_3^-) aumenta a medida que baja el valor del pH.



Tercera fase: solución con pH < 8,3:

En esta fase el porcentaje de dióxido de carbono libre disuelto continua aumentando a medida que la curva de neutralización se va nivelando (efecto buffer). A un pH inferior a 5, casi todo el dióxido de carbono está en estado físico de disolución y se satura la mezcla.

Figura 1. Curva de neutralización de una solución de NaOH usando CO₂ y un ácido mineral fuerte.

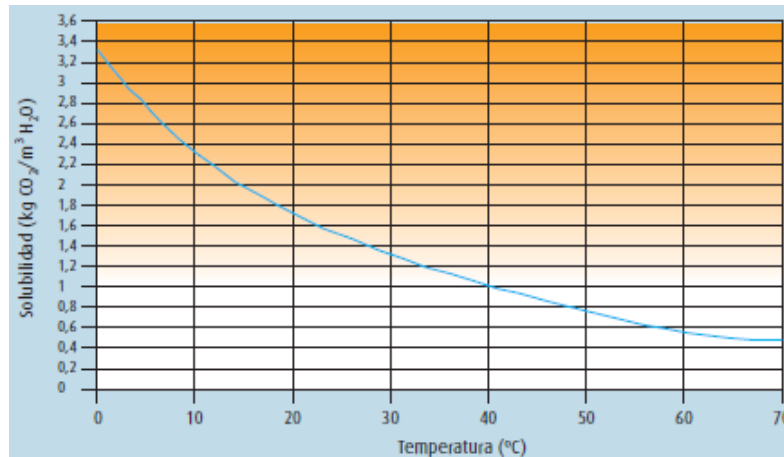


Fuente: suministro del catálogo de la empresa AGA.

1.1.3. Restricciones de las reacciones y propiedades fisicoquímicas de las sustancias involucradas

Las propiedades fisicoquímicas de cada reactivo y producto se adjuntan en el anexo A. La restricción de las reacciones de neutralización es la solubilidad del dióxido de carbono que varía con respecto a la presión y la temperatura, en este caso no se presenta cambios de presión, siempre se encuentra a 1atm.

Figura 2. Solubilidad de dióxido de carbono en función de la temperatura a 1atm. de presión.



Fuente: suministro del catalogo de la empresa LINDE.

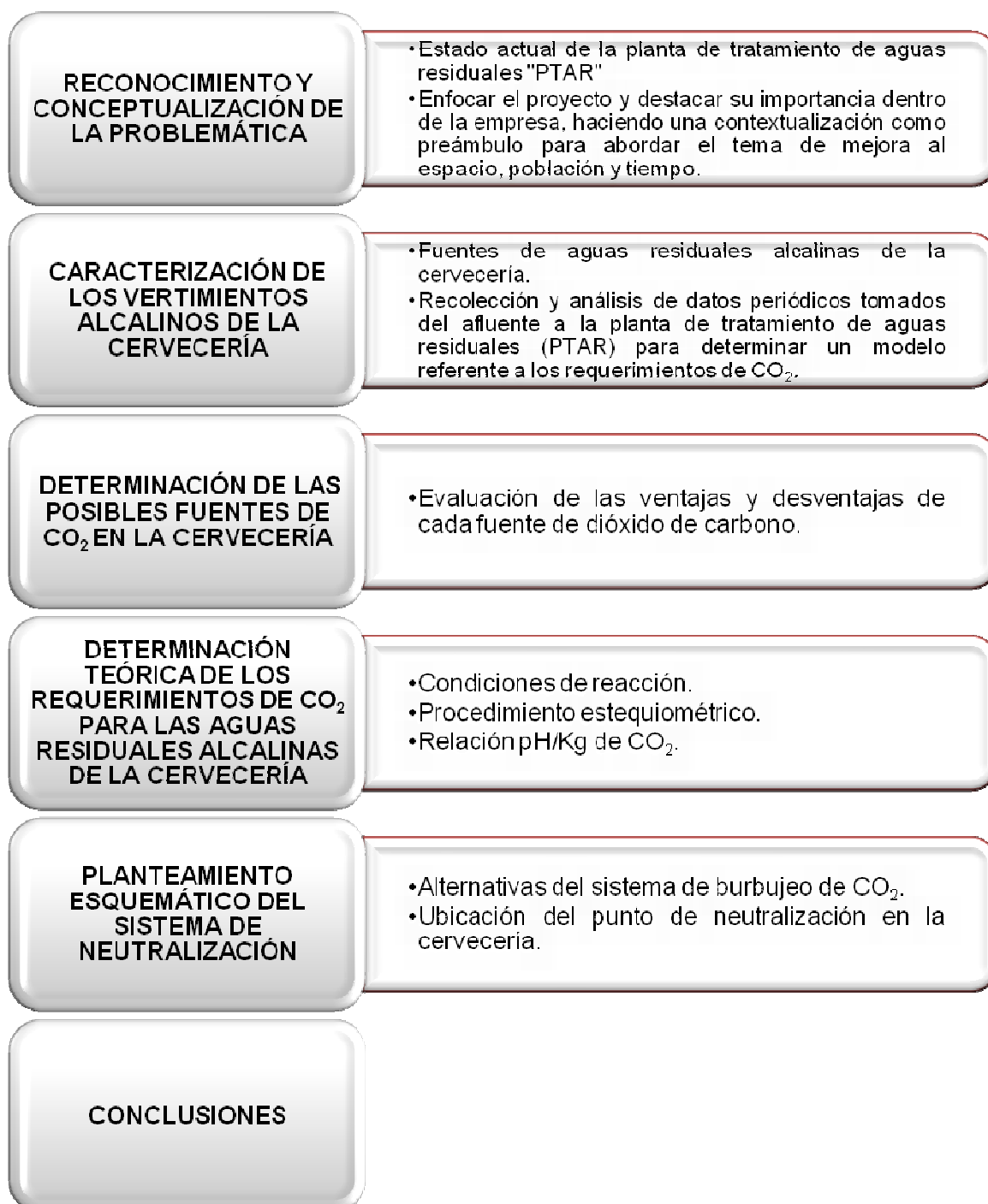
1.1.4. Seguridad, toxicidad e impacto ambiental del proceso

El ácido carbónico es una sustancia natural no tóxica, no inflamable ni corrosiva, puede almacenarse sin peligro y es fácil de manipular. Además presenta autocontrol de pH debido al efecto amortiguante que presentan los carbonatos así el pH de la solución nunca descenderá por debajo de 6 unidades.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio son más ecológicos si se compara con las sales de los ácidos minerales (ácido clorhídrico).

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Figura 3. Descripción metodológica



Fuente: Autora.

