

**ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA SUAVIZADA CON
CONTENIDO DE ALCOHOL COMO REEMPLAZO DE AGUA DE POZO
UTILIZADA EN EL PROCESO DE LAVADO DE CO₂ DE FERMENTACIÓN EN
LA DESTILERIA INCAUCA S.A.**

MAYEINI KATHERINE PINO PICÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA SUAVIZADA CON
CONTENIDO DE ALCOHOL COMO REMPLAZO DE AGUA DE POZO
UTILIZADA EN EL PROCESO DE LAVADO DE CO₂ DE FERMENTACIÓN EN
LA DESTILERIA INCAUCA S.A.**

MAYEINI KATHERINE PINO PICÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el titulo de:

Ingeniero Químico

Director

Dr. Crisóstomo Barajas Ferreira

Codirector

Ing. Romel Tapia

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1 Alcohol anhidro o carburante	13
2.2 Operación de los suavizadores de agua	14
2.3 Bombas de vacío	14
2.4 Columna de absorción simple (lavador de CO ₂)	16
2.5 Incrustación debida a la dureza del agua	16
3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	17
3.1 Diagrama de bloques de la metodología experimental	17
3.1.1 Medición del grado alcohólico del agua suavizada	18
3.1.2 Evaluación de los parámetros requeridos del agua suavizada	19
3.1.3 Diseño del sistema de recuperación de agua suavizada	20
3.1.4 Estimación costo-beneficio por recuperación de alcohol	21
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS	22
CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFIA	32
ANEXOS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo de alcohol anhidro INCAUCA S.A.	13
Figura 2: Bombas Nash de vacío	15
Figura 3. Columna de absorción INCAUCA S.A.	16
Figura 4. Diagrama de bloques de la metodología experimental	17
Figura 5. Punto de toma de muestra de agua suavizada	18
Figura 6. Toma de temperatura de agua suavizada	19
Figura 7. Puntos de toma de muestra del lavador de CO ₂	20
Figura 8. Flujo de etanol en agua suavizada	22
Figura 9. Concentración de alcohol en venteo de CO ₂ lavado	23
Figura 11. Área de instalación de la bomba para recuperar el agua suavizada	25
Figura 12. Plano Isométrico	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Longitud de la tubería del diseño propuesto	27
Tabla 2. Resultados de la perdidas de presión por fricción	27
Tabla 3. Resultados de caída de presión, cabeza y potencia requerida por la bomba	28
Tabla 4. Costos del diseño propuesto	29
Tabla 5. Alcohol recuperado por año	30
Tabla 6. Ingresos por recuperación de alcohol	30

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tabla de mediciones del grado alcohólico del agua suavizada	35
Anexo B. Tabla de mediciones del grado alcohólico del lavador de CO ₂	38
Anexo C. Tabla de mediciones de temperatura y PH del agua suavizada	39
Anexo D. Cálculo detallado de costos	40

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA SUAVIZADA CON CONTENIDO DE ALCOHOL COMO REEMPLAZO DE AGUA DE POZO UTILIZADA EN EL PROCESO DE LAVADO DE CO₂ DE FERMENTACIÓN EN LA DESTILERIA INCAUCA S.A.

AUTOR: PINO PICON Mayeini Katherine

PALABRAS CLAVES: Alcohol carburante, Agua suavizada, Bombas de vacío.

El proceso de obtención de etanol a partir de caña de azúcar comprende la extracción del jugo de caña, la fermentación alcohólica, donde la levadura transforma los azúcares en etanol y dióxido de carbono, y de operaciones unitarias como la destilación y deshidratación.

La columna rectificadora de INCAUCA S.A., opera al vacío, ya que se conecta a la bomba centrífuga de sello líquido (Agua suavizada), que consiste en succionar vapores del sistema de destilación. Al aumentar la capacidad de producción de alcohol, los condensadores de vapor de alcohol rectificado disminuyeron la eficiencia, hecho por el cual el vapor que succiona la bomba de vacío presenta trazas de alcohol, que finalmente es condensado por el agua suavizada que funciona de sello.

El objetivo del proyecto consistió en realizar un estudio para la recuperación de 14,5 l/h de alcohol, contenido en el agua suavizada que sale de la bomba de vacío, ya que su disposición final se realiza en el drenaje. Se propone reemplazar agua recuperada para el lavador de CO₂ de fermentación, con el fin de disminuir el consumo de agua de pozo utilizada por el equipo y disminuir el grado de incrustación en la columna rectificadora. Se plantea instalar una bomba, un sistema de tuberías y accesorios, para llevar 4000 l/h de agua suavizada hacia el lavador de CO₂ y disminuir el caudal de agua de pozo de 6500 l/h a 2500 l/h, aspecto positivo al medio ambiente. El agua de pozo que sale del lavador de CO₂ es enviado al tanque de aguas alcohólicas, que después es enviada a la columna rectificadora, por tal razón se espera que disminuya el grado de incrustación de la columna rectificadora, ya que el agua suavizada es de menor dureza que el agua de pozo.

*Proyecto de grado.

**Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Dr. Crisóstomo Barajas Ferreira

ABSTRACT

TITLE: RESEARCH FOR THE RECOVERY OF SMOOTHED WATER CONTAINING ALCOHOL AS A REPLACEMENT OF WELL WATER USED IN THE PROCESS OF WASHING CO₂ FERMENTATION IN THE DISTILLERY INCAUCA S.A.

AUTHOR: PINO PICON Mayeini Katherine

KEY WORDS: Fuel grade alcohol, smoothed water, vacuum pumps.

The process of obtaining ethanol from sugar cane includes the extraction of the juice from the cane, the alcoholic fermentation, where the yeast transforms sugars into ethanol and carbon dioxide, and unit operations such as distillation and dehydration.

The rectifying column of INCAUCA S.A. operates in a vacuum, since it connects to the centrifugal pump seal fluid (smoothed water), which consists of suck up vapors of the distillation system. By increasing the ability of alcohol production, the steam condensers of rectified alcohol decreased their efficiency; consequently the steam that sucks the vacuum pump shows traces of alcohol, which finally is condensed by the smoothed water that operates as a seal.

The objective of the project was to carry out a research for the recovery of 14.5 l/h of alcohol content in the smoothed water that comes out from the vacuum pump, since its final disposal is performed in the drainage. It is projected to replace recovered water for the scrubber of CO₂ of fermentation, in order to reduce the consumption of well water used by the computer and reduce the degree of incrustation in the rectifying column. It is proposed to install a water pump, a system of pipes and accessories, to carry 4000 l/h of smoothed water toward the CO₂ scrubber and reduce the flow of well water from 6500l/h to 2500 l/h, which is a positive aspect to the environment. The well water that comes out from the scrubber of CO₂ is sent to the tank of alcoholic waters, which is then sent to the rectifying column; for that reason is expected to decrease the degree of incrustation in the rectifying column, since the smoothed water is less hardness than well water.

* Grade project.

**Universidad Industrial de Santander. Physic-chemical Engineering Faculty, School of chemical engineering. Director Dr. Crisóstomo Barajas Ferreira

INTRODUCCIÓN

En la última década en Colombia se ha venido gestionando proyectos en el campo de la generación de energía amigable con el medio ambiente; uno de ellos es la generación de biocombustibles, cuyo principio se fundamenta en la necesidad de utilizar oxigenantes para la gasolina, que aumenten su octanaje y disminuir la contaminación generada por los gases de combustión [1].

La industria de alcohol carburante ha sido foco de grandes inversiones. El ingenio INCAUCA S.A posee la mayor producción de alcohol carburante en el país con una producción de 350.000 litros de alcohol diarios en operación continua y los cuatro procesos principales son: fermentación, destilación, evaporación de vinaza y deshidratación [2].

