

Dimensionamiento de los scrubber de alta y baja presión para gas natural teniendo en cuenta las variables operativas de una estación de regulación en el Valle de Magdalena Medio.

Iván Darío Dueñas Gamboa

Monografía de Grado para Optar el título de Especialista en Ingeniería de Gas.

Directora

Helena Margarita Ribón, Barrios

M. Sc Ingeniería de Hidrocarburos

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Ingeniería de Petróleos  
Especialista en Ingeniería de Gas  
Bucaramanga

2.021

### **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis profesores por el apoyo brindado durante mi proceso de formación, a mi directora de monografía Helena Margarita Ribón por su asesoría y acompañamiento, al profesor Álex Chaves por sus comentarios y correcciones que dieron valor a esta monografía.

Gracias a mis padres por enseñarme a ser constante y por qué brindarme a diario su apoyo para cumplir cada meta propuesta.

**Tabla de Contenido**

Introducción ..... 11

1. Objetivos ..... 12

1.1 Objetivo General ..... 12

1.2 Objetivos Específicos..... 12

2. Marco teórico ..... 12

2.1 Separadores ..... 12

2.2 Principios de separación ..... 13

2.2.1 Separación por Gravedad ..... 13

2.2.2 Fuerza Centrífuga..... 14

2.2.3 Coalescencia ..... 15

2.3 Etapas de separación ..... 16

2.4 Componentes internos..... 17

2.4.1 Deflector ..... 18

2.4.2 Eliminador de niebla..... 19

2.4.2.1 Wire mesh. .... 20

2.4.2.2 Vane pack..... 21

2.4.2.3 Eliminadores de niebla ciclónicos. .... 23

2.4.3 Eliminador de vórtices. .... 23

2.5 Dimensionamiento .....	24
2.5.1 Patrón de flujo.....	24
2.5.2 Capacidad de gas.....	26
2.5.3 Capacidad de líquido.....	29
3. Metodología .....	32
3.1 Antecedentes y funcionamiento de la estación .....	32
3.2 Condiciones de operación futuras .....	34
3.3 Análisis de los scrubber actuales .....	35
3.4 Diseño de scrubber de alta y baja presión.....	37
3.4.1 Cálculo componentes internos .....	40
4. Resultados .....	43
4.1 Simulación. ....	49
5. Discusión.....	51
6. Conclusiones .....	53
7. Recomendaciones .....	55
Referencias.....	56

**Lista de Tablas**

Tabla 1 Momento máximo según el tipo de deflector ..... 18

Tabla 2 Desempeño de deflectores según su tipo..... 19

Tabla 3 Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla de malla..... 20

Tabla 4 Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla de aleta ..... 22

Tabla 5 Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla ciclónicos ..... 23

Tabla 6 Valores típicos Factor K..... 27

Tabla 7 Ajuste del factor K por presión ..... 27

Tabla 8 Factor K según tipo de eliminador de niebla..... 28

Tabla 9 Variables que influyen en el dimensionamiento de separadores ..... 31

Tabla 10 Condiciones actuales de entrada a la estación de regulación ..... 33

Tabla 11 Cromatografía del gas..... 34

Tabla 12 Especificaciones del generador eléctrico..... 35

Tabla 13 Condiciones de operación y dimensiones de scrubber de alta presión..... 36

Tabla 14 Condiciones de operación y dimensiones scrubber baja presión ..... 36

Tabla 15 Condiciones de operación y diseño de los scrubber ..... 37

Tabla 16 Resultado dimensionamiento scrubber de alta y baja presión..... 44

Tabla 17 Cálculo sección transversal scrubber alta presión a diferentes condiciones con factor K de 0,12 ..... 44

Tabla 18 Cálculo sección transversal scrubber alta presión a diferentes condiciones con factor K de 0,35 ..... 45

Tabla 19 Cálculo sección transversal scrubber baja presión a diferentes condiciones con factor K de 0,08 ..... 45

Tabla 20 Cálculo sección transversal scrubber baja presión a diferentes condiciones con factor K de 0,35 .....	45
Tabla 21 Carga de líquido eliminador de niebla scrubber alta presión .....	46
Tabla 22 Carga de líquido eliminador de niebla scrubber baja presión .....	46
Tabla 23 Momento en deflector de entrada de scrubber alta presión .....	47
Tabla 24 Momento en conexión de entrada de scrubber de baja presión .....	47
Tabla 25 Altura manejo de líquidos en scrubber de alta y baja presión .....	47
Tabla 26 Distancia altura libre entre eliminador de niebla y conexión de salida .....	48
Tabla 27 Alturas para manejo de líquidos scrubber de alta y baja presión .....	48
Tabla 28 Cálculo cantidad agua en corriente de salida.....	51
Tabla 29 Dimensionamiento scrubber baja presión .....	52

**Lista de Figuras**

Figura 1 Principio de separación por gravedad ..... 14

Figura 2 Principio de separación por fuerza centrífuga..... 15

Figura 3 Principio de Coalescencia ..... 15

Figura 4 Etapas de separación en separadores bifásicos ..... 17

Figura 5 Eficiencia de eliminador de niebla de malla ..... 21

Figura 6 Eliminador de niebla vane pack o aletado..... 22

Figura 7 Patrones horizontales de dos fases ..... 25

Figura 8 Aplicaciones en proceso - Rango de operación de equipos ..... 26

Figura 9 Guía para el manejo de líquido en separadores de dos fases ..... 30

Figura 10 Proceso de gas natural en campo ..... 33

Figura 11 Diagrama de flujo selección y diseño componentes internos ..... 42

Figura 12 Altura scrubber alta y baja presión..... 49

Figura 13 Simulación proceso de separación general..... 50

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Dimensionamiento de scrubber de alta presión.....	58
Apéndice B. Dimensionamiento de scrubber de baja presión .....	62

## Resumen

**Título:** Dimensionamiento de los scrubber de alta y baja presión para gas natural teniendo en cuenta las variables operativas de una estación de regulación en el Valle de Magdalena Medio.\*

**Autor:** Iván Darío Dueña Gamboa.\*\*

**Palabras claves:** Dimensionamiento, scrubber, separación

### Descripción:

El desarrollo de esta monografía tuvo como objetivo verificar el dimensionamiento de los scrubber de alta y baja presión en una central eléctrica donde se realizará la ampliación de su capacidad de generación. Se realizó la visita a campo para recopilar la información sobre condiciones de operación y diseño, donde se obtuvo presión, caudal, temperatura de operación, cromatografía del gas, referencia de los motores y las condiciones de calidad para hacer uso del gas natural como combustible. Para el dimensionamiento de los scrubber se realizó un estudio bibliográfico que permitió conocer las variables que afectan su dimensionamiento, los tipos de componentes internos y como se seleccionan, los diferentes principios de separación, los métodos y fórmulas para realizar su dimensionamiento, entre otros, donde se resalta la importancia del factor K su diseño. Por esto, con la información recopilada en campo y el estudio bibliográfico, se realizó el dimensionamiento teórico de los scrubber teniendo en cuenta el factor K teórico y práctico para identificar su diferencia en los resultados obtenidos. Adicionalmente, se tomó como punto base para comparar el dimensionamiento actual, la selección de los componentes internos y los cambios generados por el aumento en el caudal de gas natural y la presión de entrada. Para comprobar los resultados teóricos y datos obtenidos en campo, se realizó la simulación del proceso en Hysys.

En los resultados obtenidos, se evidencia la diferencia en el dimensionamiento teniendo en cuenta para el factor K un aumento en el diámetro si se realiza el cálculo de forma teórica. También se identifica, que el scrubber de alta presión se encuentra sub-dimensionado cuando el caudal de gas aumenta a 1,9 MMSCFD y la presión de entrada disminuye a 350 psig, por lo que se recomienda realizar su cambio para cumplir con las nuevas condiciones de operación.

\*Monografía

\*\*Facultad de ingeniería fisicoquímica. Escuela de ingeniera de petróleos. Especialista de ingeniería de gas. Directora Helena Margarita Ribón Barrios.

### **Abstract**

**Title:** Sizing of the high and low pressure scrubbers for natural gas considering the operational variables of a regulation station in Valle de Magdalena Medio

**Author:** Ivan Dario Dueñas Gamboa

**Keywords:** Sizing, scrubber, separation

### **Description**

This monograph as developed to verify the correct sizing of the high and low pressure scrubbers in a power plant where will be an increase of the consumption of natural gas. Based on this, a field visit was made to collect information on the operating and design conditions, where it was possible to obtain the pressure, flow and operating temperature, gas chromatography, reference of the engines and the quality conditions to use natural gas as fuel. First a bibliographic study was made to identify the variables that control their sizing, the types of internal components and how they are selected, the different separation principles, the methods and formulas to perform their sizing, where the importance of the K factor in its design is highlighted. Therefore, a theoretical sizing was made, calculating the K factor and assuming a practical value to validated the result with the information collected in the field and the bibliographic study. In addition, it was taken as a base point to compare the current dimension, the selection of the internal components and the changes generated by the increase in the natural gas flow and the inlet pressure. Verifying theoretical results and data obtained in the field, the process simulation was carried out in Hysys. Based in the results obtained, the difference in the transversal area is evident considering the K factor, being for the operating conditions of this case, an increase in the diameter if the calculation is carried out theoretically. It is also identified that the high-pressure scrubber is undersized when the gas flow increases to 1.9 MMSCFD and the inlet pressure decreases to 350 psig, so it is recommended to change it to meet the new conditions of operation.