2.1. RECONOCIMIENTO Y CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

2.1.1. Estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales "PTAR"

La cervecería Bavaria S.A. de Bucaramanga, actualmente cuenta con una PTAR ubicada en la zona sur oriental de la planta, de tipo anaeróbico con flujo ascendente y manto de lodos con recirculación interna (IC-UASP siglas en ingles) de tecnología Holandesa. Ver anexo B.

La planta consta de un sistema de tratamiento primario cuya finalidad es retirar la mayor parte de los sólidos suspendidos contenidos en el agua residual, y de un sistema de tratamiento secundario que permite remover la materia orgánica soluble con una eficiencia superior al 80%.

Características de diseño de la planta:

Tabla 1. Características de diseño de la planta

CAUDAL PROMEDIO (m ³ /h)	50-70 (es muy variable)
CAUDAL MÁXIMO (m ³ /h)	238 (Reactor 1 y 2 →90m ³ /h; Reactor 3 → 58m ³ /h)
DQO MÁXIMO PLANTA(mg/l)	6755
DQO MÁXIMO R1 Y R2 (mg/l)	2300
DQO MÁXIMO R3 (mg/l)	2155
CARGA ORGANICA MÁX (Kg/día)	12935,76
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	39 (bacterias mesofílicas con una T _{óptima} de 37,5°C)

Fuente: Autora.

Características del vertimiento de la Cervecería:

Tabla 2. Características del vertimiento de la cervecería.

PARÁMETRO	PTAR 2010			
	ENE	FEB	MAR	ABR
pH	8,58	9,64	10,2	11,44
CAUDAL ENTRADA(m ³ /h)	104,67	108,33	77,6	55,24
TEMPERATURA(°C)	31,3	30,41	34,3	35,71
CARGA ORGANICA (Kg/d)	10075,4	10146,5	6399,8	4822,8
DQO (mg/L)	4010,8	3902,61	3436,3	3637,76
SSed ml(l*h)	4,5	6,76	3,82	6,95
STotales (mg/l)	8497	9687	5232	6080

Fuente: Autora.

Características de las aguas después del tratamiento y normas que rigen los vertimientos:

Tabla 3. Características y normas del vertimiento de la PTAR.

PARAMETRO	NORMA (DECRETO 1594/84)	PTAR 2010			
		ENE	FEB	MAR	ABR
pH	5-9	7,79	7,83	7,82	7,76
TEMPERATURA(°C)	Menor de 40	27°C	35,58°C	34,3°C	33,1°C
SST (Eficiencia de remoción)	Mayor de 50%	71,49%	78,43%	84,61%	-
MATERIAL FLOTANTE	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
DBO5 (Eficiencia de remoción)	Mayor de 80%	80,99%	81,43%	82,04%	-
SS ml(l*h)	Máximo 10	1,8	1,14	0,68	0,413

Fuente: Autora.

2.1.2. Problemática

Una de las principales preocupaciones que tiene la PTAR son los picos de aguas alcalinas que llegan semanalmente y que no pueden ser tratados sin una previa neutralización, esto trae como consecuencia que cambie casi instantáneamente el pH en el agua acumulada el cual no debe aumentar significativamente porque ocasionaría daños en el sistema de tratamiento anaeróbico.

Al llegar efluentes con $\text{pH} > 11$ se envían en principio a un tanque alterno para el almacenamiento de aguas alcalinas que tiene una capacidad de 1480 HL y está conectado con el tanque de igualación (tanque que recibe todos los vertimientos de la cervecería) y los de acondicionamiento (dos tanques que acondicionan el pH del agua ya sea con soda o con ácido clorhídrico antes de someterse al tratamiento de los lodos en los biorreactores) que reciben estas aguas a medida que va descendiendo su pH.

Los picos de aguas alcalinas se presentan en su mayoría los fines de semana debido a las descargas de las lavadoras y pasteurizadoras del salón de Envase, pero no se puede generalizar el problema únicamente a esta área de la planta, porque durante la semana en el área de Elaboración hace descargas continuas de soda provenientes de los CIP³ realizados en cocinas y filtración.

Actualmente este problema se enfrenta con la adición de ácido clorhídrico pero esta sustancia está restringida y controlada por el estado; en grandes cantidades representa un costo significativo para la empresa, además de ocasionar problemas de corrosión y riesgo de escapes gaseosos.

³ Ver página 25.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS VERTIMIENTOS ALCALINOS DE LA CERVECERÍA

Las aguas residuales son derivadas de actividades domésticas, agrícolas o procesos industriales las cuales por razones de salud pública y por consideraciones recreativas, económicas y estéticas no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. Los materiales inorgánicos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; sin embargo, si el material que debe ser eliminado es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica usualmente actividades de microorganismos que la utilizan y convierten la materia orgánica en CO₂ y otros compuestos.

En el caso específico de la industria cervecera se genera un efluente con alta carga de materia orgánica, sólidos y otras sustancias situación que hace necesaria la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

El vertimiento proveniente de la cervecería de Bucaramanga se compone de los residuos líquidos generados en las áreas de cocinas, cavas, filtración, envase, depósito, mantenimiento y áreas administrativas (aguas residuales domésticas).

La Cervecería cuenta con un sistema de alcantarillado separado de aguas lluvias y aguas industriales. Todas las descargas domésticas e industriales están conectadas al sistema de alcantarillado que llega a la PTAR ubicada en el extremo suroriental de la cervecería.

El efluente tratado es entregado al Río Suratá por un único punto de vertimiento continuo cuyos volúmenes fluctúan de acuerdo con la operación de la PTAR.

2.2.1. Fuentes de aguas residuales alcalinas en la cervecería

La alcalinidad de las aguas residuales de la cervecería de Bucaramanga se debe a las descargas de soda que se hacen en las divisiones de Elaboración y Envase, ya sea por aseos en Elaboración o por la lavadora de botellas en Envase. Ver anexo C.

Consumo de soda

La cervecería consume un promedio de **35 toneladas** semanales de soda cáustica al 50%. Se hizo seguimiento de los porcentajes de ambas dependencias (Elaboración y Envase) durante 5 meses con los siguientes resultados:

Tabla 4. Inventario de materias primas de las áreas de Elaboración y salón de Envase.

MES	MATERIAS PRIMAS Kg (soda al 50%)	
	ENVASE	ELABORACIÓN
ENERO	69.830	52.490
FEBRERO	35.140	70.540
MARZO	52.200	73.580
ABRIL	61.730	115.370
MAYO	66.460	103.760
%	40.7%	59.3%
Ambas dependencias desechan la soda a una concentración menor a 1,5% con un índice de carbonatos de 0,5%		

Fuente: Autora.