En el año 2005 el diseño de la planta tenía una capacidad para 300.000 litros/día de alcohol, por el aumento en la demanda de alcohol carburante en el país, en abril de 2011 se pone en marcha un nuevo fermentador, dos evaporadores de vinaza y otra planta de tratamiento de aguas residuales, para una producción de 350.000 litros/día de alcohol, sin embargo algunos equipos han disminuido la eficiencia, como los condensadores de vapor de alcohol rectificado, hecho por el cual el vapor que succiona la bomba de vacío de la columna rectificadora, presenta trazas de alcohol que finalmente es condensado por el agua suavizada que funciona como sello líquido de la bomba y su disposición final se realiza en el drenaje.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio para la recuperación de agua suavizada con contenido de alcohol como reemplazo de agua de pozo utilizada en el proceso de lavado de CO₂ de fermentación en la destilería INCAUCA S.A.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis del grado alcohólico del agua de sello proveniente de las bombas del sistema de vacío de la columna rectificadora, para cuantificar las pérdidas de alcohol.
- Evaluar los parámetros del agua suavizada que se requieren para la operación de lavado de CO₂.
- Identificar las características y requerimientos para el diseño del sistema de recuperación de agua suavizada con contenido de alcohol.
- Realizar el análisis costo-beneficio de la recuperación de agua suavizada con contenido de alcohol.

2. MARCO TEÓRICO

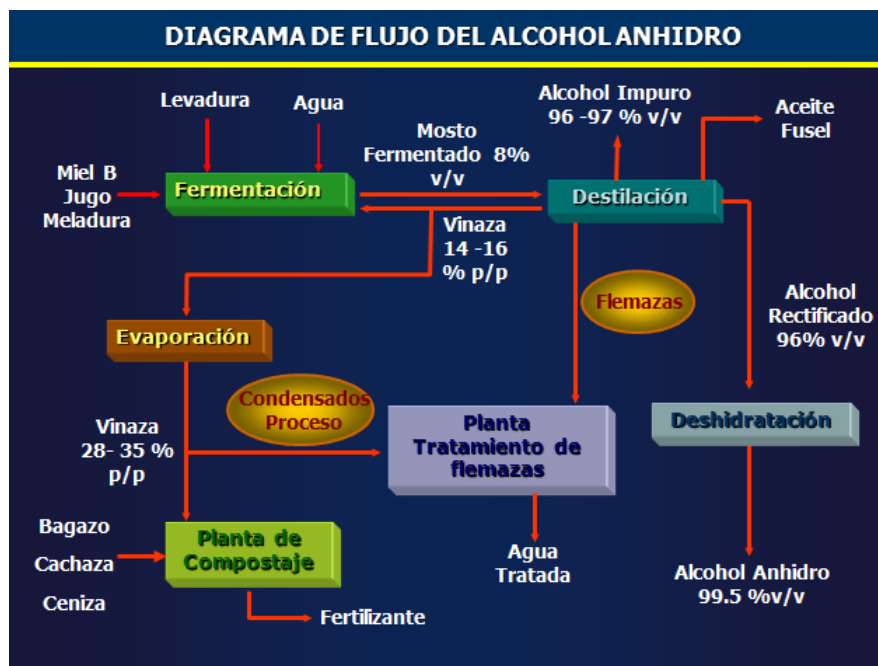
2.1 ALCOHOL ANHIDRO O CARBURANTE

Cuando la levadura metaboliza azúcar a etanol y CO₂ bajo condición anaerobia, se presentan una serie de reacciones químicas dentro de la levadura. Una síntesis de las reacciones puede expresarse en la reacción química:



Durante esta reacción química se libera energía en forma de calor, es decir, es una reacción exotérmica [3]. La figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de alcohol anhidro en INCAUCA S.A [4].

Figura 1: Diagrama de flujo de alcohol anhidro INCAUCA S.A.



Fuente: autor

2.2 OPERACIÓN DE LOS SUAVIZADORES DE AGUA

La suavización se lleva a cabo haciendo pasar el agua a través de un lecho de resina para intercambio iónico. Esta resina, cuyas moléculas insolubles están formadas por un anión polimérico y un catión de sodio el cual posee gran afinidad por cationes divalentes, tales como el calcio y magnesio, que se encuentran en el agua y los cuales se desean reducir [5]

Al poner en contacto agua que contiene cationes de calcio y magnesio (dureza) con la resina, esta intercambia sus cationes de sodio por los de calcio y magnesio, es decir, libera al agua de los cationes responsables de la dureza. [5]

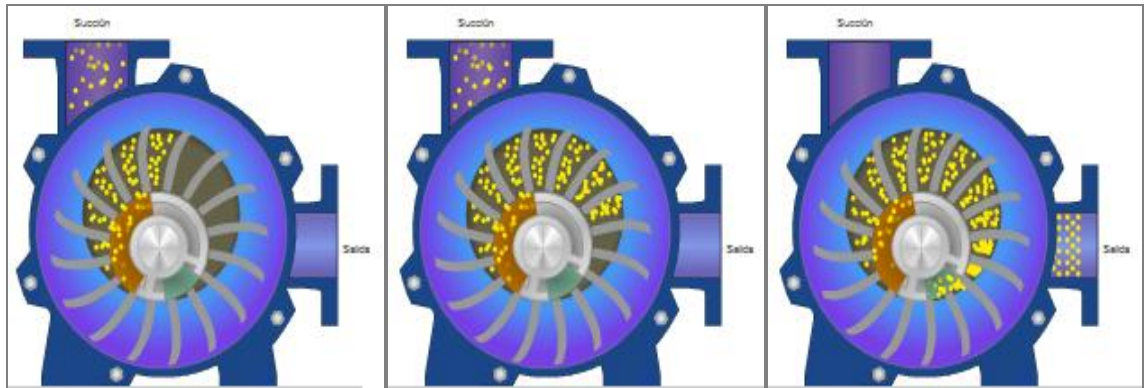
El agua seguirá liberándose de los cationes de calcio y magnesio hasta que la resina haya perdido todos sus cationes de sodio y por tanto su capacidad de intercambio [5].

La resina se puede regenerar ya que la reacción es reversible. Esto se obtiene poniéndola en contacto con una solución concentrada de cloruro de sodio para lograr un intercambio de los cationes de calcio y magnesio por los de sodio [6].

2.3 BOMBAS DE VACIO

Las columnas de destilación de INCAUCA S.A., operan al vacío ya que se conecta a la bomba centrífuga de sello líquido, la cual mantiene una presión de 5,52KPa en la columna rectificadora [7], la figura 2 muestra el mecanismo de funcionamiento de la bomba de vacío NASH, utilizada en INCAUCA S.A.

Figura 2: Bombas Nash de vacío



Fuente: **Gardner Denver Nash Brasil Indústria e Comércio de Bombas Ltda.**

<http://www.gdnash.com.br/esp/index2.html>

- a) El aire o gas representado por las bolitas amarillas entra en la bomba Nash.[8]
- b) El aire o gas atraviesa un paso interno en la lateral, hasta llegar a la ventana de admisión del cono, donde es succionado hasta las cámaras del rotor por el movimiento del anillo liquido, semejante al movimiento de succión de un pistón en un cilindro [8].
- c) El aire o gas es comprimido, este movimiento esquematiza la compresión del aire hasta la presión atmosférica. El anillo líquido hace el papel de un pistón y las cámaras del rotor hacen el papel de los cilindros [8].
- d) Cuando cada cámara llega a la ventana de descarga del cono, el aire o gas se expulsa a través de ella hacia la descarga de la bomba por un paso interno en la lateral [8]
- e) Bolitas amarillas (aire o gas) entre mas agrupadas estén, indican una presión más alta [8].