\*Monografía

\*\*Facultad de ingeniería fisicoquímica. Escuela de ingeniera de petróleos. Especialista de ingeniería de gas. Directora Helena Margarita Ribón Barrios.

## Introducción

Los scrubber de gas natural son equipos separadores de gran uso en la industria para extraer líquidos de una corriente de gas. Esto permite que su aplicabilidad sea muy amplia desde el momento en que se extrae el gas del pozo hasta su tratamiento para llevarlo a condiciones de transporte o venta. Por esta razón, su uso se hace muy común para la protección de equipos sensibles a contaminantes líquidos como son los compresores y en procesos de recolección de líquidos o condensados del gas natural.

La correcta selección, dimensionamiento y diseño del scrubber y sus componentes internos aseguran su buen desempeño cumpliendo con las condiciones operacionales requeridas en campo. Es por esto que se debe tener en cuenta variables operativas como presión, temperatura, caudal, viscosidad, densidad y composición del gas al momento de realizar los cálculos de ingeniería.

El caso de estudio presentado en esta monografía se basa en determinar si los scrubber de alta y baja presión en una estación de regulación de gas al interior de una central de generación eléctrica cuentan con las dimensiones y condiciones de diseño mínimo requeridos para su correcta operación teniendo en cuenta que se aumentara el consumo de gas natural. Por este motivo se realizará una revisión bibliográfica enfocada en identificar las variables que afectan el desempeño de los scrubber teniendo en cuenta las condiciones de operación, se seleccionarán los componentes internos y se simulará el proceso por medio de un software para analizar su comportamiento con el consumo de gas actual y futuro para posteriormente compararlo con lo encontrado en campo y determinar su rango de operación y posibles mejoras.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar los scrubber de alta y baja presión requeridos para operar de forma eficiente en una central de generación eléctrica en Valle de Magdalena Medio.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Definir los parámetros clave en el dimensionamiento de scrubber para gas natural por medio de una revisión bibliográfica.
- Proponer una metodología para seleccionar los internos del scrubber en función de las variables operacionales.
- Dimensionar los scrubber de alta y baja presión por medio del software Hysys teniendo en cuenta las condiciones de operación.
- Realizar un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos en la simulación de los scrubber de alta y baja presión.

## **2. Marco teórico**

En este capítulo se presenta una descripción del diseño de separadores enfocada a los separadores verticales que operan con principios de funcionamiento por gravedad, detallando sus componentes internos y su importancia, las variables operacionales y otros factores que pueden afectar su funcionamiento.

### **2.1 Separadores**

La separación de líquidos y sólidos es una de las operaciones más importantes en el procesamiento de gas natural. Este proceso permite mejorar la calidad de los fluidos ya sean líquidos o gaseosos y puede realizarse por tres métodos diferentes: Coalescencia, gravedad e impulso por fuerza

centrífuga. Dentro de este grupo de equipos separadores, los más utilizados en la industria del gas son los filtros coalescentes, slug catcher, separadores bifásicos y trifásicos, scrubber, entre otros. A pesar de tener el mismo principio de funcionamiento, todos estos equipos se diferencian en su aplicabilidad variando en su geometría, tamaño, componentes internos y externos. Teniendo esto en cuenta, los métodos matemáticos para su dimensionamiento son muy similares generando cambios en parámetros obtenidos por la experiencia en campo y métodos científicos. (Bothamley, 2013, Part 1).

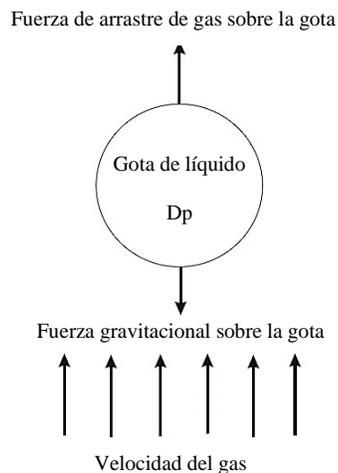
Esta monografía se enfocará específicamente en el scrubber, ya que son los equipos instalados en la estación de regulación que van a garantizar la extracción de agua proveniente en la corriente de gas que será utilizado como combustible para la generación de energía.

## **2.2 Principios de separación**

La separación de agua de las corrientes de gas se puede dar de tres formas: Gravedad, centrífuga y coalescencia. Cada una de estas es seleccionada dependiendo del equipo que será diseñado y las condiciones de salida del gas requeridas en cada proceso (GPSA, 2004) (Campbell, 2015).

### ***2.2.1 Separación por Gravedad***

Es el principio de funcionamiento utilizado en los scrubber de gas. En este tipo de separación, la fuerza de la gravedad es mayor que la fuerza de arrastre en la corriente. El tiempo de retención del gas dentro del scrubber, la velocidad del gas y el tamaño de la gota a separar son variables importantes al momento de realizar el diseño de un separador. En la figura 1 se representan las fuerzas que actúan sobre la gota de líquido, donde la fuerza de gravedad debe ser mayor a la fuerza de arrastre para permitir la separación de las fases por gravedad. (GPSA, 2004) (Campbell, 2015) (Bothamley, 2013, Part 2).

**Figura 1***Principio de separación por gravedad*

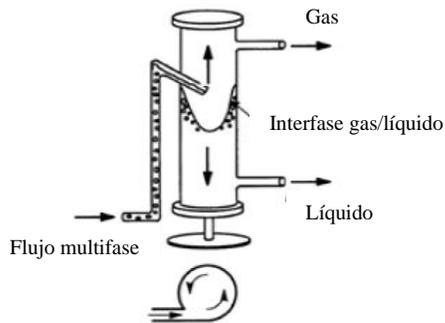
Nota: Adaptado de GPSA, (2004). *Engineering Data Book* p. 7-2

### 2.2.2 Fuerza Centrífuga

Este es el principio de funcionamiento de los separadores ciclónicos, los cuales son utilizados para extraer líquidos y sólidos de una corriente de gas aprovechando la diferencia de densidades. Su principal ventaja es su capacidad de retención de pequeñas gotas de agua en grandes cantidades de gas, lo que permite crear diseños con un menor diámetro a los convencionales. En la figura 2 se evidencia la entrada tangencial de la corriente de gas/líquido al separador para aprovechar la fuerza centrífuga y de esta forma realizar la separación de las fases, donde la corriente gaseosa sale por la parte superior y el líquido por la parte inferior. (GPSA, 2004) (Bothamley, 2013, Part 2) (Bothamley, 2013, Part 3).

**Figura 2**

*Principio de separación por fuerza centrífuga*



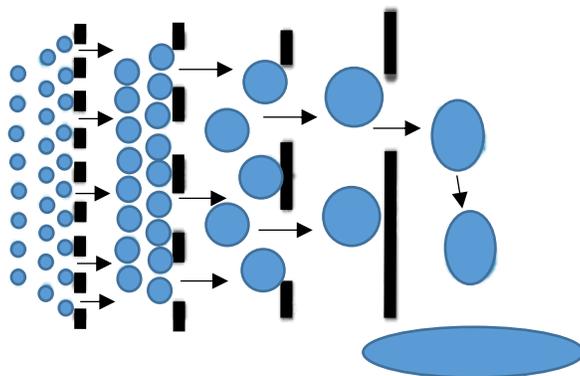
Nota: Adaptado de GPSA, (2004). *Engineering Data Book* p. 7-2

### 2.2.3 Coalescencia

Principio utilizado principalmente en sistemas de filtración con el fin de retirar pequeñas cantidades de líquido de una corriente de gas. Como se ve en la figura 3, el principio se basa en la unión de líquido en suspensión, generando la formación de gotas cada vez más grandes y por gravedad generar su separación de la corriente. (Muñoz, 2013).

**Figura 3**

*Principio de Coalescencia*



Nota. Tomada de Indisa On line. (2003) *Filtración coalescente en los fluidos gaseosos*.

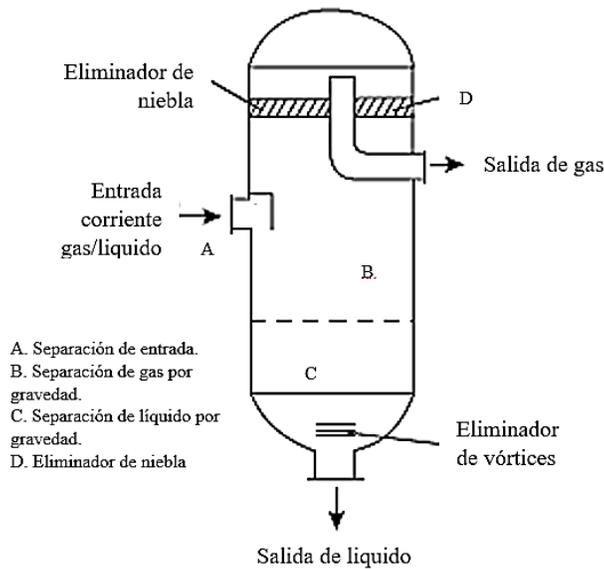
### 2.3 Etapas de separación

Los separadores verticales y horizontales cuentan con cuatro secciones en su interior. Como se puede ver en la figura 4 en cada una de ellas se genera separación de fases gas/líquido o líquido/líquido utilizando los principios nombrados anteriormente. (Morillo, 2016) (Campbell, 2015).