CIP (cleaning in place)

Es un lavado en línea que consta de soluciones de soda seguidas por ácido clorhídrico o nítrico y finalmente desinfectante o ácido peracético (desinfectante), para retirar residuos del CIP se utiliza agua limpia de enjuague.

Las baterías CIP constan de 3 a 6 tanques que contienen agua recuperada, agua fresca, ácido nítrico, ácido peracético (desinfectante), soda fría y caliente. Todos los aseos están sistematizados y cuentan con un sistema de reciclado automático por conductividad de soda, ácido y último enjuague. El primer enjuague de todo aseo se descarta a la PTAR.

Parámetros para descartar la soda a la PTAR

Se utilizan parámetros de descarte para las baterías CIP y para la lavadora de botellas en Envase:

Lavadoras

El lavado de las botellas se realiza mediante la acción de la soda cáustica en concentraciones de 1,5% a 2,5% dependiendo del tanque; la lavadora del tren 1 consta de 11 tanques y la del tren 2 tiene 6 tanques por donde circulan las botellas. En ambos trenes la soda está significativamente presente en los tanques 1, 2, y 3. La frecuencia de uso de la soda en las lavadoras es constante y se rige bajo parámetros que establecen cuando y cuánto aproximadamente adicionar de soda. El tanque 1 de cada lavadora se descarga a la PTAR cada semana, reciclando el contenido de los demás tanques cuando es posible. En la lavadora dos veces por cada turno se determina la concentración de soda y de carbonatos.

Datos de referencia para determinar si se agrega más soda al tanque:

Tanque 1 = 1,5% - 2%

Tanque 2 = 2% - 2,5%

Tanque 3 = 1,5% - 2%

Datos de referencia para determinar si se descarta la solución de los tanques:

El parámetro para descartar la solución a la PTAR es la concentración de carbonatos, si es mayor o igual a 0,7ppm, aunque si pasan 3 semanas la solución se descarta así no haya cumplido el parámetro de los carbonatos. Si la soda de los tanques 2,3 y 4 (por arrastre) no supera el parámetro puede ser reciclada

cambiando de tanque (la solución en el tanque 4 pasa al 3, la solución del 3 al 2 y la solución del 2 al tanque 1).

Baterías CIP

Se tiene como parámetro de desecho de soda una concentración menor a 1,5%p/p. Medido en forma automática por conductímetros en línea que tienen como punto de ajuste a una concentración de soda de 50milisiemens que debe llegar hasta 100milisiemens para asegurar la efectividad del aseo. La concentración de soda y los carbonatos se determinan semanalmente mediante técnicas de laboratorio, el parámetro de desecho es un índice de carbonatos de 0,5% (0,5ppm).

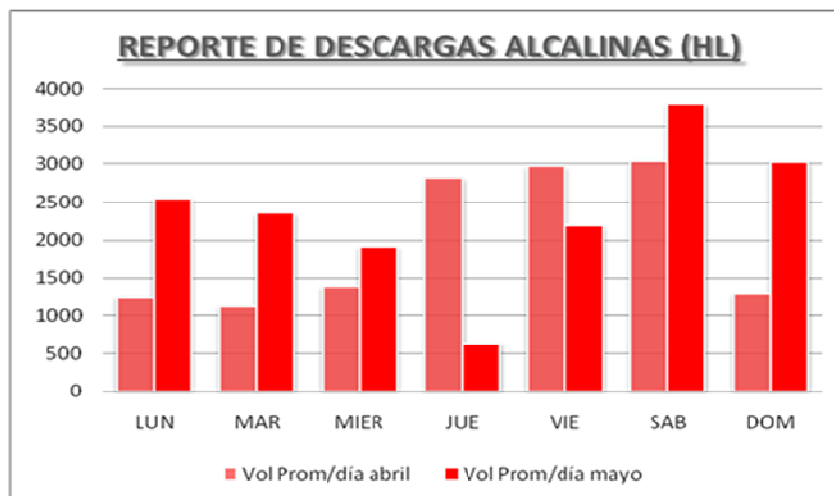
2.2.2. Seguimiento de las aguas residuales alcalinas en la PTAR

Para el recibo de las aguas residuales de la cervecería se dispone de dos tanques en la PTAR (tanque de igualación y de aguas alcalinas). A la entrada hay dos líneas con medición de caudal automático que dan paso dependiendo del pHmetro en línea que regula el ingreso de las aguas según su basicidad. Los análisis y el seguimiento se hicieron en las aguas almacenadas en el tanque de aguas alcalinas.

Volumen de aguas enviadas al tanque de aguas alcalinas

Se determinó un volumen promedio diario durante dos meses (abril y mayo), para determinar cuales días a la semana son críticos y requieren inyección de CO₂. Los datos fueron tomados del caudalímetro a la entrada de la PTAR.

Figura 4. Reporte de descargas alcalinas meses abril y mayo.



Fuente: Autora.

Debido a la fluctuación de descargas alcalinas mensualmente, no se puede establecer días fijos de inyección de CO₂, Hay que tener como parámetro de control el pH de las aguas a la entrada a la PTAR.

Características de las aguas residuales acumuladas en el tanque de alcalinas

Se tomaron análisis de muestras diarias en el tanque de alcalinas, mostrando las condiciones de reacción inicial que se tomarán en cuenta más adelante.

Tabla 5. Valores mensuales promedio de las características de las aguas alcalinas.

VALORES MENSUALES PROMEDIO				
MES	DQO	pH	T°	CO ₃ ²⁻
ABRIL	4491,67	12,13	30,96	0,65ppm
MAYO	4009,6	12,167	31,37	0,71ppm

Fuente: Autora.

2.3. DETERMINACIÓN DE LAS POSIBLES FUENTES DE CO₂ EN LA CERVECERÍA

Se consideraron las siguientes posibilidades de obtención:

2.3.1. CO₂ que proviene directamente de los biorreactores UASB

En la PTAR se dispone de tres biorreactores que producen continuamente biogás compuesto principalmente de metano y CO₂.

Ventajas

- La ubicación de la fuente de emisión de CO₂ es muy cercana al punto de neutralización, esto ahorraría costos en el transporte del gas.
- Al purificar el biogás no solo se obtendría el CO₂ para neutralizar las aguas alcalinas sino que también aumentaría el poder calorífico y la pureza del biogás empleado actualmente en calderas.

Desventajas

- El biogás tiene 30% a 45% de CO₂ en su composición y requiere un proceso de absorción física que representa una relación costo/beneficio no muy favorable teniendo en cuenta la existencia de fuentes de CO₂ más económicas.
- Un sistema de purificación y de recuperación de CO₂ podría interferir en el sistema de recolección de biogás para las calderas ya instalado en la planta.