2.4 COLUMNA DE ABSORCIÓN SIMPLE (LAVADOR DE CO₂)

El alcohol perdido por evaporación durante la fermentación de bioetanol puede ser removido usando una columna de absorción. [9]. La corriente en fase vapor rica en bioetanol y dióxido de carbono entra a la columna por la parte inferior y es lavada con agua en contracorriente donde se recupera el etanol, y el vapor rico en bióxido de carbono se ventea [10]. En la figura 3 se observa la columna de absorción de la destilería INCAUCA S.A.

Figura 3. Columna de absorción INCAUCA S.A.



Fuente: autor

2.5 INCRUSTACIÓN DEBIDA A LA DUREZA DEL AGUA

La causa de la formación de incrustación, es debido al hecho de que la solubilidad de las sales en el agua, decrece a medida que se incrementa la temperatura, las sales se vuelven más insolubles, aumentando la facilidad de precipitación o incrustación [11].

La formación de incrustaciones puede ser prevenida, mediante el empleo de un tratamiento externo, como es la utilización de un suavizador, equipo que permite la disminución de dureza (sales) del agua. [12]

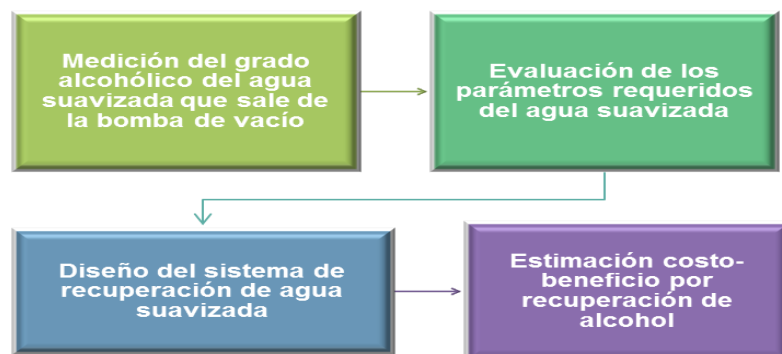
La presencia de incrustación en equipos como la columna rectificadora, es equivalente a extender una pequeña capa de aislamiento en cada uno de los platos y en toda el área de calentamiento haciendo que se impida la transferencia del calor y causando pérdidas de eficiencia en la columna rectificadora, por lo tanto incrementa el consumo de energía (vapor), para mantener la temperatura optima necesaria en cada uno de los platos [13].

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA

El diagrama del proceso mostrado en la figura 4 tiene como objetivo ilustrar de forma general el procedimiento llevado a cabo durante el desarrollo del proyecto.

Figura 4. Diagrama de bloques de la metodología experimental



Fuente: autor

3.1.1 Medición del grado alcohólico del agua suavizada: Para medir el grado alcohólico se tomó la muestra a la salida del tanque de almacenamiento de agua suavizada que sale de la bomba de vacío por una tubería de 0,05 m de diámetro. Las mediciones se hicieron en cada turno de trabajo durante un mes, del 19/10/20011 al 19/11/2011. Los análisis se realizaron en el laboratorio de calidad de INCAUCA S.A. con un DENSITY METER Anton paar DMA 35 N. En la figura 5 se observa el punto de toma de la muestra de agua suavizada, con el fin de medir el grado alcohólico y cuantificar las pérdidas de alcohol.

Figura 5. Punto de toma de muestra de agua suavizada



Fuente: autor

3.1.2 Evaluación de los parámetros requeridos del agua suavizada: Se tomó datos de temperatura directamente en el agua suavizada a la salida de la bomba de vacío, con un termómetro digital, del 05/12/2011 al 13/12/2011. En la figura 6 se observa dicho procedimiento.

Figura 6. Toma de temperatura de agua suavizada



Fuente: autor

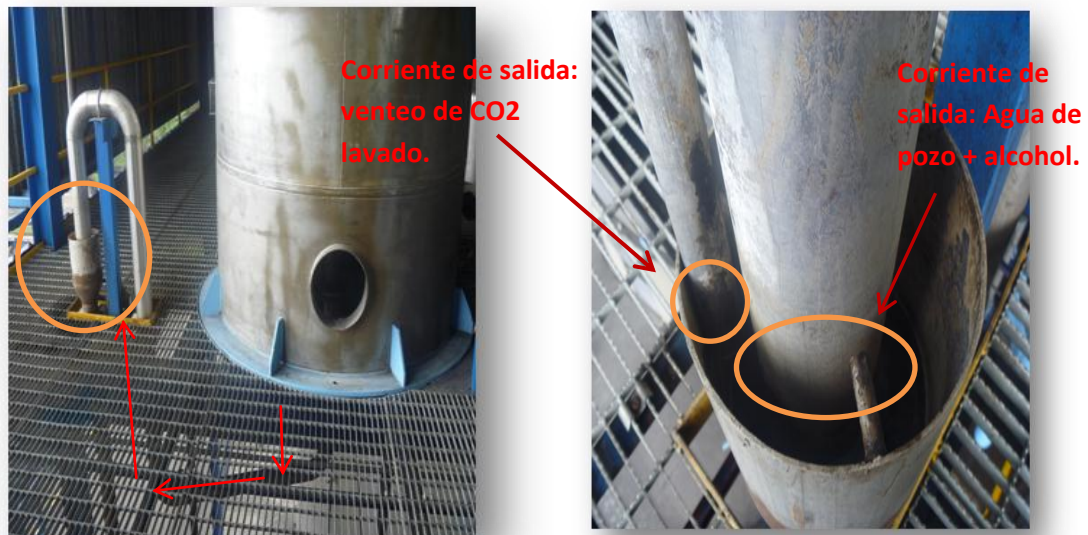
Se tomaron datos de PH como parámetro de condición para saber si el agua suavizada que se desea recuperar no afecta el material de los equipos, ya que PH bajos permite la aparición de la corrosión y PH altos a la formación de incrustación [11].

Los datos se tomaron en el laboratorio de calidad de INCAUCA S.A. con un peachímetro METTLER TOLEDO Seven Multi.

Se evaluó la eficiencia del lavador de CO₂, midiendo el grado alcohólico de la corriente de salida de venteo de CO₂ lavado y de esta manera determinar el caudal necesario para el correcto funcionamiento del equipo. Se tomo muestra a la

salida del venteo de CO₂ lavado y a la salida del agua del lavador de CO₂. En la figura 7 se muestra los puntos donde se tomaron muestras.

Figura 7. Puntos de toma de muestra del lavador de CO₂



Fuente: autor

3.1.3 Diseño del sistema de recuperación de agua suavizada: Se realizó un seguimiento en la planta y se procedió con el estudio del área de ubicación de la bomba y posteriormente la realización de los respectivos isométricos de la línea de recuperación de agua suavizada, teniendo en cuenta parámetros como: longitudes, direcciones y accesorios (válvulas manuales, codos, tees, y cheques).

Los cálculos hidráulicos de la bomba, se realizaron mediante una plantilla de cálculo Excel donde se tuvieron en cuenta los modelos matemáticos basados en textos fundamentales de mecánica de fluido [14,15], las propiedades del fluido

como la temperatura, densidad, viscosidad, longitud del trayecto de la tubería y accesorios en la tubería.[16]

Todos los parámetros nombrados anteriormente, fueron importantes para calcular la velocidad y caída de presión en la tubería e igualmente obtener la cabeza y potencia requerida por la bomba para que el fluido llegue al lavador de CO₂ de fermentación. [14]

Para determinar el diámetro se requirió de una iteración, ya que la velocidad depende del diámetro pero a la vez debe estar entre los valores establecidos por PRAJ, 1,0 m/s a 3,05 m/s de para servicios generales, como el transporte de agua [7].