Separación de entrada: Sección de momento. En esta se genera un cambio de dirección o choque por medio de un deflector para distribuir la corriente de entrada dentro del separador. Separación de gas por gravedad: Sección de gravedad – gas. Esta sección no cuenta con componentes internos. Se realiza la separación por el principio de gravedad de la corriente gas/líquido. Separación de líquido por gravedad: Sección de gravedad – líquido. Zona donde se acumula los líquidos extraídos y se separan los gases inmersos en el líquido. Extracción de niebla: Coalescencia. Zona donde se realiza la separación por medio de un componente mecánico, normalmente siendo un eliminador de niebla.

**Figura 4**

*Etapas de separación en separadores bifásicos*



Nota: Adaptado de *GPSA, (2004). Engineering Data Book p. 7-5*

## 2.4 Componentes internos

La selección y disposición de los componentes internos en los separadores son de suma importancia para mejorar su desempeño. Estos tienen como función principal realizar la separación de gotas líquidas de la corriente de gas por medio de los principios de momento y coalescencia. Su correcta selección permite obtener diseños optimizados que aseguren la calidad del gas a la salida del separador y disminuyan los costos de fabricación. Para realizar su selección es importante tener en cuenta las condiciones de operación, la cantidad de agua proveniente en la corriente de gas, el patrón de flujo, entre otros aspectos. (Yang, 2017) (Read, 2016). A continuación, se presenta brevemente la función de cada uno de los componentes:

**2.4.1 Deflector**

Estos permiten la separación primaria dentro del recipiente mejorando la distribución de la corriente líquida y gaseosa y mejora la recuperación de líquidos libres. La implementación de nuevas tecnologías como el CFD (Computational Fluid Dynamics) en el diseño de los equipos, permitió identificar la importancia del uso de los deflectores en los separadores. Existen varios tipos de deflectores como son: Deflector de plato, ciclónico, aletado y de media luna (Chin, 2015, Part 2). Su selección depende de su desempeño frente a las condiciones de entrada del gas donde se tiene en cuenta el momento, distribución del gas, caída de presión, separación de agua libre, entre otros (Read, 2016).

Cada tipo de deflector cuenta con un desempeño diferente frente al momento a la entrada del scrubber como se muestra en la tabla 1, siendo este uno de los principales factores para su selección (Bothamley, 2013, Part 3).

**Tabla 1**

*Momento máximo según el tipo de deflector*

Tipo de deflector	$\rho V^2$ , lb/ft-seg <sup>2</sup>
Sin deflector	700
Plato	950
Media luna	1400
Aletado	5400
Ciclónico	10000

Adaptado de Bothamley, M. Campbell J. Gas/liquid separators. Quantifying separation performance. Agosto, 2013.

Teniendo como referencia la tabla anterior, comúnmente en la industria se selecciona deflectores aletados o ciclónicos para separadores de alta capacidad que protegen equipos críticos y para separadores instalados en proceso de baja criticidad se seleccionan deflectores de media luna ya que son más económicos y ofrecen un desempeño promedio (Bothamley, 2013, Part 1).

Como se evidencia en la tabla 2, los deflectores de entrada cuentan con diferentes desempeños según su tipo y su función.

**Tabla 2**

*Desempeño de deflectores según su tipo*

Función	Ciclónico	Aletado	Media luna	Plato
Reducción del momento	Bueno	Bueno	Bueno	Promedio
Distribución de corriente de gas	Promedio	Bueno	Malo	Malo
Caída de presión	Promedio	Bueno	Bueno	Bueno
Separación de líquido libre	Bueno	Bueno	Promedio	Malo
Minimización de corte de gota	Bueno	Bueno	Promedio	Malo

Adaptado de Bothamley, M. Campbell J. Gas/liquid separators. Quantifying separation performance. Agosto, 2013.

**2.4.2 Eliminador de niebla**

Son utilizados para retener gotas muy pequeñas de agua arrastradas por una corriente de gas, siendo el componente con mayor impacto dentro de un separador. Su principio de funcionamiento se basa en cuatro pasos. Se inicia generando un choque o cambio en la dirección del fluido produciendo el contacto entre las gotas de agua que posteriormente se unen por coalescencia y se separan de la corriente de gas por gravedad, cayendo dentro del recipiente en la sección de almacenamiento de líquido mientras la corriente gaseosa continúa su flujo aguas abajo. Existen tres tipos de eliminadores de niebla: Wire mesh (malla de alambre), Vane pack (paletas) y ciclónicos, siendo seleccionados dependiendo de la aplicación para la cual sea fabricado el separador, la orientación del recipiente, cantidad de líquido a retirar y el tamaño de gota en la corriente de salida. Su diseño, espesor, ubicación y el patrón de flujo dentro del recipiente aumentarán su eficiencia para recuperar líquidos y ayudará a disminuir las dimensiones del recipiente ya que se requerirá una sección de separación por gravedad con menores dimensiones. Aun así, algunos separadores no cuentan con un eliminador de niebla como es el caso de los Flare

knock Out Drums o slug catcher según sea su funcionalidad ya que pueden generar problemas operacionales (GPSA, 2004) (Bothamley, 2013, Part 1).

**2.4.2.1 Wire mesh.** Este eliminador de niebla es fabricado con malla metálica o plástica, la cual es prensada dentro de una almohada hasta lograr el espesor requerido. El espesor y la densidad de la malla dependerá del tamaño de gota a separar los cuales comúnmente son 6” y 3-10 micrones respectivamente, con una eficiencia de retención entre 99% y 99.5%. Estos eliminadores son instalados frecuentemente en separadores verticales (The engineered mist eliminator. (2004). Mist eliminator, ACS Separations & mass-transer products. [Http://www.amacs.com](http://www.amacs.com)) (Mist elimination liquid – liquid coalescing. (2015). Koch-Glitsch. [Http://www.koch-glitsch.com](http://www.koch-glitsch.com)) (Mesh & vane mist eliminator. MF Filters. [Http://www.filters.it](http://www.filters.it)).

Al momento de seleccionar, diseñar y dimensionar los eliminadores de niebla, se deben tener en cuenta las especificaciones técnicas de los fabricantes que se encuentran disponibles en el mercado, como se muestra en la tabla 3 (Bothamley, 2013, Part 1) (Campbell, 2015) (Chandranegara, 2016).

**Tabla 3**

*Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla de malla*

Descripción	Densidad , lb/ft <sup>3</sup>	Diámetro de alambre, in	Área específica de superficie, ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>	Factor K, ft/seg	Carga de líquido, gal/min/ft <sup>2</sup>
Estándar	9	0,011	85	0,35	0,75
Alta capacidad	5	0,011	45	0,4	1,5

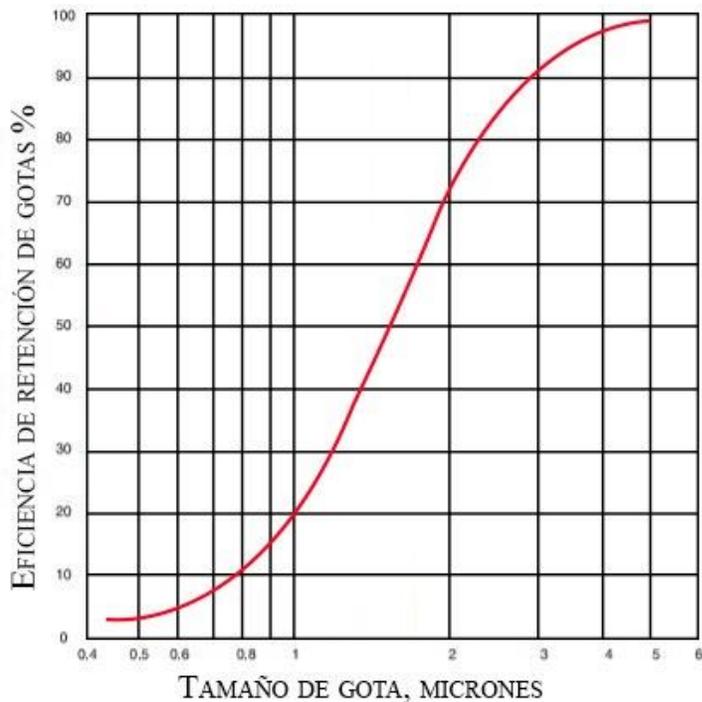
Malla tejida	12	0,011 x 0,0008	83/1100	0,25	0,5
--------------	----	-------------------	---------	------	-----

Nota: 1). Dirección de flujo vertical. 2). Asuma los valores del factor Ks con la afectación por presión. 3). Si las cargas de líquido exceden las dadas en la tabla 1 suponga que la capacidad disminuye 10% - 4). Parámetros aproximados. Adaptada de Bothamley, Mark. (2013). Gas liquids separators Parte 2. Quantifying separation performance.

Como se muestra en la figura 5, la eficiencia del eliminador de niebla de malla varía según el tamaño de gota a retener. Este factor ayuda a verificar que la selección del eliminador de niebla sea la indicada según los requerimientos aguas abajo del proceso.