2.3.2. CO₂ proveniente de los gases de combustión en las calderas

Ventajas

- Los gases de combustión de las cuatro calderas son desechados directamente al ambiente por que el combustible utilizado es gas natural que produce emisiones limpias. Este residuo no utilizable tiene una composición de CO₂ del 8% cada caldera.

Desventajas

- El componente predominante en los gases de calderas es el oxígeno (O₂), que en exceso podría ser perjudicial para el tratamiento de las aguas residuales porque el procedimiento es anaeróbico (en ausencia de O₂). El efecto que conllevaría la inyección en exceso de O₂ es aumento en la biomasa en los biorreactores UASB, que podría llegar a acarrear arrastre de lodos que pueden interferir en el sistema de biogás.
- Con el aumento de biomasa se disminuye considerablemente la acción metanogénica de los microorganismos.

2.3.3. Reutilizar el CO₂

Una alternativa para asegurar la existencia del neutralizante sin necesidad de ser una carga directa para la planta es la reutilización del gas enviado al área de filtración y la utilizada en los servicios de la planta de recolección y purificación del CO₂.

Ventajas

- El gas en la planta de recolección y purificación del CO₂ tiene una presión aproximada de 250psi que facilita y garantiza el bombeo en una sola dirección sin riesgos de contaminación cruzada entre la fuente y las aguas residuales.
- Se garantiza una alta pureza (99,3% a 99,9%) sin necesidad de procedimientos de separación o purificación.
- Se mitigaría un problema ambiental no solo de aguas residuales sino también se reducirían algunas emisiones de CO₂ causantes de problemas atmosféricos.
- El venteo de CO₂ se hace continuamente al ambiente donde permanecen personas alrededor ocasionando molestias habituales y posiblemente padecimientos futuros, se podría evitar las emisiones y acomodar el espacio desviando el CO₂ hacia las aguas residuales.

Desventajas

- En algún momento el sistema de neutralización puede llegar a ser una carga adicional para la planta de recolección y purificación de CO₂.

CO₂ de filtración

Para barrer y contrapresionar los BBT's (tanques contrapresionados para cerveza terminada) después de realizar el CIP de limpieza y de barrer con O₂ cuando hay cambio de marca a Águila Light o a Ponymalta.

Ventajas

- Mayor aprovechamiento del CO₂ purificado, eficiencia en el proceso.
- Reducción de emisiones al ambiente de CO₂.

Desventajas

- La reutilización en BBT's es un riesgo porque al desviar el CO₂ podría haber contaminación cruzada para el producto final, si el operario no tiene las precauciones necesarias. Otra opción es sistematizar el desvío del gas pero sería costoso adaptar un sistema automático para los ocho tanques

Servicios de la planta de recolección y purificación de CO₂

Se utiliza el CO₂ en la planta para servicios de contrapresión en los accesorios y en las torres secadoras y deodorizadoras. Todo el gas utilizado se ventea al ambiente. Los equipos que desechan el gas son: Ver anexo D

Venteos

La planta de recolección y purificación del CO₂ tiene un control de pureza del 99.999%, el gas que no cumple los requerimientos es venteado al ambiente por dos conductos con válvulas en el proceso de licuefacción que se abren cada 5 minutos, lo que garantiza un venteo continuo durante el día.

Torres deodorizadoras

Son dos filtros de carbono activado, por medio de la adsorción se encargan de eliminar vapores de aceite, olores y otros hidrocarburos del CO₂ comprimido proveniente de la fermentación.

Una vez que el carbón activado ha sido saturado con los componentes que adsorbe se debe regenerar cada 48 horas para así recuperar su estado original.

La desorción de las sustancias adsorbidas por tratamiento térmico se hace mediante la presurización con vapor de agua hasta que el carbón activado llega a una temperatura de 90°C, momento en el cual se purga con CO₂ hasta que la temperatura desciende a 50°C, el tiempo requerido de purga es alrededor de 4 horas en donde se está venteando CO₂ al ambiente continuamente.

Las ventajas de la regeneración son:

- Se reduce el costo del carbono activado para el usuario.
- Se reduce considerablemente el problema de la eliminación del carbono activado o almacenamiento de este material gastado.

Torres secadoras

Hay tres baterías de secadoras regenerativas cada una tiene dos torres idénticas (6 torres) de alúmina que se encargan de retirar la humedad del CO₂ comprimido. Cada torre contiene una cámara desecante, mientras una torre está en línea secando el flujo del gas, la otra está fuera de línea regenerándose, es decir, desecándose.

Las torres se alternan de tal forma que el desecante seco este siempre en contacto con el CO₂ comprimido húmedo. De esta manera, siempre que la batería esté en servicio existirá una fuente continua de CO₂ seco.

La alúmina es regenerada para eliminar el agua desecada en la superficie por medio de una resistencia interna que eleva la temperatura hasta 130°C, después se presuriza con CO₂ durante una hora y se ventea para poner al servicio la torre. Este procedimiento se hace continuamente cada 8 horas para cada torre, lo que resulta en una cantidad significativa de CO₂ venteado que puede reutilizarse.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. DETERMINACIÓN TEÓRICA DE LOS REQUERIMIENTOS DE CO₂ PARA LAS AGUAS RESIDUALES ALCALINAS DE LA CERVECERÍA

3.1.1. Condiciones de reacción

- En este sistema se asume que únicamente están interactuando la soda, el gas carbónico y el agua.
- Dependiendo de los informes semanales de la PTAR en donde se reporta la cantidad de agua a la entrada se determina el volumen de agua alcalina para cada día analizado
- Se hizo la estimación para bajar el pH a 8 unidades que corresponde a un pH óptimo para el tratamiento ya que también llegan sustancias ácidas a la PTAR.
- Las condiciones iniciales de reacción como el pH, la temperatura y la alcalinidad⁴ se miden para cada día analizado.

3.1.2. Procedimiento estequiométrico

Se toma una muestra compuesta cada hora diariamente del tanque de aguas alcalinas, en el laboratorio se determina la temperatura, el pH y la concentración de soda inicial de la muestra.

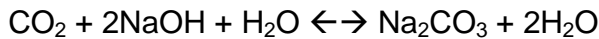
⁴ La concentración de soda (molaridad) en el agua residual se realizó día a día mediante la técnica *WSD.QCP.TM 511 : Análisis de detergente [3]*.

Por el registro del caudalímetro en línea se determina el volumen de agua alcalina que llega a la PTAR y que no fue tratada de inmediato (se envió al tanque de alcalinas).

Como el pH de las muestras siempre son mayores a 11 unidades habrán dos etapas para poder neutralizarlas hasta pH=8.