3.1.4 Estimación costo-beneficio por recuperación de alcohol: Determinadas las dimensiones y requerimientos del sistema de diseño propuesto, se pidió la cotización de la bomba, tubería, montaje y accesorios, para determinar el presupuesto de inversión requerido para la recuperación de agua suavizada.

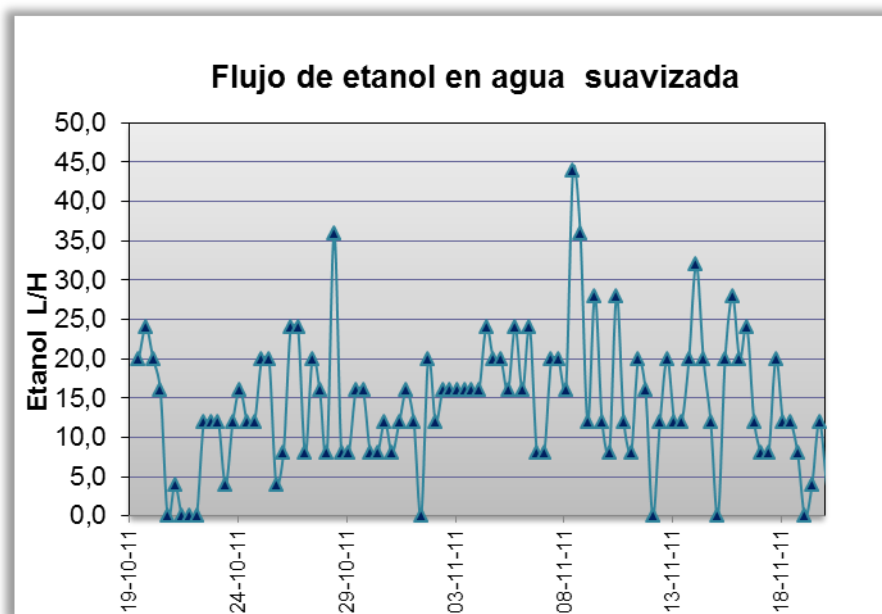
Se calculó los ingresos de la recuperación del alcohol, teniendo en cuenta el precio de venta y de producción del alcohol anhidro de enero de 2012. Finalmente se establece la relación costo-beneficio para determinar la viabilidad del proyecto.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación se muestra el flujo de alcohol diario contenido en el agua suavizada a la salida de la bomba de vacío, en el periodo comprendido del 19/10/2011 al 19/11/2011 para diferentes balances de producción de alcohol.

(Anexo A)

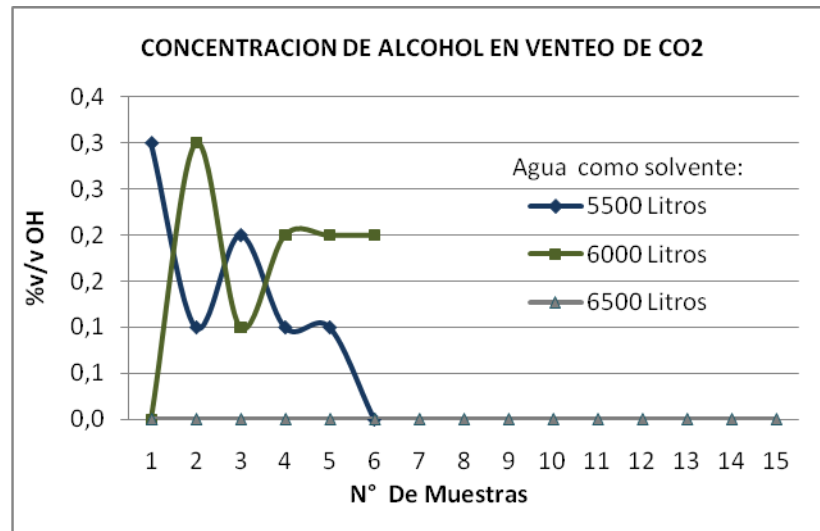
Figura 8. Flujo de etanol en agua suavizada



Fuente: autor

Se promedió los datos que se registran en la figura 8, como resultado se dejan de aprovechar 14,5 l/h de alcohol, lo que implica pérdidas de producción para la destilería INCAUCA S.A.

Figura 9. Concentración de alcohol en venteo de CO₂ lavado



Fuente: autor

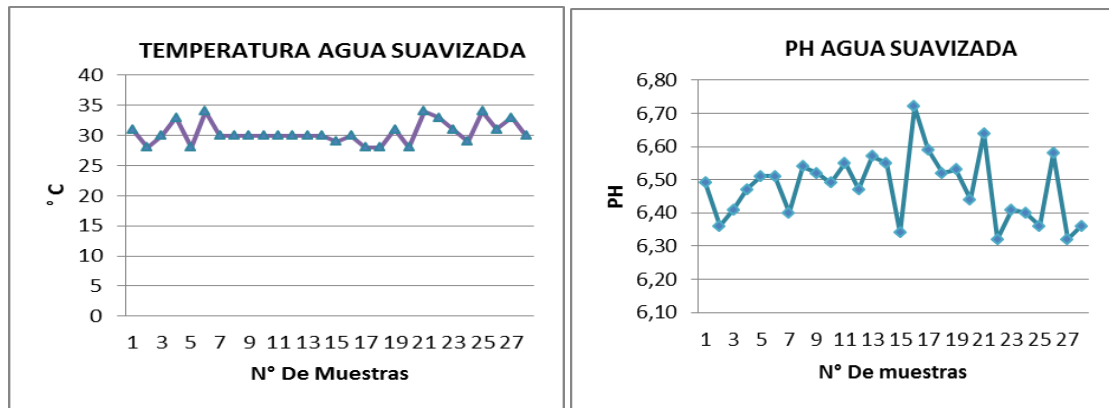
Con el fin de evaluar la eficiencia del equipo de lavado de CO₂, se encontró que con un flujo de 5500 l/h de agua como solvente que se estaban utilizando, el equipo no era eficiente, ya que el grado alcohólico en el venteo de CO₂ lavado en promedio era 0,2%v/v de alcohol, posteriormente se aumentó a 6000 l/h de agua de pozo y los datos mostraron en promedio 0,1 %v/v de alcohol, finalmente se aumentó en 6500 l/h de agua de pozo y el grado alcohólico en el venteo de CO₂ lavado fue de cero, sin importar el balance de producción diario de alcohol anhidro.**(Anexo B)**

Se determinó que el caudal para el funcionamiento eficiente del lavador de CO₂ de fermentación es 6500 l/h de agua, como se propone recuperar 4000 l/h de agua

suavizada para utilizarla en el lavador de CO₂, el caudal adicional de agua de pozo que se necesita es 2500l/h.

De acuerdo a datos tomados de temperatura el agua de suavizada sale de la bomba, con una temperatura promedio de 30 ° C (Figura 10).

Figura 10. Temperatura y PH del agua suavizada



Fuente: autor

La temperatura de agua de pozo que llega al lavador de CO₂ en promedio es 26 °C. (Dato suministrado en la empresa). Según los criterios de diseño de la industria PRAJ [17], la temperatura de operación de la columna de absorción es de 35°C, como se propone bombear 4000l/h de agua suavizada mas 2500l/h de agua de pozo, la temperatura de operación se encontrara entre el rango de operación lavador de CO₂.