**Figura 5**

*Eficiencia de eliminador de niebla de malla*



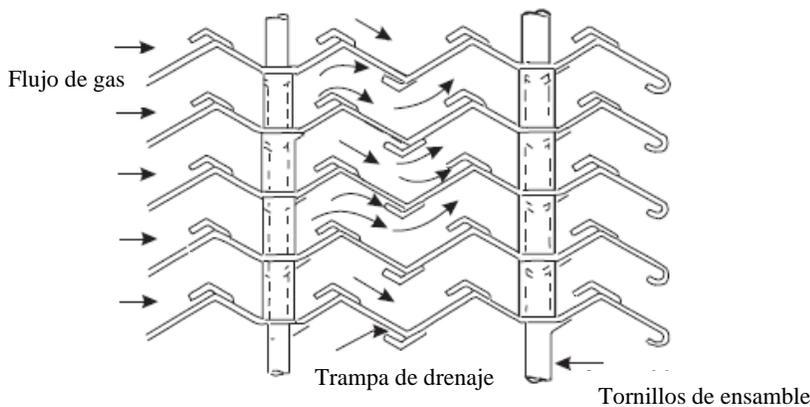
Adaptada de *The engineered mist eliminator*. (2004) ACS separation and mass transfer products.

**2.4.2.2 Vane pack.** Estos eliminadores de paleta son diseñados en forma de zig-zag para generar un cambio de dirección en el flujo de gas aprovechando la inercia de la corriente chocando con la lámina, seguido por coalescencia y drenaje a la sección de líquidos como se evidencia en la

figura 6. Estos eliminadores de niebla son instalados principalmente en separadores horizontales ya que su sistema de drenaje disminuye la capacidad de manejo de gas cuando son instalados en separadores verticales. A pesar de esto, nuevos diseños con paletas huecas permiten obtener una mayor eficiencia en flujos verticales.

**Figura 6**

*Eliminador de niebla vane pack o aletado*



*Adaptado de GPSA, (2004). Engineering Data Book p. 7-5*

Los eliminadores de niebla de paletas también cuentan con especificaciones técnicas estandarizadas para su fabricación según las condiciones de operación del separador (Bothamley, 2013, Part 1).

**Tabla 4**

*Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla de aleta*

Descripción	Dirección de flujo	Numero de dobleces	Angulo de aletas	Factor Ks, ft/seg	Carga de líquido, gal/min/ft <sup>2</sup>
Sencillo	Vertical	5-8	30-60	0,5	2
	Horizontal	5-8	30-60	0,65	2

Aletado de alta capacidad	Vertical	5-8	30-60	0,82-1,15	5
	Horizontal	5-8	30-60	0,82-1,15	5

Nota: 1). Angulo 45° es el más común. 2). Asuma los valores del factor Ks con la afectación por presión. 3). Si las cargas de líquido exceden las dadas en la tabla 4 suponga que la capacidad disminuye 10%- 4). Parámetros aproximados. Adaptada de Bothamley, Mark. (2013). Gas liquids separators Parte 2. Quantifying separation performance.

**2.4.2.3 Eliminadores de niebla ciclónicos.** Este tipo de eliminadores de niebla utiliza la fuerza centrífuga como principio de separación, la cual es creada por la geometría interna tipo remolino. Esto permite que se puedan manejar corrientes de gas con alto coeficiente de arrastre. Su eficiencia de separación de gotas de diámetros pequeños es mayor los eliminadores de malla o aleta por lo que son seleccionados en separadores de alta eficiencia. Su desempeño no es afectado por ser instalados en separadores verticales u horizontales (Bothamley, 2013, Part 1).

**Tabla 5**

*Parámetros de diseño y construcción para eliminadores de niebla ciclónicos*

Diámetro nominal del ciclón, pulgada	Longitud, pulgada	Angulo de entrada al remolino, grados	Factor Ks, ft/seg	Carga de líquido, gal/min/ft2
2.0	10	45	0,8 – 1	10+

Nota: 1). Asuma los valores del factor Ks con la afectación por presión. 2). Si las cargas de líquido exceden las dadas en la tabla 5 suponga que la capacidad disminuye 10%. 3). Parámetros aproximados. Adaptada de Bothamley, Mark. (2013) Gas liquids separators Parte 2. Quantifying separation performance.

**2.4.3 Eliminador de vórtices.**

Dispositivo utilizado para eliminar la formación de vórtices dentro del separador en las salidas de líquidos, para evitar el escape de gas dentro de las líneas de flujo.

## **2.5 Dimensionamiento**

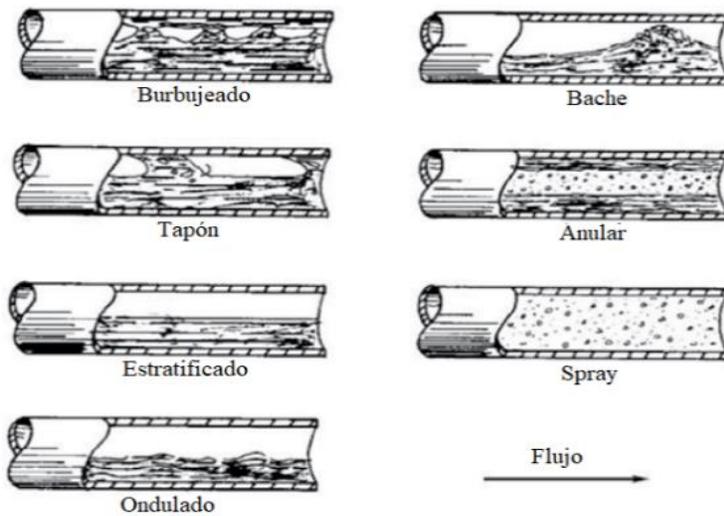
Para realizar el diseño de los separadores es importante conocer las condiciones de operación presión, temperatura, caudal y las propiedades del fluido y las condiciones variables que puedan llegar a ocurrir como la presencia de baches de flujo y de esta forma lograr un diseño que cumpla con los requerimientos de funcionamiento exigidos en las peores condiciones. En el diseño también se deben considerar dos factores: Capacidad en el manejo de gas y capacidad en el manejo de líquido.

### **2.5.1 Patrón de flujo**

Para realizar el diseño de los separadores es importante conocer el patrón de flujo de corriente gas/líquido, la cantidad de líquido y el tamaño de gota. Esto permite realizar la selección de los componentes internos de forma adecuada para aumentar la eficiencia de separación en cada una de las etapas vistas previamente. Para obtener un flujo uniforme en la entrada de los separadores se recomienda que la tubería de cuente con una sección recta sin accesorios como reducciones o válvulas de mínimo diez veces el diámetro de la tubería. En caso de ser necesario la instalación de válvulas deben ser válvulas de compuerta o bola completamente abiertas. Con esto se evitan turbulencias, se mejora la eficiencia de separación en el deflector de entrada, se obtienen gotas de mayor tamaño que facilitan la separación y se evita el arrastre de líquido en la corriente de gas.