Se toma como base de cálculo 1Lt.

- Primera etapa:



$$x \text{ mol NaOH} * \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol NaHCO}_3} * \frac{44 \text{ gr CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} * \text{vol total sln alcalina} = \frac{w_1 \text{ gr CO}_2}{\text{día}} \quad (17)$$

- Segunda etapa:



$$x \text{ mol NaOH} * \frac{1 \text{ mol NaHCO}_3}{1 \text{ mol NaOH}} * \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol NaHCO}_3} * \frac{44 \text{ gr CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} * \text{vol total sln alcalina} = \frac{w_2 \text{ gr CO}_2}{\text{día}} \quad (18)$$

- CO₂ requerido:

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ total}}{\text{día}} = w_1 + w_2 \quad (19)$$

3.1.3. Resultados

Tabla 6. Resultados teóricos de los requerimientos de neutralizante.

DIAS MAYO	VOL. AGUA-SODA (HL)	Kg CO ₂ /HL AGUA-SODA	CO ₂ (Kg)
LUNES	2.556	1,6	424,4
MARTES	2.357	2,4	563,1
MIERCOLES	1.922	1,6	317,7
JUEVES	638	2,6	169
VIERNES	2.192	2,2	480,8
SABADO	3.810	2,6	992,9
DOMINGO	3.036	1,2	376,7
REQUERIMIENTO TOTAL MES MAYO			5.560,5

Fuente: Autora.

- Se hizo un seguimiento diario a las características del tanque de aguas alcalinas determinando el requerimiento teórico de CO₂. Se tomó como referencia el día que más gas se necesita para neutralizar.
- Se requiere burbujear el CO₂ únicamente 4 días por semana por que el tanque de aguas alcalinas que tiene una capacidad de 148m³ donde se puede almacenar la soda de los días no resaltados.
- No se puede establecer un día específico de burbujeo, ya que el volumen y el momento de descarga de soda es intermitente. Se requiere un sistema de burbujeo con control de pH a la entrada de la PTAR.

3.1.4. Relación pH/Kg de CO₂

Es posible controlar la inyección de CO₂ dependiendo del pH de la solución a neutralizar por las siguientes relaciones: Se determina la concentración de OH⁻ que se suponen únicamente provienen de la soda, de igual forma estos son los iones que se deben neutralizar.

$$pH = 14 + \log[OH^-] \quad (20)$$

Teniendo los iones a neutralizar se hace el mismo procedimiento anterior para determinar la cantidad teórica requerida de CO₂.

Tabla 7. Relación de pH y Kg de CO₂.

pH	HCl 30%(Kg/Hl)	CO ₂ (Kg/Hl)
10	0,0012	0,00022
10,5	0,0038	0,0007
11	0,012	0,0022
11,5	0,038	0,007
12	0,12	0,022
12,5	0,38	0,07
13	1,22	0,22
13,5	3,84	0,7
14	12,2	2,2

Fuente: Autora.

Esta conversión se determino para neutralizar hasta un pH de 8.

3.2. PLANTEAMIENTO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN

3.2.1. Alternativas para el sistema de burbujeo de CO₂

Para cualquier alternativa en la fuente de CO₂ se requiere:

- Colector distribuidor del CO₂ desechado con medidor de presión y de flujo a la salida.
- La línea debe tener una conexión alterna que suministra CO₂ puro cuando se requiere mayor cantidad de gas, esta línea se debe abrir manualmente.
- Es importante que exista una válvula cheque al final de la línea de inyección y en lo posible que sea de fácil desmontaje para realizar aseo semanal al accesorio.

Flautas porosas en el tanque de aguas alcalinas

En el tanque de aguas alcalinas ubicado en la PTAR se instala un panel de flautas que liberen microburbujas de CO₂ provenientes del colector de gas desechado ubicado en la planta de recolección y purificación de CO₂.

Eyector a presión en la tubería de aguas negras

Se usa una boquilla para inyectar el CO₂ en la tubería de aguas residuales a presión donde gracias a la turbulencia, la hermeticidad de la línea y la distancia de reacción que hay entre el punto de inyección y la entrada a PTAR aseguran la disolución del gas.

3.2.2. Ubicación del punto de neutralización en la cervecería

Debido a que hay una única línea de recolección de aguas residuales para toda la cervecería, la inyección debe hacerse directamente a ella. Teniendo en cuenta que la tubería tiene un tramo de forma subterránea y una línea más corta por fuera, se toma como inyección el punto antes de que la tubería entre subterráneamente. Ver anexo D.

CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos, el CO₂ producido durante el proceso de la planta es una sustancia neutralizante con características ideales para el uso en las aguas residuales alcalinas de la cervecería.
- No se pudo determinar cuánto dióxido de carbono desechado está disponible para utilizarlo en las aguas residuales, sin embargo, se considera poco el requerimiento del gas para la neutralización con respecto a la producción diaria de la planta de recolección y purificación de CO₂ (aproximadamente 6000 Kg/día).
- En base a la teoría de las reacciones y a las observaciones hechas se prevé que al hacer la inyección del neutralizante a una tubería hermética se presentará un fluido bifásico (el límite de reacción es la solubilidad del gas en el agua) donde el gas reaccionará nuevamente al encontrar soluciones alcalinas hasta la entrada de la PTAR.

RECOMENDACIONES

- Es conveniente instalar un suministro de CO₂ puro adicional que se pueda abrir cuando se requiera mayor cantidad de gas para neutralizar.
- Para garantizar la inocuidad del sistema de neutralización, se recomienda que en la línea de inyección de CO₂ a las aguas residuales se instale una válvula que sea de fácil desmontaje para realizar aseo semanal a este accesorio.

BIBLIOGRAFIA

[1]ARBOLEDA, VALENCIA Jorge. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera edición. 2000. Mc. Graw Hill. Bogotá.

[2]BAVARIA S.A., *Compromiso de Bavaria con la Responsabilidad Ambiental*.2008. Santa Fe de Bogotá: 1-4.

[3]BAVARIA S.A., *Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales*. 2004. Cervecería de Bucaramanga.

[4]BAVARIA S.A., *Técnica WSD.QCP.TM 511: Análisis de detergente*. Santa fe de Bogotá.

[5]BRINKMAN, R., MARGARIA, R., ROUGHTON, F.J.W. *The kinetics of the Carbon Dioxide-Carbonic Acid Reaction*. 1934. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of Mathematical or Physical Character. 232: 65-97.

[6]E.M., Elkanzi, *Using Carbón Dioxide for Alkaline Wastewater Treatment*. Department of Chemical Engineering, University of Bahrain.