Los datos de PH están en un rango 6.2 a 6.6, se considera un PH que no afecta los materiales de los equipo.

- **Diseño de los isométricos de la tubería**

Para la realización de los isométricos de la tubería, se realizó un estudio del área de instalación de la bomba en la planta, como se observa en la figura 11. Se tuvo en cuenta como referencia el tamaño de otra bomba que maneja un rango de flujo de 4000 l/h a 6000 l/h existente en la planta.

Figura 11. Área de instalación de la bomba para recuperar el agua suavizada



Fuente: autor

En la figura 12, se muestra el resultado del plano isométrico, se tuvo en cuenta la dirección de las líneas de tuberías existentes, que van desde el área de destilación hasta el área de fermentación en la planta. La tabla 1 muestra las longitudes en metros de cada uno de los tramos del diseño de la tubería. Para garantizar las mismas condiciones de entrada y salida en las corrientes del lavador de CO_2 , se plantea hacer la unión de la tubería de diseño y la existente de agua de pozo, como se puede ver en la figura 12. También se puede observar dos tanques de

almacenamiento de agua suaviza, esto es debido a que se cuenta con dos bombas de vacío en planta, pero se van rotando por razones de mantenimiento, es decir funciona una a la vez.

Figura 12. Plano Isométrico



Fuente: autor

Tabla 1. Longitud de la tubería del diseño propuesto

Numero	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Longitud (m)	1,9	1,7	2,0	10,1	0,3	12,0	3,0	12,0	3,54

Numero	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Longitud (m)	58,0	1,0	0,75	0,7	4	3,5	0,4	1,7	3	0,4

Fuente: autor

Teniendo en cuenta los planos realizados, se estimó que la longitud total de tubería es 108 m desde las bombas de agua suavizada hasta el lavador de CO2.

Accesorios:

- Cheque de 0,0381 m de diámetro. (1 cheque a la descarga de la bomba)
- Válvula compuerta 0,0381 m de diámetro.(1 válvula a la descarga de la bomba)

Tabla 2. Resultados de las pérdidas de presión por fricción

CALCULO DIAMETRO DE TUBERIA AGUA SUAVIZADA		
Flujo	1,33	l/s
Diámetro interno tubería	0,04	m
Longitud total de la tubería	108	m
Elevación neta	13,8	m
Temperatura del liquido	30	°C
Densidad del liquido	995,68	kg/m ³
Viscosidad	0,001	Pa-s
ACCESORIOS		

	Cantidad	L/D
Codos x 90	17	30
Tees	1	40
Válvula Compuerta totalmente abierta	1	13
Válvula Compuerta 3/4 abierta	0	35
Válvula Compuerta 1/2 abierta	0	160
Válvula Compuerta 1/4 abierta	0	900
Válvula de Bola	0	3
Válvula de mariposa	1	40
Válvula de Globo totalmente abierta	0	278
Cheques	1	150
Medidor de flujo	3,45	kPa
Válvula de control	10,34	kPa
Caída de Presión intercambiador	0	kPa
Velocidad	1,01	m/s
Número Reynolds	41267,3	
Factor de fricción	0,0258	
Caída de presión	9,86	kPa/30,48 m
Caída total presión por fricción	58,67	kPa
Caída total presión (incluye elevación)	192,43	kPa
Caída total presión (incluye elevación) metros fluido	19,73	m
Fuente: autor		

Tabla 3. Resultados de caída de presión, cabeza y potencia requerida por la bomba

RESULTADOS		
Cabeza total requerida	193,81	KPa
Metros requeridos de fluido	19,78	m
Potencia requerida	1184,65	W
Fuente: autor		

La potencia requerida por la bomba es de 1118,65 W.

El presupuesto de inversión requerido para el bombeo del agua suavizada al lavador de CO₂ de fermentación (bomba, tubería, montaje, accesorios). Se muestra en tabla 4.

Tabla 4. Costos del diseño propuesto

ITEM	DESCRIPCION	TOTAL
1	MATERIALES	\$ 1.833.000
2	MANO DE OBRA MONTAJE	\$ 1.225.000
3	ENERGIA ELECTRICA	\$ 1.879.200
4	2 BOMBAS	\$ 20.666.800
5	IVA 16%	\$ 3.796.000
TOTAL		\$ 29.400.000
Fuente: autor		

Cálculos detallados de costos por ítem. **(Anexo D)**

Los ingresos derivados de la recuperación del alcohol se referencian en la tabla 5,6.

Tabla 5. Alcohol recuperado por año

LITROS DE ALCOHOL		
Hora	Día	Año
14,5	347	114510
Fuente: autor		

El precio de alcohol carburante según la resolución 18 2327 de diciembre 26 de 2011 es de \$2.279,63 y el precio de venta según la coordinación de mercadeo y ventas INCAUCA S.A. es de \$900. Tabla 6.

Tabla 6. Ingresos por recuperación de alcohol

Precio venta de alcohol anhidro/litro	\$ 2.279
Precio de producción de alcohol anhidro/litro	\$900
Ganancia por litro de alcohol	\$ 1.379
Ingresos de la recuperación del alcohol.	\$131.120.000
Fuente: autor	

Dados los resultados la propuesta presentada es viable, por cuanto los ingresos recibidos por recuperación del alcohol, son superiores al costo de inversión del proyecto, recuperando el monto de la misma en un periodo de 4, 45 meses.

CONCLUSIONES

El agua suavizada que sale de la bomba de vacío, se puede recuperar con 14,5 l/h de alcohol y puede ser utilizada en la columna de absorción.

El agua suavizada cumple con las condiciones de operación que se requieren en la columna de absorción.

El sistema de diseño de recuperación de agua suavizada requiere una bomba 1416,82 W, una tubería de 120 m de 0,0381 m de diámetro.

La recuperación de la inversión es de 4.45 meses, obteniendo ingresos por el orden de \$131.120.000.

La recuperación de agua suavizada que entraría al proceso, implicaría un aspecto positivo para el medio ambiente, la disminución de consumo de agua de pozo en 96000 l/día.

BIBLIOGRAFIA

[1] SÁNCHEZ Óscar Julián y CARDONA Carlos Ariel. Producción biotecnológica de alcohol carburante: obtención a partir de diferentes materias primas. Revista Interciencia (Vol. 30, No 11, Noviembre 2005), publicación de la Asociación Interciencia (Caracas, Venezuela).

[2] ALCOHOL CARBURANTE <<http://www.incauca.com/content/Alcohol-Carburante#m2>>.

[3] FERMENTATION SECTION OPERATION MANUAL (S03147-4-OPM-101) Volume I. Praj Industries Ltd. PRAJ HOUSE.

[4] DOCUMENTOS Y PLANOS DE REFERENCIA PRAJ INDUSTRIES R-660-004. Diagrama de flujo del proceso de destilación S03147-0-PFD102. Diagrama de flujo del proceso de fermentación S03147-0-PFD101.

[5] MANUAL DE OPERACIÓN DE LOS SUAVIZADORES .Tecniaguas industrial y comercial s.a.s nit: 830.042.687-0 < <http://www.tecniaguas.com/>>.

[6] MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO FILTRO DE ARENA Y SUAVIZADORES. EDOSPINA Registro 1-R660005. Control de aguas de Proceso.

[7] DISTILLATION SECTION OPERATION MANUAL (S03147-4-OPM-102) Volume I. Praj Industries Ltd PRAJ HOUSE.