**Figura 7**

*Patrones horizontales de dos fases*

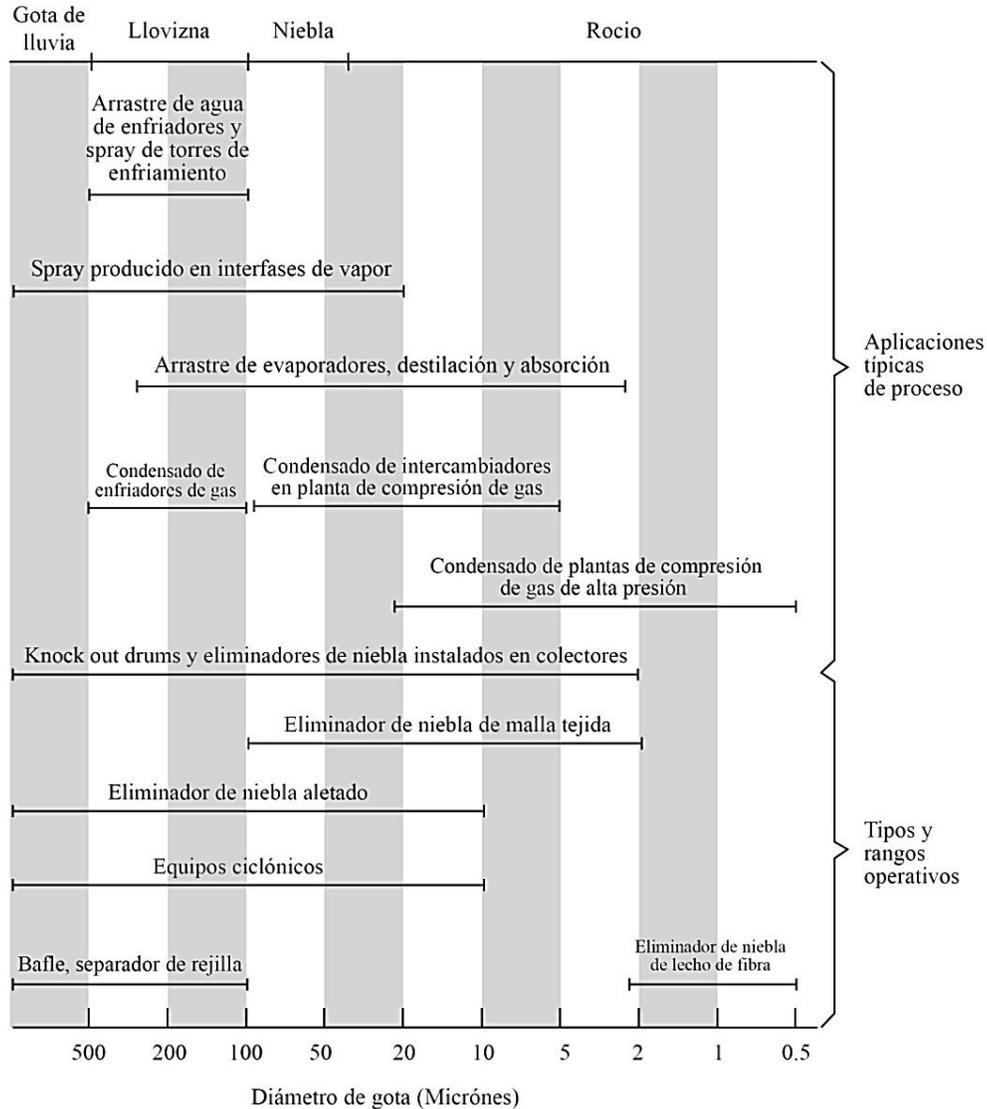


Adaptada de Bothamley, Mark. (2013). *Quantifying separation performance in Gas/liquid separator* p. 22

Como se referencia en GPSA, 2004, el tamaño de gota estándar a separar en los scrubber es de 150 a 200  $\mu\text{m}$ . En la figura 8 podemos observar las aplicaciones comunes donde se evidencian los diferentes tamaños de gota, se referencia el tipo de gota y los equipos y sus capacidades de operación.

**Figura 8**

*Aplicaciones en proceso - Rango de operación de equipos*



Nota: Adaptada de *Gas/Liquid Separation Technology*, (2018). Sulzer

**2.5.2 Capacidad de gas.**

Calcular la capacidad de manejo de gas de un separador permite determinar el área transversal del recipiente necesaria para realizar la separación gravitacional de la corriente líquido/gas, la cual es igual al diámetro en el caso de los separadores verticales. Dicho dimensionamiento se calcula por medio de la ecuación de Souders & Brown, el cual está directamente relacionado con el factor

K, expresado en las tablas de diseño de los eliminadores de niebla, por lo que se puede determinar que la correcta selección del eliminador de niebla determina el dimensionamiento del separador. También es importante tener en cuenta que el factor K puede variar según la presión y la altura del recipiente como se puede observar en la tabla 6 y tabla 7, lo que permite entender que se debe contar con una distancia mínima requerida para establecer un perfil de velocidad uniforme antes de alcanzar el eliminador de niebla (GPSA, 2004) (Campbell, 2015).

**Tabla 6**

*Valores típicos Factor K*

Altura, pies	K, ft/seg
5	0,12 - 0,24
10 o mayor	0,18 - 0,35

Nota: Asuma el uso de eliminador de niebla de malla. Adaptado de GPSA. (2004). Engineering Data Book, 12 edith.

**Tabla 7**

*Ajuste del factor K por presión*

Presión, psi	Factor Ks, Porcentaje de valor de diseño
Atmosférico	100
73	94
145	90
290	85
580	80
1160	75

Adaptado de Campbell, J. (2015). Production & processing facilities tip of the month.

El factor K practico se encuentra definido según el tipo de eliminador de niebla y su orientación, como se puede observar en la tabla 8 (Mesh & Vane mist eliminator. MF filters.

[Http://www.filters.it](http://www.filters.it)).

**Tabla 8**

*Factor K según tipo de eliminador de niebla*

Tipo de eliminador de niebla	Factor K
Wire mesh. Flujo vertical	0,35
Wire mesh. Flujo horizontal	0,42
Aletado. Flujo vertical	0,5
Aletado. Flujo horizontal	0,65
Aletado doble. Flujo vertical y horizontal	1

Adaptado de Mesh and Vane mist eliminator. MF Filters.

En ocasiones donde no se cuente con datos prácticos confiables para asumir el valor del factor K este puede ser calculado forma teórica, lo que permitirá obtener un dimensionamiento más preciso y cercano a lo requerido por medio de la fórmula de Souders & Brown. Este se calcula con la ecuación:

$$K = \sqrt{\frac{4g * Dp}{3C'}}$$

Donde:

g: Gravedad, ft/seg<sup>2</sup>

C': Coeficiente de arrastre, adimensional

Dp: Diámetro de gota, ft

De esta fórmula se resalta la importancia del tamaño de gota (Dp), siendo este recomendado para los scrubber entre 150 y 200 micrones, el coeficiente de arrastre y la gravedad; variables importantes en el proceso de separación.

### 2.5.3 Capacidad de líquido.

La capacidad del separador para el manejo de líquido está determinada bajo dos requerimientos: Desgasificación del líquido, y la estabilidad y control del proceso de separación. Estos requerimientos dependen del tiempo de residencia de la corriente dentro del recipiente, la cual determina la distancia mínima entre la boquilla de entrada y salida, dando como resultado la altura del recipiente en el caso de los separadores verticales. El tiempo de residencia puede ser calculado a partir de parámetros ya establecidos, dependiendo del tipo de fluido, tipo de separación (gas/líquido o líquido/líquido), tipo de separador, entre otros, el cual para los scrubbers de gas natural está entre 2 a 4 minutos (GPSA, 2004).

El manejo de líquido también está determinado por unas alturas mínimas las cuales se deben tener en cuenta al momento de diseñar los separadores (Bothamley, 2013, Part 2), las cuales son calculadas con la ecuación:

$$U = \frac{Ql * Tr}{1440}$$

Donde:

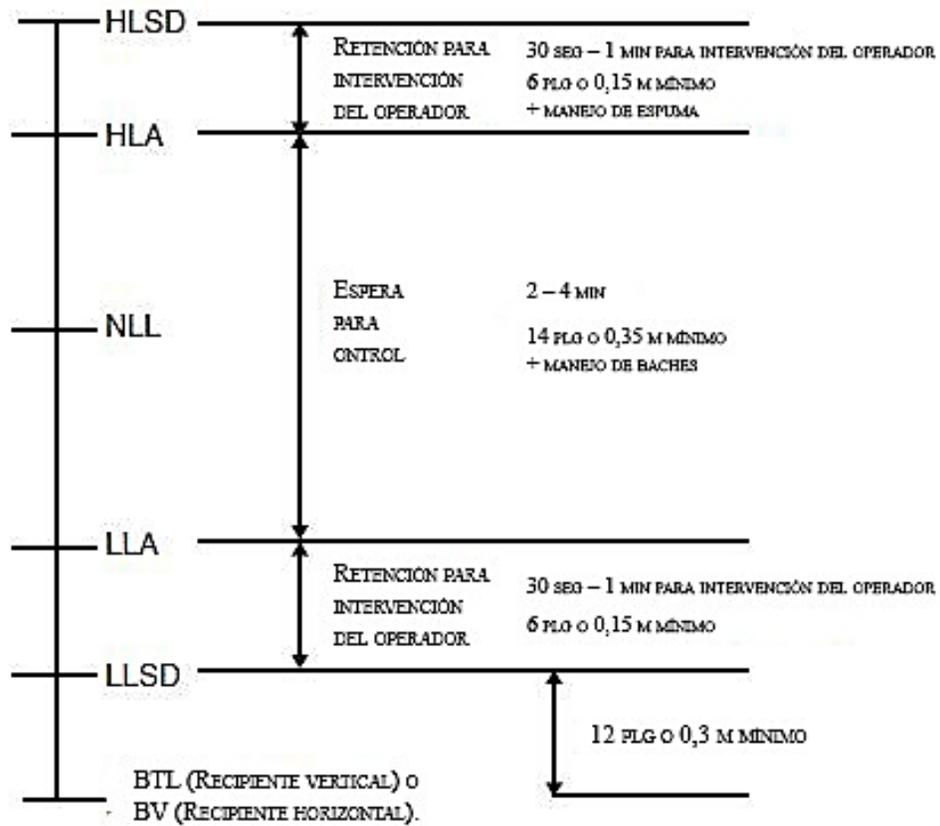
U: Volumen, ft<sup>3</sup>

Ql: Flujo de líquido, ft<sup>3</sup>/seg

Tr: Tiempo de retención, min.

**Figura 9**

*Guía para el manejo de líquido en separadores de dos fases*



*Adaptada de Bothamley, Mark. Gas liquids separators (2013) Parte 2. Quantifying separation performance p. 46*

A continuación, se presentan las principales variables que afectan el dimensionamiento de los separadores.