[7]FABRICACIÓN DE CERVEZAS, REFAJOS Y MALTAS, *Condiciones de operación de la Lavadora de botellas*.2005. Cervecería de Bucaramanga. Bucaramanga.

[8]GARCÍA, JEREZ Pedro. Trabajo de monografía de especialización. *Estudio de prefactibilidad de un sistema de remoción terciaria para las aguas residuales industriales vertidas por la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería de Bucaramanga*.2006. Dir. Jairo Claret Puente. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

[9]GAUR, Ankur, PARK, Jim-Wong, JANG, Jung-Hwa, MAKEN, Sanjeev, LEE, Jonjae, SONG, Ho-Jun. *Characteristics of Alkaline Wastewater Neutralization for CO₂ Capture from Landfill Gas (LFG)*. Energy Fuels ACS. 2009. 23: 5467-5473.

[10]HARNED, Herbert, DAVIS, Raymond. *The Ionization Constant of Carbonic Acid in Water and the Solubility of Carbon Dioxide in Water and Aqueous Salt Solutions from 0 to 50 grades*.1943. Department of Chemistry of yale University. 65: 2030-2037.

[11]KERN, David.1960. *The Hydration of Carbon Dioxide*. Journal of Chemical Education, 37: 1.

[12]LAMPINEN, QUIRT Frank. *Effluent Neutralizing with Fluegas*. MBAA Technical Quarterly. 1987. 24: 86-89.

[13]LIJKLEMA, L. *Factors affecting pH Change in Alkaline Wastewater Treatment*.1969. Great Britain. Water Research Pergamon. 3: 913-930.

[14]LOM, Tomas. *A New Trend in the Treatment of Alkaline Brewery Effluents*. Symposium – Alkaline Effluents. 1977. MBAA Technical Quarterly. 14: 50-58.

[15]METCALF, Leonard, EDDY, Harrison. *Tratamiento, vertido y reutilización de aguas residuales*.1985. Ingeniería de aguas residuales.Mc. Graw Hill. 1 y 2.

[16]SABMiller PLC-GROUP TECHNICAL. *Global Permit and Concession Procedure (GLT.BR.05)*, Group Chief Brewer, 2009.

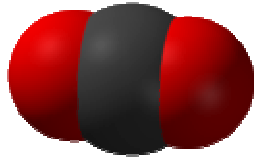
[17]VALENCIA, MONTOYA Guillermo. *Características de Aguas Residuales y Lodos*. Universidad del Valle. Cali-Colombia.

[18]WOLFANG, Kunze. *Tecnología para Cerveceros y Malteros*. 2004. VLB Berlín. Berlín- Alemania: 512-513 813-825 904-913.

[19]YABROUDI, SUHER Carolina, ALMARZA, Juan, PEDRIQUE, Francisco, CÁRDENAS Carmen, HERRERA Lenin. 2009. *Optimización del proceso de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera*. Inteciencia, 34: 11.

ANEXO A. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS COMPONENTES.

❖ GAS CARBÓNICO CO₂



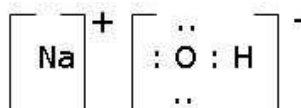
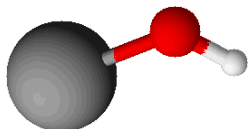
Es una molécula lineal y no polar, a pesar de tener enlaces polares. Esto se debe a que dada la hibridación del carbono la molécula posee una geometría lineal y simétrica. Los porcentajes de carbono y oxígeno son 27,30 % y 72,70 % en peso respectivamente.

A temperatura y presión atmosféricas el CO₂ es un gas incoloro, inodoro, que es 1.5 veces más denso que el aire dependiendo de la temperatura y la presión a la cual se encuentre, el dióxido de carbono puede existir en fase sólida, líquida o gaseosa. A la temperatura de -56.60°C y presión de 417 kPa. (60,43psig.) el dióxido de carbono se encuentra en sus tres fases simultáneamente, siendo éste su correspondiente punto triple. El gas líquido tiene una vida útil de 6 meses y gaseoso por 1 año.

En la cervecería se obtiene dióxido de carbono por la fermentación. Y se purifica en la planta de tratamiento y recolección de CO₂, se presenta en forma de líquido y gaseoso en cilindros de 25 kg y termos de 180 kg. Se utiliza el gas en la carbonatación de la cerveza, de agua desaireada y en la contrapresión de equipos.

pH (para Ácido carbónico):	3.7
Peso molecular:	44.01
Temperatura crítica:	146.9 °C
Presión de vapor a 21.1 °C:	5778 kPa (838 psig)
Presión crítica:	3399 kPa abs (493 psia)
Porcentaje de materia volátil en volumen:	100
Densidad del gas (1 atm, 21.1 °C):	1.833 Kg/m ³
Densidad relativa del gas (aire = 1):	1.522 a 1 atm y 21.1 °C

❖ SODA CAUSTICA NaOH

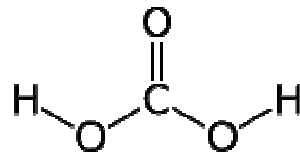
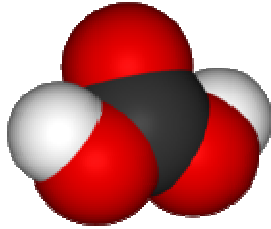


A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada y cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo, generalmente se usa en forma sólida o como una solución al 50%.

En la cervecería se compra como una solución al 48% líquida viscosa, clara o muy ligeramente turbia se utiliza en los acondicionamientos de superficies metálicas, limpieza y desengrasado, preparación de soluciones desinfectantes CIP y lavadoras. A la PTAR llega como efluente crítico por su pH no admitido en los birreactores.

pH: 13 – 14:	(soluciones al 10%, 30% y 50%).
Presión de vapor:	(mbar a 20 °C): No aplicable
Densidad del vapor (aire = 1):	No aplicable
Punto de ebullición (°C):	139
Punto de Fusión (°C):	12
Densidad del liquido (30°C):	1.5 g/cm ³ para la soda cáustica al 50%.
Solubilidad en agua (25 °C):	111.11 g/100ml. Muy soluble en agua.
Peso molecular:	40 g/gmol
Gravedad Específica (Agua=1):	1.53

❖ ÁCIDO CARBÓNICO H_2CO_3

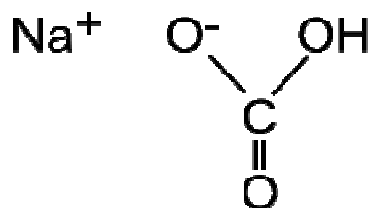


El ácido carbónico es un ácido débil anhídrido del dióxido de carbono (CO_2), solo existe en disolución con agua, no se ha aislado como tal. Su existencia se infiere del hecho de que forma sales con los alcalinos, es de apariencia incolora, el ácido es diprótico y forma dos series de sales, carbonatos y bicarbonatos los de los metales alcalinos y de amonio son solubles. El H_2CO_3 está presente en las bebidas gaseosas como Coca-Cola o Fanta.

pH:	3.7
Densidad:	1g/cm^3
Masa molar:	62.03 g/mol
Punto de fusión:	$-273.15\text{ }^\circ\text{C}$
Punto de ebullición:	$-273.15\text{ }^\circ\text{C}$

Las sales del ácido carbónico (H_2CO_3) o carbonatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza en forma de minerales. Se utilizan en la construcción de edificios, en la fabricación de vidrio, en las industrias cerámica y química, así como en agricultura.