[8] OPERACION Y MANTENIMIENTO NASH VECTRA™ XL Bombas de Vacío y Compresores. Libro de datos de nash_elmo for xl-250. <<http://www.gdnash.com.br/esp/index2.html>>.

[9] EYNG Eduardo*, FILETI Ana M.F. Control of absorption columns in the bioetanol process: influence of measurementuncertainties. Revista ELSEVIER 23 (2010) 271-282.

[10] PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ETANOL. Simulación de Procesos I, incluida en la página Ingeniería Química, de autoría de Melanio Coronado Hurtado. Practica 27. (Facultad de Ingeniería, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia). <<http://galeon.com/mcoronado/enlaces1767285.html>>.

[11] PREVENCIÓN DE LA FORMACIÓN DE **INCRUSTACIONES**.

< www.revistavirtualpro.com/files/TI01_200601.pdf >

[12] SHARON O. Skipton. Drinking Wáter Treatment: Wáter Softening. University of Nebraska Lincoln. G 1491. October 2008 <<http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/g1491/build/g1491.pdf> >

[13] CRABTREE Mike, Aberdeen, Escocia. ESLINGER David, Tulsa, Oklahoma, EE.UU. La lucha contra las incrustaciones- Remoción y prevención.

<http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish99/aut99/p30_49.ashx>

[14] CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. McGraw-Hill. 1987.p. 1-6._ p. 3-6],

[15] KENNETH J. Bombas. Selección, uso y mantenimiento. México: McGraw-Hill.1978. p7

[16] MENDOZA Fredys Jiménez, LLINÁS CEPEDA Luís Carlos, MARTELO SÁNCHEZ Luz Elena. Desarrollo de un simulador para el análisis de un sistema de bombeo usando bombas centrífugas en procesos químicos. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia. Revista VIRTUALPRO® ISSN 1900-6241.

ANEXOS

Anexo A. Tabla de mediciones del grado alcohólico del agua suavizada

FECHA	TURNO	OH (%v/v) Agua Suavizada	Agua suavizada l/h	Producción Etanol L/día	Etanol en agua suavizada l/h
19/10/2011 10:00	I	0,5	4000	356000	20,0
19/10/2011 18:00	II	0,6	4000		24,0
20/10/2011 02:00	III	0,5	4000		20,0
20/10/2011 10:00	I	0,4	4000	322011	16,0
20/10/2011 18:00	II	0	4000		0,0
21/10/2011 02:00	III	0,1	4000		4,0
21/10/2011 10:00	I	0	4000	325470	0,0
21/10/2011 18:00	II	0	4000		0,0
22/10/2011 02:00	III	0	4000		0,0
22/10/2011 10:00	I	0,3	4000	337412	12,0
22/10/2011 18:00	II	0,3	4000		12,0
23/10/2011 02:00	III	0,3	4000		12,0
23/10/2011 10:00	I	0,1	4000	357828	4,0
23/10/2011 18:00	II	0,3	4000		12,0
24/10/2011 02:00	III	0,4	4000		16,0
24/10/2011 10:00	I	0,3	4000	347489	12,0
24/10/2011 18:00	II	0,3	4000		12,0
25/10/2011 02:00	III	0,5	4000		20,0
25/10/2011 10:00	I	0,5	4000	328502	20,0
25/10/2011 18:00	II	0,1	4000		4,0
26/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0
26/10/2011 10:00	I	0,6	4000	361400	24,0
26/10/2011 18:00	II	0,6	4000		24,0
27/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0
27/10/2011 10:00	I	0,5	4000	367772	20,0
27/10/2011 18:00	II	0,4	4000		16,0
28/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0

FECHA	TURNO	OH (%v/v) Agua Suavizada	Agua suavizada l/h	Producción Etanol L/día	Etanol en agua suavizada l/h
28/10/2011 10:00	I	0,9	4000	366336	36,0
28/10/2011 18:00	II	0,2	4000		8,0
29/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0
29/10/2011 10:00	I	0,4	4000	370014	16,0
29/10/2011 18:00	II	0,4	4000		16,0
30/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0
30/10/2011 10:00	I	0,2	4000	362511	8,0
30/10/2011 18:00	II	0,3	4000		12,0
31/10/2011 02:00	III	0,2	4000		8,0
31/10/2011 10:00	I	0,3	4000	358497	12
31/10/2011 18:00	II	0,4	4000		16
01/11/2011 02:00	III	0,3	4000		12
01/11/2011 10:00	I	0	4000	351385	0
01/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
02/11/2011 02:00	III	0,3	4000		12
02/11/2011 10:00	I	0,4	4000	359018	16
02/11/2011 18:00	II	0,4	4000		16
03/11/2011 02:00	III	0,4	4000		16
03/11/2011 10:00	I	0,4	4000	343974	16
03/11/2011 18:00	II	0,4	4000		16
04/11/2011 02:00	III	0,4	4000		16
04/11/2011 10:00	I	0,6	4000	349885	24
04/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
05/11/2011 02:00	III	0,5	4000		20
05/11/2011 10:00	I	0,4	4000	357978	16
05/11/2011 18:00	II	0,6	4000		24
06/11/2011 02:00	III	0,4	4000		16
06/11/2011 10:00	I	0,6	4000	353042	24
06/11/2011 18:00	II	0,2	4000		8
07/11/2011 02:00	III	0,2	4000		8
07/11/2011 10:00	I	0,5	4000	252528	20
07/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
08/11/2011 02:00	III	0,4	4000		16
08/11/2011 10:00	I	1,1	4000	189055	44

FECHA	TURNO	OH (%v/v) Agua Suavizada	Agua suavizada l/h	Producción Etanol L/día	Etanol en agua suavizada l/h
08/11/2011 18:00	II	0,9	4000	337216	36
09/11/2011 02:00	III	0,3	4000		12
09/11/2011 10:00	I	0,7	4000		28
09/11/2011 18:00	II	0,3	4000		12
10/11/2011 02:00	III	0,2	4000		8
10/11/2011 10:00	I	0,7	4000	345513	28
10/11/2011 18:00	II	0,3	4000		12
11/11/2011 02:00	III	0,2	4000		8
11/11/2011 10:00	I	0,5	4000	366507	20
11/11/2011 18:00	II	0,4	4000		16
12/11/2011 02:00	III	0	4000		0
12/11/2011 10:00	I	0,3	4000	369332	12
12/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
13/11/2011 02:00	III	0,3	4000		12
13/11/2011 10:00	I	0,3	4000	366803	12
13/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
14/11/2011 02:00	III	0,8	4000		32
14/11/2011 10:00	I	0,5	4000	356068	20
14/11/2011 18:00	II	0,3	4000		12
15/11/2011 02:00	III	0	4000		0
15/11/2011 10:00	I	0,5	4000	320000	20
15/11/2011 18:00	II	0,7	4000		28
16/11/2011 02:00	III	0,5	4000		20
16/11/2011 10:00	I	0,6	4000	321015	24
16/11/2011 18:00	II	0,3	4000		12
17/11/2011 02:00	III	0,2	4000		8
17/11/2011 10:00	I	0,2	4000	317002	8
17/11/2011 18:00	II	0,5	4000		20
18/11/2011 02:00	III	0,3	4000		12
18/11/2011 10:00	I	0,3	4000	319461	12
18/11/2011 18:00	II	0,2	4000		8
19/11/2011 02:00	III	0	4000		0
19/11/2011 10:00	I	0,1	4000	330293	4
19/11/2011 18:00	II	0,3	4000		12
20/11/2011 02:00	III	0,1	4000		4