**Tabla 9**

*Variables que influyen en el dimensionamiento de separadores*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Capacidad de gas	La capacidad de gas determina el área transversal mínima requerida para realizar la separación gas/líquido de la corriente de entrada.
Presión y temperatura de operación	Estas condiciones de operación pueden ser muy variables en situaciones reales por lo que los separadores deben estar diseñados para soportar estos cambios. Afectan la densidad de gas. En los casos donde la presión y la temperatura aumentan se requiere de menor área transversal.
Factor K	Es la variable con mayor incidencia en el dimensionamiento de los scrubber ya que se involucran variables de operación como el número de Reynolds por medio del coeficiente de arrastre y el diámetro de gota a separar, lo que afecta directamente la velocidad terminal y por consiguiente el área transversal del recipiente. Se puede calcular de forma teórica o asumir de forma práctica. (Ver tabla 8).
Diámetro de gota (Dp)	El diámetro de gota afecta el resultado teórico del factor K. El tamaño más utilizado en scrubbers es de 150 a 200 micrones. A mayor diámetro de gota se disminuye el área de separación.
Densidad de gas y líquido	La diferencia entre la densidad de gas y líquido facilita el proceso de separación, requiriendo de menor área cuando esta aumenta. A su vez es importante tener en cuenta que la presión y temperatura de operación afectan la densidad del gas, generando cambios significativos en el dimensionamiento de los separadores.
Viscosidad del gas	Afecta el coeficiente de arrastre y la velocidad terminal de separación. Al aumentar la viscosidad del gas se requiere de mayor área transversal para realizar el proceso de separación.
Capacidad de líquido	Define el volumen de líquido almacenado dentro del separador. Esta está determinada por un tiempo de retención entre 2 y 4 minutos para la separación de condensado, lo que permite la desgasificación, estabilización y manejo operativo en campo.
Componentes internos	La correcta selección y dimensionamiento de los componentes internos mejoran la eficiencia de separación en

---

la corriente de entrada con el deflector y en la corriente de salida con el eliminador de niebla. Su correcto funcionamiento depende del momento y la carga de líquido máxima en operación respectivamente.

---

Nota: Elaboración propia.

### **3. Metodología**

El correcto dimensionamiento y diseño de un scrubber para gas natural es fundamental para proteger y permitir el adecuado funcionamiento de equipos, accesorios y procesos aguas abajo. Por esta razón se determinará si el dimensionamiento y diseño de los scrubber de alta y baja presión a la entrada y salida de una estación de regulación y medición, la cual suministra el gas combustible a los generadores de una central eléctrica, cumple para soportar el aumento en el flujo de gas al cual serán sometidos. Su cálculo se basa en la revisión bibliográfica realizada, analizando su capacidad en manejo de gas y líquido, la selección de sus componentes internos y el correcto diseño de los mismos.

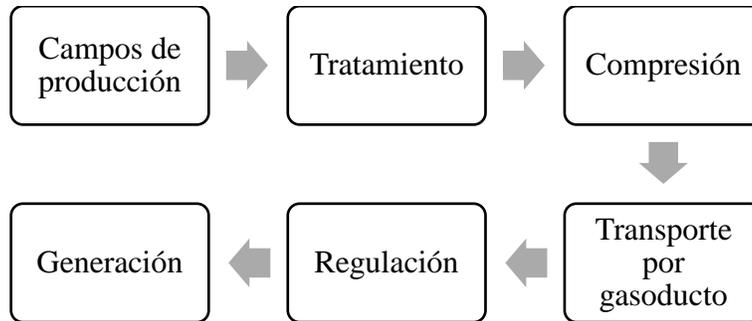
#### **3.1 Antecedentes y funcionamiento de la estación**

El proceso inicia con la extracción del gas natural. Dicha extracción es realizada en cuatro campos de producción cercanos, desde los cuales se lleva el gas a una planta de tratamiento donde se retiran contaminantes e hidrocarburos pesados. Con este proceso se obtiene gas natural en las condiciones de calidad necesarias para su uso como combustible en los diferentes procesos. Posteriormente el gas es comprimido y transportado por un gasoducto que lo distribuye en los diferentes campos y facilidades, llevando la mayoría de este gas hasta una planta de producción. Una parte de este gas se dirige a una central de generación eléctrica que cuenta con una capacidad total de 5250 kWh. Antes de ingresar a los generadores se disminuye la presión por medio de una válvula de regulación la cual cuenta con scrubber aguas arriba y otro aguas abajo para asegurar la

retención de condensados y evitar daños en los equipos. Estando allí, se asegura el suministro de gas constante a través de una flauta de distribución.

**Figura 10**

*Proceso de gas natural en campo*



Nota: Elaboración propia.

En la estación de regulación, el gas se recibe por un scrubber de alta presión que retira las trazas de líquidos provenientes del gasoducto ocasionadas por la condensación del gas. Debido a la caída de presión generada en la válvula de regulación, el gas presenta una condensación de los hidrocarburos pesados ocasionada por el efecto Joule Thompson. Por lo anterior es necesario el uso de un scrubber de baja presión que evita la presencia de líquidos en la corriente que ingresará a los generadores eléctricos.

La composición del gas y las condiciones de entrada y salida de la estación de regulación son las siguientes:

**Tabla 10**

*Condiciones actuales de entrada a la estación de regulación*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Presión máxima de entrada (psig)	500
Presión mínima de entrada (psig)	350

Temperatura de entrada (°F)	80
Caudal (MMSCFD)	1,1

Datos obtenidos en campo (Elaboración propia).

**Tabla 11**
*Cromatografía del gas*

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
	% mol
Metano	90,978
Etano	3,221
Propano	2,408
Isobutano	0,371
n-butano	1,002
Isopentano	0,272
n-pentano	0,289
C6+	0,097
N <sub>2</sub>	1,098
CO <sub>2</sub>	0,249
O <sub>2</sub>	0,015
	100,000

Datos obtenidos en campo. Elaboración propia.

**3.2 Condiciones de operación futuras**

Debido a un aumento en el requerimiento energético, se planea realizar la instalación de dos nuevos generadores eléctricos de 1750 kW cada uno, lo que aumentará el consumo de gas natural en la central eléctrica en un 70%. Para esto, es necesario comprobar que los equipos instalados actualmente aguas arriba cumplan con las nuevas condiciones de operación, enfocando en esta ocasión en los scrubber de alta y baja presión. Las demás condiciones de operación, nombradas anteriormente en la tabla 9, se mantendrán estables.

Actualmente la central de generación eléctrica debe asegurar un suministro de 3900 kWh, por lo que se mantienen en funcionamiento tres generadores de 1750 kW operando al 75% de carga, capacidad sugerida por el fabricante para el buen desempeño de los equipos. Dentro del plan de generación proyectado se requiere un aumento de 2500 kWh por lo que se plantea la instalación de dos generadores nuevos con las siguientes especificaciones.

**Tabla 12**

*Especificaciones del generador eléctrico*

Generador eléctrico	Cummins QSV91G
Capacidad de generación @ 100% (KW)	1750
Capacidad de generación @ 75% (KW)	1312
Consumo de combustible @ 100% (MSCFD)	377
Consumo de combustible @ 75% (MSCFD)	289,5
Índice de metano	77
Presión de suministro de combustible (psig)	3

Datos obtenidos de ficha técnica del generador. Elaboración propia

Con la instalación de los dos nuevos generadores eléctricos operando con una carga del 75% se asegura un suministro 2624 kWh adicionales que conlleva a un aumento en el consumo combustible de 580 MSCFD. Con esto la central eléctrica generará 6500 kWh y tendrá un consumo promedio de gas natural de 1.45 MMSCFD. Aun así, los scrubber de alta y baja presión deben estar en la capacidad de manejar el caudal máximo de gas que es de 1,89 MMSCFD, teniendo en cuenta que pueden presentarse picos de generación y la estación debe estar en la capacidad de solventarlos sin presentar fallas en sus equipos.

### **3.3 Análisis de los scrubber actuales**

Como se describe en la revisión bibliográfica, el diseño de los componentes internos puede afectar positiva o negativamente el desempeño del separador. En los scrubber de alta y baja presión

se cuenta con un deflector de placa en la conexión de entrada y un demister tipo Wire Mesh de 6” de espesor a la salida. Las dimensiones generales del scrubber, la distancia entre las boquillas de entrada y salida y las alturas para el manejo de gas y líquido se presentan a continuación.

Las especificaciones de diseño de los scrubber de alta y baja presión son tomadas de las placas de fabricación instaladas en cada uno de ellos.

**Tabla 13**

*Condiciones de operación y dimensiones de scrubber de alta presión*

Condiciones de operación	
Presión de diseño (psi)	770
Temperatura de diseño (°F)	150
Caudal máximo (MMSCFD)	1,5
Diámetro nominal (ft)	12
Altura (ft)	8
Diámetro de entrada y salida (in)	2
Distancia entre entrada - salida (ft)	3,75

Datos tomados en campo. Elaboración propia.

**Tabla 14**

*Condiciones de operación y dimensiones scrubber baja presión*

Condiciones de operación	
Presión de diseño (psi)	90
Temperatura de diseño (°F)	150
Caudal máximo (MMSCFD)	1
Diámetro nominal (in)	14
Altura (ft)	8

Diámetro de entrada y salida (in)	2
Distancia entre entrada - salida (ft)	4,5

Datos tomados en campo. Elaboración propia.

Ambos equipos cuentan con un sistema de apertura bridado en la parte superior que permite realizar su inspección y mantenimiento, por lo que sus componentes internos se encuentran en buen estado. Aun así, según la información plasmada en las placas de los recipientes y contextualizada en las tablas 12 y 13, cuentan con una capacidad de diseño de 1,5 y 1 MMSCFD respectivamente, lo que significa que su diseño se encuentra limitado y posiblemente el aumento del caudal de gas ocasione el paso de líquido a los generadores eléctricos.