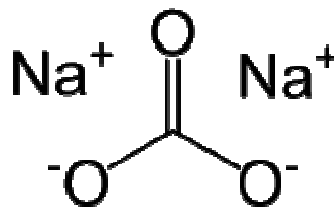
❖ BICARBONATO DE SODIO NaHCO_3



Compuesto sólido cristalino de color blanco muy soluble en agua, con un ligero sabor alcalino, no oxidante y estable a temperatura y presión ambiente. Antiguamente se usaba como fuente de dióxido de carbono para la gaseosa Coca Cola y actualmente el bicarbonato sódico se utiliza en confitería, en la industria farmacéutica, del cuero y del caucho, en la fabricación de bebidas no alcohólicas y en la fabricación de extintores de incendios y aguas minerales, El bicarbonato de sodio puede neutralizar o reducir los ácidos en la sangre o de la orina y se usa en situaciones de emergencia. Respecto al medio ambiente no se encuentra registrado como residuo peligroso.

pH:	8.6 (solución al 5%)
Densidad:	2.173 gr/cm ³
Masa molar:	84.02 gr/mol
Punto de fusión:	323.15k (50°C)
Punto de ebullición:	-273.15 °C
Punto de descomposición:	desde los 60°C
Índice de refracción:	1.3344
Punto de ignición:	no aplica
Solubilidad en agua:	88 gr/L de H ₂ O a 20°C
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$:	-951 kJ/mol

❖ CARBONATO DE SODIO Na_2CO_3

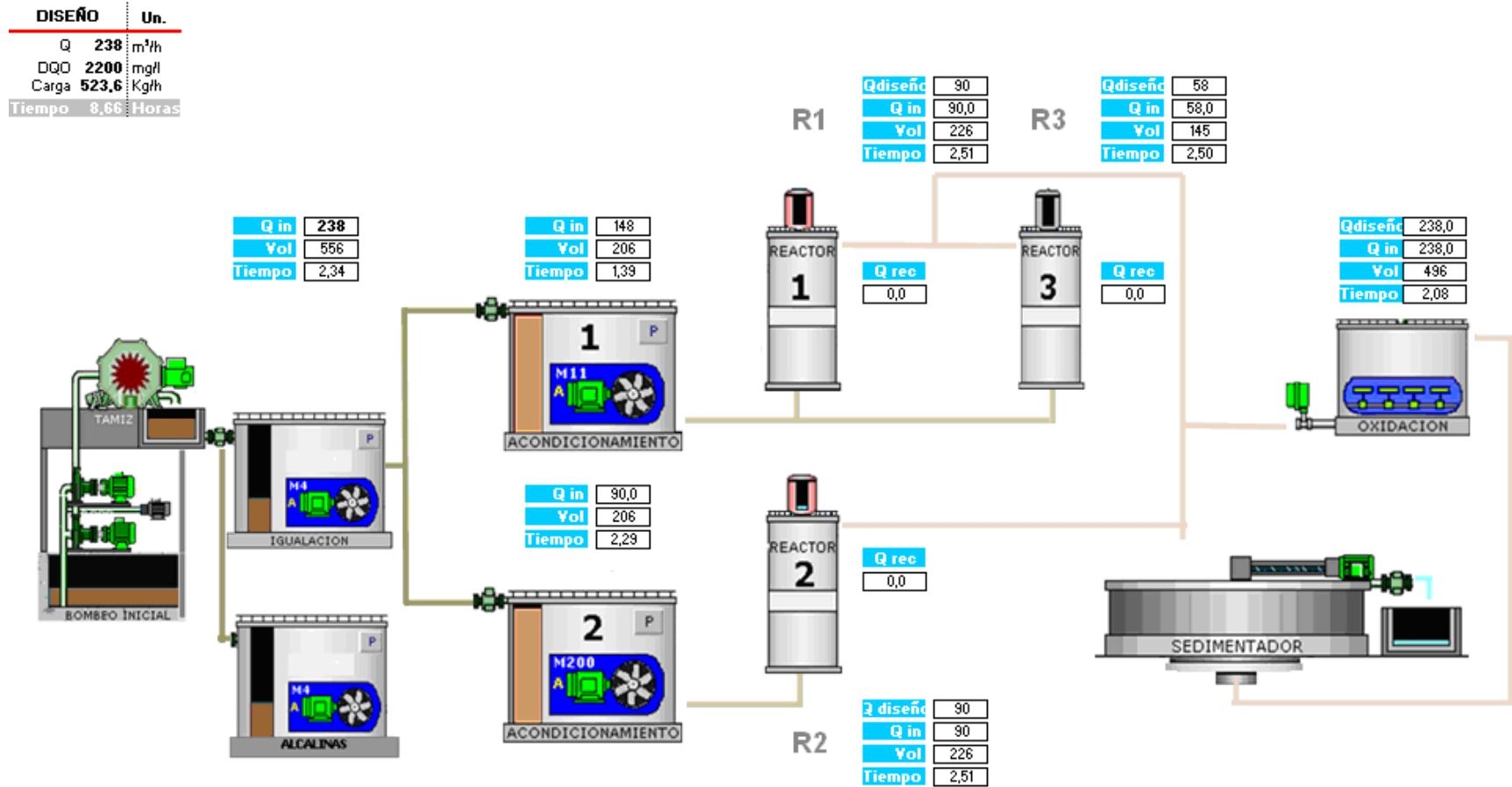


El carbonato sódico se presenta al mercado como una sal de color blanca y traslúcida, es un compuesto higroscópico que fácilmente absorbe humedad del aire. Es conocido comúnmente como barrilla, natrón, soda solvay, ceniza de soda y sosa. Se presenta en el mercado en dos formas según su granulometría y peso específico como carbonato sódico ligero, pulverulento, y carbonato sódico denso o granular para aquellas aplicaciones que requieren un grado de pureza máximo se ha desarrollado el carbonato químicamente puro. El carbonato de sodio reacciona violentamente con ácidos fuertes para formar dióxido de carbono.