Anexo B. Tabla de mediciones del grado alcohólico del lavador de CO₂

TURNO	N° de toma de muestras	OH (%v/v) Venteo CO ₂	Agua a lavador de CO ₂ L/H	Producción Etanol L/día
I	1	0,1	5500	337480
II	2	0,3	5500	
III	3	0,1	5500	
I	4	0,2	5500	339205
II	5	0,2	5500	
III	6	0,2	5500	
I	7	0,3	6000	354955
II	8	0,1	6000	
III	9	0,2	6000	
I	10	0,1	6000	366148
II	11	0,1	6000	
III	12	0,0	6000	
I	13	0	6500	365000
II	14	0	6500	
III	15	0	6500	
I	16	0	6500	355968
II	17	0	6500	
III	18	0	6500	
I	19	0	6500	357013
II	20	0	6500	
III	21	0	6500	
I	22	0	6500	305663
II	23	0	6500	
III	24	0	6500	
I	25	0	6500	337615
II	26	0	6500	
III	27	0	6500	

Anexo C. Tabla de mediciones de temperatura y pH del agua suavizada

pH Agua Suavizada	Temperatura
6,49	31
6,36	28
6,41	30
6,47	33
6,51	28
6,51	34
6,40	30
6,54	30
6,52	30
6,49	30
6,55	30
6,47	30
6,57	30
6,55	30
6,34	29
6,72	30
6,59	28
6,52	28
6,53	31
6,44	28
6,64	34
6,32	33
6,14	31
6,40	29
6,36	34
6,58	31
6,32	33
6,36	30
6,47	30,464

Anexo D. Cálculo detallado de costos

La bomba se cotizo con un factor de sobre diseño de 0,967.



HERNAN ESCOBAR POSADA REP

INGENIO DEL CAUCA

Proposal No: INCAUCA
Item No: Agua Suavizada

HEPREP
Cra 11A # 93-94 Of 201
PBX: +57 (1) 6219711
FAX: +57 (1) 6219860
Bogota D.C., Colombia
www.heprep.com
juan.rodriguez@heprep.com

January 31, 2012

MODEL:LF3196 STi SIZE:1x1.5-8 QTY: 2

i-FRAME™

Operating Conditions

SERVICE

LIQUID Water Temp. 86.0 deg F, SP.GR 0.995, Viscosity 1.000 cp, rated / max. suction pressure 0.0 / 0.0 psi g
CAPACITY Rated 21.0 gpm
HEAD 70.0 (ft)

Performance at 1750 RPM

PUBLISHED EFFY 22.5% (CDS)
RATED EFFY 20.5% with contract seal
RATED POWER 1.9 hp (incl. Mech. seal drag 0.18). (Run out 2.0 hp)
NPSHR 3.1 ft
DISCH PRESSURE (R) 31.3 psi g (34.1 psi g @ Shut off) based on 0.0 psi g rated suction pressure
PERF. CURVE 4545-3 (Rotation CW viewed from coupling end)
SHUT OFF HEAD 79.2 ft
MIN. FLOW Continuous Stable: 1.0 gpm Hydraulic: 1.0 gpm Thermal: N/A

PRICES in USD	
Pump Unit	5,177
Driver	470
Subtotal 2 Units	11,294
Boxing	216
Testing	
Freight	
Accessories	
Total 2 Units	11,510
Shipment: 15 Weeks EXW, NY	

Materials

CONSTRUCTION Ductile iron with 316SS impeller
CASING Ductile iron (max.casing pressure @ rated temp. 250.0 psi g)
ST.BOX COVER Ductile iron
IMPELLER 316SS - Open (7.7500 in rated, max=8.0000 in, min=4.5000 in)
CASING GASKETS Aramid Fiber with EPDM Rubber
IMPELLER O-RING Teflon
SHAFT MATERIAL SAE 4140
SHAFT SLEEVE 316SS
LUBRICATION Flood oil
SEAL CHAMBER Taper bore plus with axial ribs
GLAND 316SS Flush quench and drain
BEARINGS 6207 (Inboard) 5306 (Outboard)
COUPLING Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-2 (standard orange element)-S.F. 1.00
COUPLING GUARD Carbon steel
BASEPLATE Cast iron camber top B00061A

Sealing Method

MECHANICAL SEAL John Crane 5615Q O(28)O(58)1O(28)O(58)1 (Silicon Carbide vs Silicon Carbide with EPR) - (Cartridge - Single)

Flanges

150# raised face



Liquid end features

Impeller balance holes

Frame Connections

Bearing frame drain

Frame cooler access

Oil fill connection

Frame features

Ductile iron frame ring

Inpro VBXX-D Hybrid Bearing Isolators

Premium Severe Duty Thrust Bearings

i- ALERT™ Condition Monitor

Assembly and Testing

Assembly and Test - Impeller balanced to ISO G6.3

Casing & Cover - Standard hydro test

Piping

CPI Plan 7311 316SS pipe Sch. 40

Painting

Goulds Blue standard painting

Warranty

5 Year Extended Warranty (All the components, manufactured by ITT Goulds pumps, in the liquid end and power end are covered).

Optional Features:

Construction

316SS (over Ductile iron with 316SS impeller)

add 4,679

All above optional adders are per unit in (USD)

Noise Level Data

Maximum predicted sound pressures level pump only in Decibels (db) Re 0.0002 microbars measured 3ft horizontally and 5ft from the floor per QCP 580

Noise Level	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	A
Pump	53.0	54.0	55.0	54.0	57.0	59.0	60.0	55.0	48.0	64.5

Driver : Electric motor Manufacturer : Pump mfg's Choice

FURNISHED BY	Pump mfg	MOUNTED BY	Pump mfg
RATING	2.0 hp (1.5 KW)	ENCLOSURE	TEFC - Premium Efficiency
PHASE/FREQ/VOLTS	3/60 Hz/230/460	SPEED	1800 RPM
INSULATION/SF	F/1.15	FRAME	145T

Boxing

BOXING Export

Weights and Measurements

TOTAL NET UNIT WEIGHT / VOLUME	257.0 lb / 3.3 ft ³
TOTAL GROSS UNIT WEIGHT / GROSS VOLUME	326.0 lb / 13.7 ft ³

Program Version 1.38.0.0

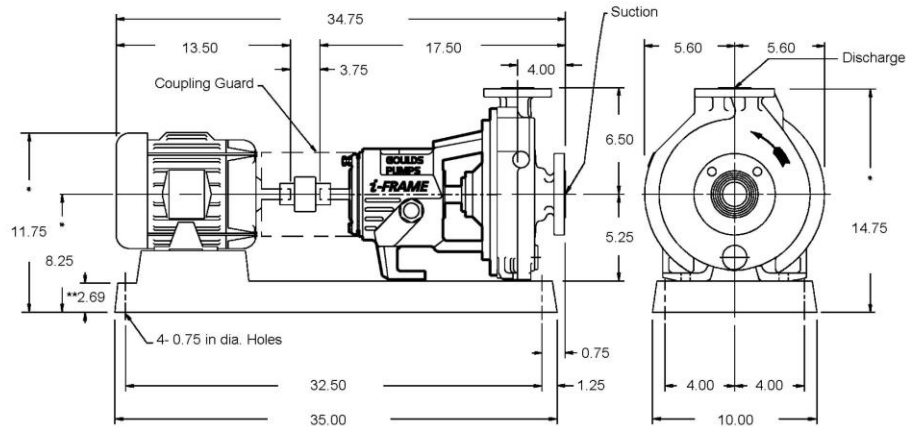


Our offer does not include specific review and incorporation of any Statutory or Regulatory Requirements and the offer is limited to the requirements of the design specifications. Should any Statutory or Regulatory requirements need to be reviewed and incorporated then the Customer is responsible to identify those and provide copies for review and revision of our offer.