### 3.4 Diseño de scrubber de alta y baja presión

Para asegurar que el diseño y dimensionamiento de los scrubber de alta y baja presión cumple para operar de forma eficiente, se realizará el cálculo matemático teniendo en cuenta las condiciones de operación actuales y serán comparadas con los datos obtenido en campo. Posteriormente se tendrán en cuenta el aumento en el caudal de operación y posibles variaciones en la presión de entrada. Los parámetros necesarios para el dimensionamiento de los scrubber se presentan en la tabla 14.

**Tabla 15**

*Condiciones de operación y diseño de los scrubber*

Parámetro	Scrubber alta presión	Scrubber baja presión
Fluido	Gas natural	
Flujo de gas (MMSCFD)	1,1	
GPM	1,34	
Peso molecular del gas	17,91	
Presión de operación (psia)	500	60
Temperatura de operación (°F)	80	50
Tiempo de residencia (min)	3	

Diámetro de gota (micrones)		150	
Coefficiente de arrastre	1,4		3,06
Gravedad		32,2 ft/seg <sup>2</sup>	
Densidad de líquido		62,4 lb/ft <sup>3</sup>	
Densidad de gas	1,755 lb/ft <sup>3</sup>		0,251
Viscosidad (cp)	0,013		0,013
Factor K (cálculo teórico)		0,125	
Diámetro de entrada y salida (plg)		2	

Datos obtenidos en campo y calculados. Elaboración propia

Para el dimensionamiento debemos calcular el diámetro del recipiente y su altura, basados en las fórmulas y dimensiones mínimas obtenidas en la revisión bibliográfica. Por esto, se tiene en cuenta la fórmula de Souders & Brown.

$$Vt = K \sqrt{\frac{\rho^l - \rho^g}{\rho^g}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\rho^l$ : Densidad de líquido, lb/ft<sup>3</sup>

$\rho^g$ : Densidad de gas, lb/ft<sup>3</sup>

K: Factor de velocidad, ft/seg

El factor K puede ser asumido según las recomendaciones calculadas según el tipo de separador y eliminador de niebla utilizado, como se evidencia en la tabla 8. Por ser un valor asumido sin tener las consideraciones de operación en campo, este cálculo no es confiable por lo que el factor K será calculado teóricamente por medio de la fórmula, para luego ser comparados.

$$K = \sqrt{\frac{4g * Dp}{3C'}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

g: Gravedad, ft/seg<sup>2</sup>

C': Coeficiente de arrastre, adimensional

Dp: Diámetro de gota, ft

El volumen real a las condiciones de operación se calcula:

Donde:

$$Qa = \left(\frac{14,7}{520}\right) \left(\frac{To}{Po}\right) scfs \quad (\text{Ecuación 3})$$

To: Temperatura de operación, °R

Po: Presión de operación, psia

El área transversal del separador se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Qa}{Vt} \quad (\text{Ecuación 4})$$

El diámetro interno mínimo del recipiente, se calcula:

$$Di = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Para la capacidad de líquido de los scrubber se debe tener en cuenta el tiempo de retención dentro del recipiente y la cantidad de líquido proveniente en la corriente de entrada. Este se calcula:

$$U = \frac{Ql * Tr}{1440} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

U: Volumen, ft<sup>3</sup>

Ql: Flujo de líquido, ft<sup>3</sup>/seg

Tr: Tiempo de retención, min.

El cálculo de la altura del nivel de líquidos que manejarán los scrubber se determina de la siguiente manera:

$$Hl = \frac{Volumen}{Area} \quad (Ecuación 6)$$

Es importante tener en cuenta las alturas sugeridas en la figura 9 para determinar la altura para manejo de líquidos dentro de los scrubber.

### 3.4.1 Cálculo componentes internos

Para mejorar la eficiencia de separación en los scrubber se debe realizar la selección de los componentes internos teniendo en cuenta las variables identificadas dentro de la revisión bibliográfica. Para esto se tendrá en cuenta las condiciones de operación ya descritas en la tabla 13 y se realizará la selección del deflector de entrada y el eliminador de niebla.

Según la tabla 1 los deflectores de entrada se seleccionan teniendo en cuenta el momento en la corriente de entrada al separador por medio de la fórmula:

$$M = \rho * v^2 \quad (Ecuación 7)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad de la fase continua, lb/ft<sup>3</sup>

$v$ : Velocidad, ft/seg

La velocidad es calculada teniendo en cuenta el flujo real a la entrada del separador y el área de la boquilla de entrada bajo la fórmula:

$$V = \frac{Qa}{A} \quad (Ecuación 8)$$

Para asegurar su funcionalidad se harán variaciones en el caudal de entrada para determinar si dentro del rango operativo este seguirá siendo eficiente para el proceso de separación.

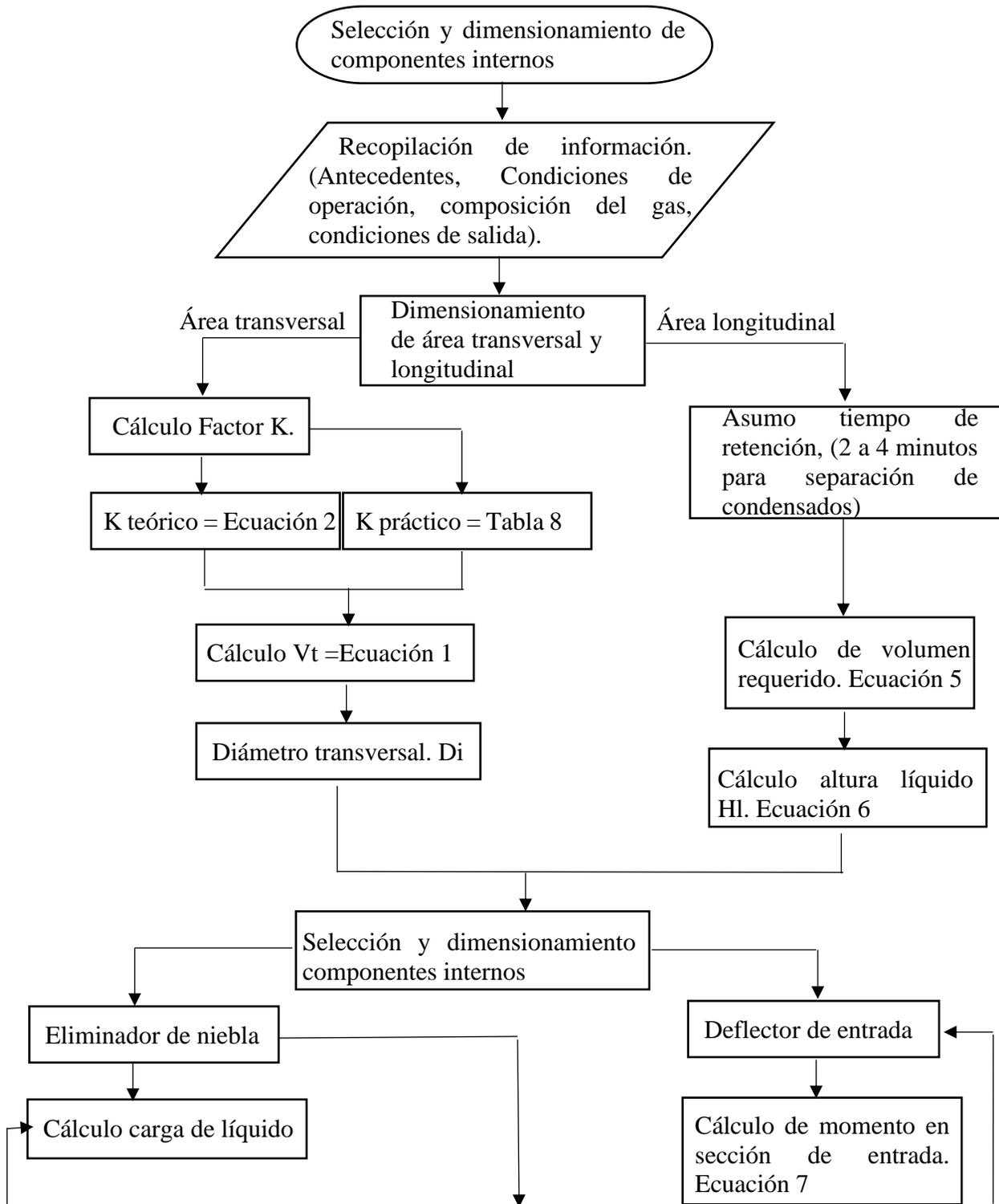
Es importante resaltar que este cálculo se toma teniendo en cuenta un flujo ideal, lo cual en muchos casos difiere de la realidad. Para conocer información más cercana a la realidad sobre el comportamiento del patrón de flujo es necesario realizar simulaciones CFD, las cuales han demostrado en los últimos años la importancia de la selección de los componentes internos adecuados para mejorar el proceso de separación [8].