El carbonato sódico se usa ampliamente en la fabricación de vidrio, sosa cáustica, bicarbonato sódico, aluminio, detergentes, sales y pinturas, así como para la desulfuración del hierro y el refinado del petróleo

Densidad:	$2.5 \cdot 10^8 \text{ g/cm}^3$
Masa molar:	106 g/mol
Punto de fusión:	851°C
Solubilidad en agua:	49.7 /10 H_2O partes a 35.4°C
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$:	-1102 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$:	-1131 kJ/mol
$S^0_{\text{sólido}}$:	135 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

ANEXO B. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.



Fuente: Suministrado por la cervecería de Bucaramanga, Autora.

ANEXO C. FUENTES DE SODA EN LA CERVECERÍA DE BUCARAMANGA.

DIVISIÓN	ÁREA	USOS	BATERÍAS CIP	FRECUENCIA DE DESCARGA
ENVASE	TREN 1 Y TREN 2	<ul style="list-style-type: none"> •Aseos Generales de las envasadoras y las pasteurizadoras, •Uso continuo en las lavadoras de botellas. 	2 baterías CIP (una por cada tren).	Fines de semana o cambio de marca ponymalta-cerveza
E L A B O R A C I Ó N	COCINAS	•Aseos generales y continuos a las líneas de mosto, enfriador, evaporador, a las ollas y a los intercambiadores de calor.	1 batería CIP con tanque recuperador de agua soda	Varias veces al día, cada fin de semana y cada 15 días
	FILTRACIÓN	•Aseos generales y continuos a los BBT's, filtro, líneas, tanques de agua desaireada y todas las unidades del proceso de filtración. En ninguna de las baterías se recupera agua.	1 batería para el filtro y 1 para los BBT's y contrapresión.	Fines de semana o cambio de marca a águila light
	FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> •Aseos generales a los unitanques. •Las baterías tienen sistema de recuperación de aguas. Siempre se envía a la PTAR el agua recuperada del primer enjuague. 	2 baterías CIP con tanques recuperadores de agua soda.	Cada vez que se desocupa un tanque, se descarga el primer enjuague.

Fuente: Autora.

ANEXO D. EQUIPOS QUE DESECHAN EL CO₂



Figura 5. Venteo de licuefacción.

Fuente: Autora.



Figura 6. Torres deodorizadoras.

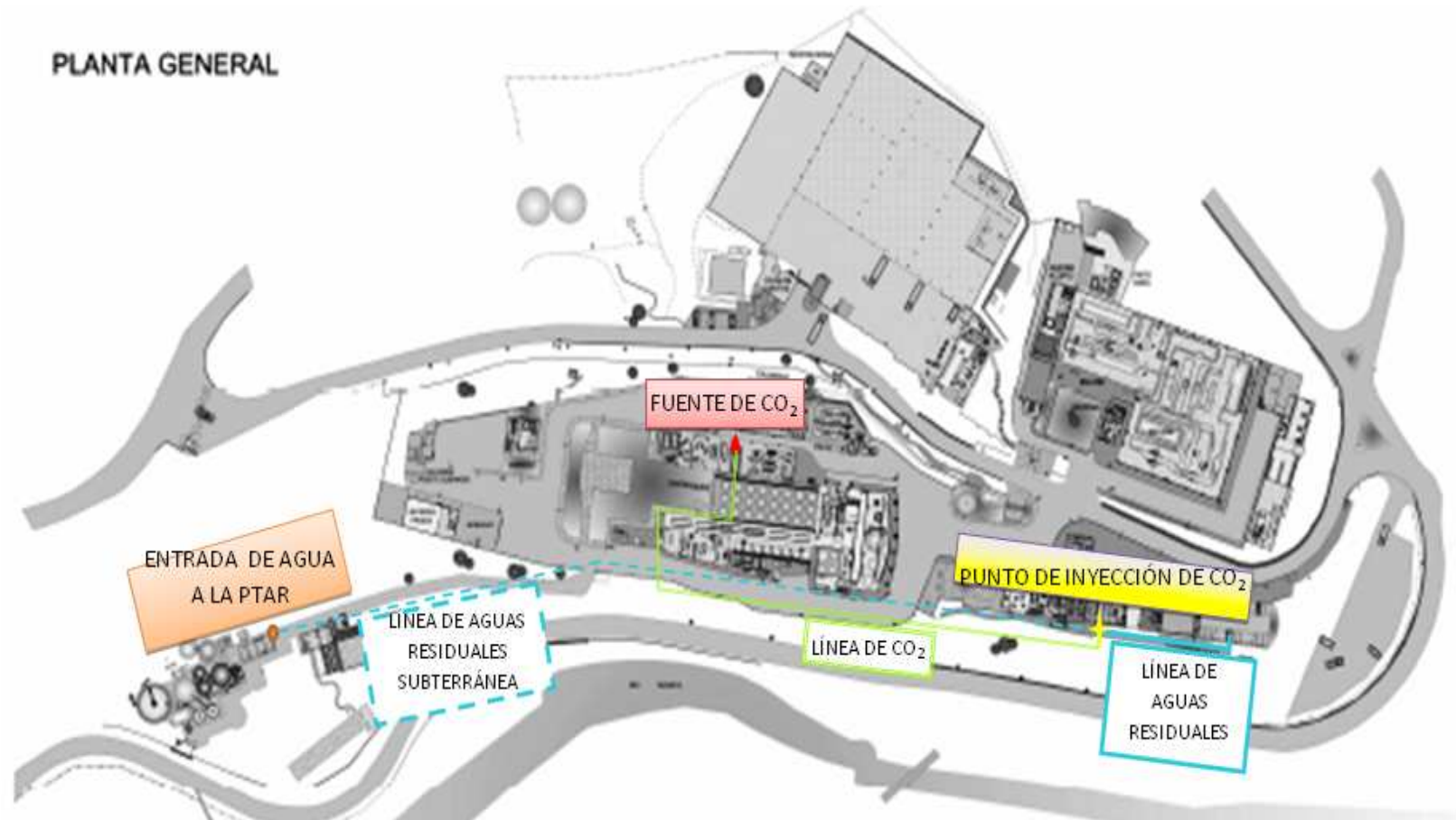
Fuente: Autora.



Figura 7. Torres secadoras.

Fuente: Autora.

ANEXO E. UBICACIÓN DEL PUNTO DE NEUTRALIZACIÓN EN LA CERVECERÍA.



Fuente: Mapa suministrado por la Cervecería de Bucaramanga, Autora.