Our quotation is offered in accordance with our comments and exceptions identified in our proposal.

[Click here](#) to download the pump Bulletin
[Click here](#) to learn more about the new *i-FRAME*[™]





Pump Specification

SUCT.FLANGE SIZE	1.5"	DRILLING	ANSI 150#	FACING	RF	FINISH	SERRATED
DISCH.FLANGE SIZE	1"	DRILLING	ANSI 150#	FACING	RF	FINISH	SERRATED
PUMP ROTATION (LOOKING AT PUMP FROM MOTOR)	CW						
TYPE OF LUBRICATION	FLOOD OIL					COOLED	NO
TYPE OF STUFFING BOX	TAPER BORE PLUS WITH AXIAL RIBS					COOLED	NO
TYPE OF SEALING	MECHANICAL SEAL						

Weights and Measurements

PUMP	100.0 lb
MOTOR/CPLG	50.0/2.0 lb
BASEPLATE	105.0 lb
TOTAL	257.0 lb
GR.VOLUME w/BOX	13.7 ft ³
GR.WEIGHT w/BOX	326.0 lb

Motor Specification

MOTOR BY	PUMP MFG	MOUNT BY	PUMP MFG	MFG.	PUMP MFG'S CHOICE
FRAME	145T	POWER	2.0 hp	RPM	1800
PHASE	3	FREQUENCY	60 HZ	VOLTS	230/460
INSULATION	F	S.F.	1.15		
ENCLOSURE	TEFC - PREMIUM EFFICIENCY				

Notes and References

- MTR DIMENSIONS ARE APPROXIMATE
 * Tolerance is +0.38 -0
 - DISCH. FLANGE WILL BE THREADED AS 4-1/2-13 UNC-2B
 ** Foundation bolt grip thickness

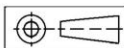
FOR PUMP TAPPED OPENINGS REFER TO DWG.:
 TINCAUCA / Agua Suavizada

Auxiliary Specification

COUPLING BY	PUMP MFG	CPLG TYPE	REXNORD OMEGA REX ELASTOMER-ES-2 (STANDARD ORANGE)
CPL GUARD BY	PUMP MFG	CPLG GUARD MATL	CARBON STEEL
BASEPLATE	CAST IRON CAMBER TOP B00061A		
MECH.SEAL	JOHN CRANE 36150 O(280)(S81)O(280)(S81) (SILICON CARBIDE VS SILICON CARBIDE WITH EPR)		

DRAWING IS FOR REFERENCE ONLY.
 NOT CERTIFIED FOR CONSTRUCTION UNLESS SIGNED.

Customer: INGENIO DEL CAUCA
 Serial No:
 Customer P.O. No:
 Item No: Agua Suavizada
 End User: INCAUCA
 Service:



All dimensions are in inches.
 Drawing is not to scale
 Weights (lbs) are approximate

Copyright 2012
 ITT Corp

DRAWING NO INCAUCA/Agua Suavizada

Model: LF3196	Size: 1x1.5-8	Group: STi	60Hz	RPM: 1750	Stages: 1
----------------------	----------------------	-------------------	-------------	------------------	------------------

Job/Inq.No. :
Purchaser : INGENIO DEL CAUCA
End User: INCAUCA
Item/Equip.No. : Agua Suavizada
Service :
Order No. :
Issued by : Juan Rodríguez
Quotation No. : INCAUCA
Date : 01/31/2012
Certified By :
Rev. : 0

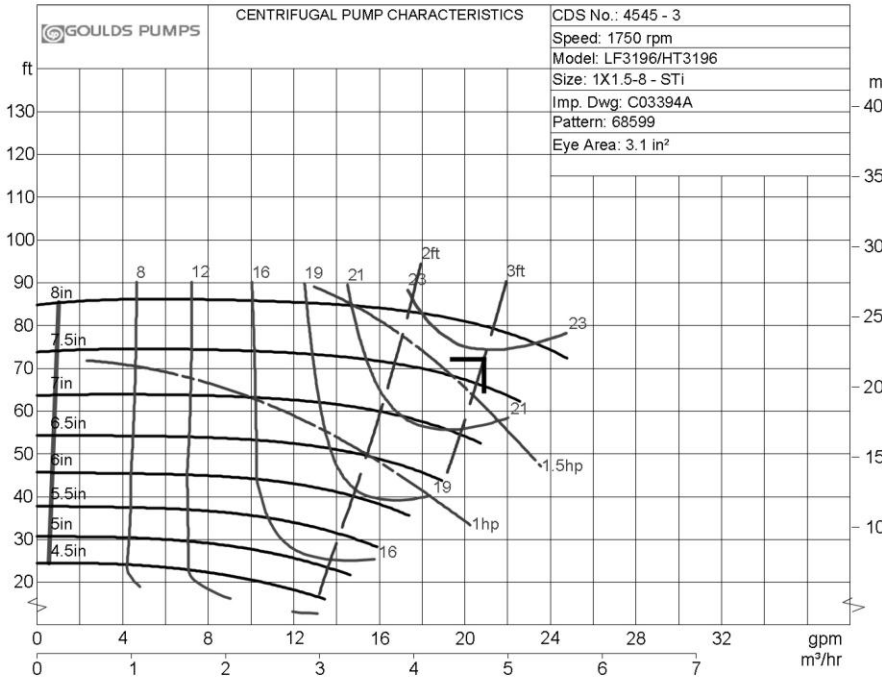
Operating Conditions

Liquid: Water
Temp.: 86.0 deg F
S.G./Visc.: 0.995/1.000 cp
Flow: 21.0 gpm
TDH: 70.0 ft
NPSHa: 0.0 ft
Solid size:
% Susp. Solids (by wtg):
Max. Solids Size: 0.2500 in

Pump Performance

Published Efficiency: 22.5 %
Rated Pump Efficiency: 20.5 %
Rated Total Power: 1.9 hp
Non-Overloading Power: 2.0 hp
Imp. Dia. First 1 Stg(s): 7.7500 in
NPSHr: 3.1 ft
Shut off Head: 79.2 ft
Vapor Press:
Suction Specific Speed: 3.609 gpm(US) ft
Min. Hydraulic Flow: 1.0 gpm
Min. Thermal Flow: N/A

- Notes:** 1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
2. Elevated temperature effects on performance are not included.



Los materiales para el cambio de diámetro de tubería se estimaron mediante reglas establecidas en la empresa teniendo en cuenta un factor de seguridad del 20 %, el montaje de la tubería se cotizo con Dayped S.A y por ultimo se estimo un iva del 16 %.

Tabla: cotización mano de obra

DAYPED S.A	Proyecto recuperación agua de sello bombas de vacío	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Total
3000150	montaje:(mano de obra) codos 11, válvulas 2, 8 flanges, tubería , reducciones 2	135	m	\$ 9.075	\$1.225.125

Costo del consumo energético

- 1,5 Kw, cuyo consumo energético es:

$$1,5 \text{ kw} \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ Dia}} \right) \left(\frac{360 \text{ Dia}}{1 \text{ año}} \right) = \frac{12960 \text{ Kw} * \text{h}}{\text{año}}$$

Los costos de la energía en el Ingenio es \$145/ kw h por ende al convertir los 129,60 kw.h/año en pesos tendríamos:

$$\left(\frac{12960 \text{ Kw} * \text{h}}{\text{año}} \right) \left(\frac{\$145}{\text{Kw} * \text{h}} \right) = \$1.879.200$$