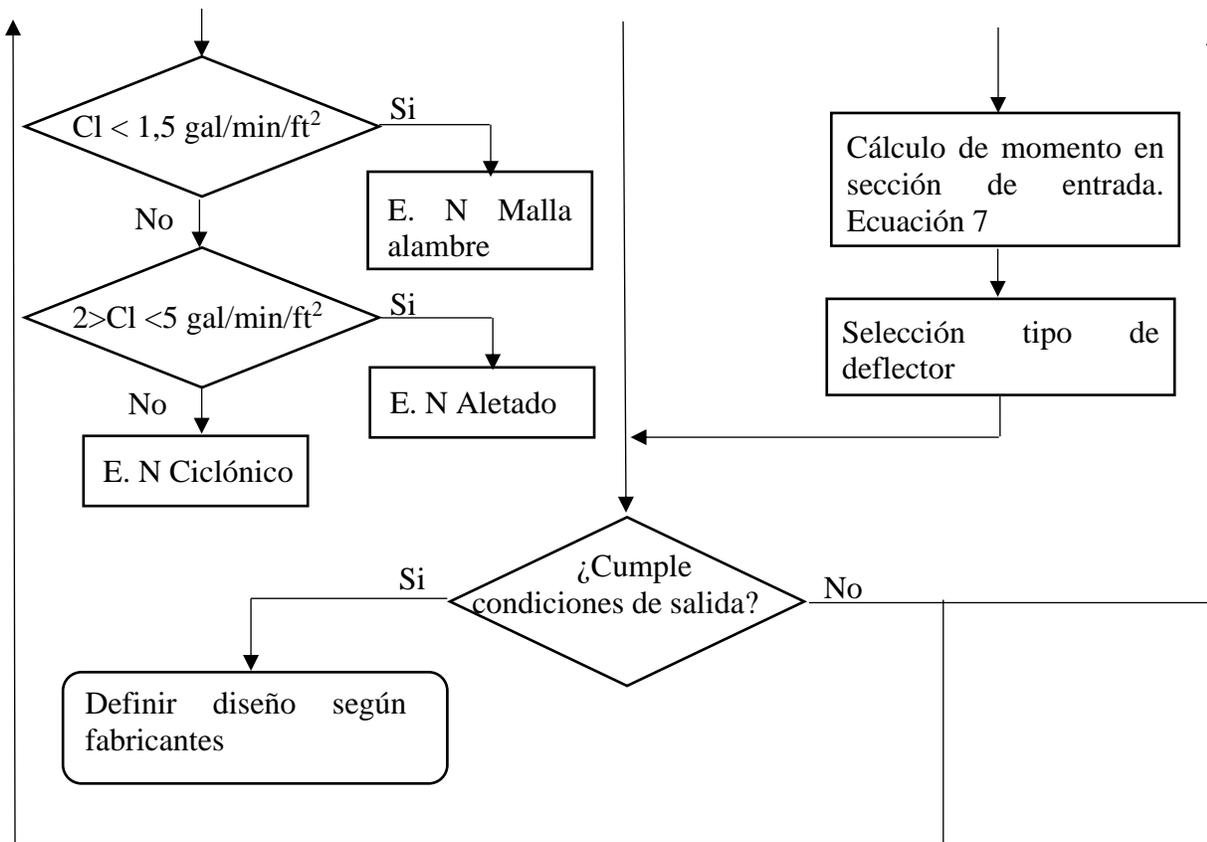
Para seleccionar, diseñar y dimensionar el eliminador de niebla se tendrán en cuenta las características de operación y algunas condiciones de campo que permitan determinar la mejor opción entre eliminadores de malla de alambre (Wire mesh), aletado o ciclónico. El dimensionamiento se hará con la fórmula de Souders & Brown que define el área transversal tanto del recipiente como del eliminador de niebla [1][2][5]. Las demás variables se tendrán en cuenta según la revisión bibliográfica realizada. A sí mismo, el diseño final se tendrá en cuenta según las especificaciones comerciales definidas por los fabricantes.

A continuación, se presenta la metodología para el dimensionamiento y selección de componentes internos de los scrubber.

Figura 11

Diagrama de flujo selección y diseño componentes internos





Nota. Elaboración propia.

#### 4. Resultados

La selección y dimensionamiento de los componentes internos y de los scrubber de alta y baja presión se realizó siguiendo el procedimiento establecido en el punto 3.4 teniendo en cuenta las condiciones operacionales presentadas en la tabla 14. Basados en el estudio bibliográfico, es necesario determinar el valor del factor K de forma teórica y práctica ya que no se conocen datos del diseño inicial y esto puede llevar a variaciones considerables en los resultados. A su vez, ayudan como punto de comparación con los resultados en campo y la simulación en Hysys. Ver apéndice A y B. El factor K practico para separadores con eliminador de niebla de malla de alambra (Wire Mesh) con flujo vertical es igual a 0,35 como se referencia en la tabla 8.

**Tabla 16**

*Resultado dimensionamiento scrubber de alta y baja presión*

Parámetro	Scrubber alta presión	Scrubber baja presión
Factor K teórico (ft/seg)	0,13	0,09
Velocidad terminal (ft/seg)	0,74	1,31
Caudal real (ft <sup>3</sup> /seg)	0,39	0,36
Área transversal (ft <sup>2</sup> )	0,53	2,46
Diámetro Scrubber (Plg)	11,39	21,43
Altura LLA -HLA	9,31	1,94

Datos obtenidos en campo y calculados. Elaboración propia

Contar con el dimensionamiento teórico de los scrubber de alta y baja presión instalados en la estación de regulación actualmente, permite contar con una referencia inicial para validar los datos obtenidos en campo.

Adicionalmente se calcula la sección transversal de los scrubber teniendo en cuenta el aumento en el caudal de gas y a su vez variando la presión de entrada entre 350 y 770 psig y el factor K, de forma teórica y práctica.

**Tabla 17**

*Cálculo sección transversal scrubber alta presión a diferentes condiciones con factor K de 0,12*

Presión (Psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
350	8,16	13,54	17,83
500	6,87	10,88	14,31
770	5,56	9,23	12,13

Datos calculados. Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Cálculo sección transversal scrubber alta presión a diferentes condiciones con factor K de 0,35*

Presión (Psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
350	4,85	8,04	10,57
500	4,08	6,77	8,92
770	3,35	5,48	7,29

Datos calculados. Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia

**Tabla 19**

*Cálculo sección transversal scrubber baja presión a diferentes condiciones con factor K de 0,08*

Presión (Psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
40	15,10	25,04	32,91
60	12,92	21,43	28,16
80	11,47	19,03	25,01

Datos calculados. Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia

**Tabla 20**

*Cálculo sección transversal scrubber baja presión a diferentes condiciones con factor K de 0,35*

Presión (Psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
40	7,35	12,18	16,01
60	6,28	10,43	13,70
80	5,58	9,26	12,17

Datos calculados. Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia.

Para selección del eliminador de niebla tenemos en cuenta que es un proceso que cuenta con dos scrubber de protección por lo que podemos definir que es un proceso seguro de baja criticidad con flujo vertical y actualmente se encuentra operando con eliminadores de niebla de malla de

alambre. Por lo que asumimos su uso bajo las nuevas condiciones de operación y confirmamos que su capacidad requerida se encuentre dentro de los parámetros establecidos en la tabla 3.

**Tabla 21**

*Carga de líquido eliminador de niebla scrubber alta presión*

Presión (psig)	Factor K	
	0,35	0,12
350	1,00	0,35
500	1,42	0,50
700	2,11	0,76

Se calcula la capacidad de líquido (gal/min/ft<sup>2</sup>) a las condiciones de presión actuales, variando la presión de operación y el factor K, con un GPM de 1,34. Elaboración propia.

**Tabla 22**

*Carga de líquido eliminador de niebla scrubber baja presión*

Presión (psig)	Factor K	
	0,35	0,08
40	0,44	0,10
60	0,60	0,14
80	0,76	0,18

Se calcula la capacidad de líquido (gal/min/ft<sup>2</sup>) a las condiciones de presión actuales, variando la presión de operación y el factor K, con un GPM de 1,34. Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos se comprueba que el dimensionamiento del eliminador de niebla de malla de alambre cumple con los requerimientos técnicos y son seleccionados para instalarse en los scrubber de alta y baja presión.

La selección del deflector se hará bajo el procedimiento descrito en el punto 3.4.1, donde se continuará asumiendo las variaciones en las condiciones de presión y caudal. Para calcular la velocidad se tendrá en cuenta el caudal real de gas y el área de la tubería de entrada, siendo esta de 3” de diámetro. Es importante tener en cuenta que el valor del caudal varía con las condiciones de presión y temperatura.

**Tabla 23**

*Momento en deflector de entrada de scrubber alta presión*

Presión (psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
350	6,18	46,76	139,51
500	14,37	108,73	324,28
770	6,18	46,76	139,00

Momento en sección de entrada (lb/ft-seg<sup>2</sup>). Elaboración propia.

**Tabla 24**

*Momento en conexión de entrada de scrubber de baja presión*

Presión (psig)	Caudal (MMSCFD)		
	0,4	1,1	1,9
40	154,37	1166,91	3481,47
60	82,73	625,71	1866,79
80	51,48	389,32	1161,54

Momento en sección de entrada (lb/ft-seg<sup>2</sup>). Elaboración propia.

Conociendo el área transversal y la capacidad de los componentes internos, se debe determinar la altura total de los scrubber, teniendo en cuenta la distancia mínima en las secciones de eliminación de niebla, separación de gas y capacidad de manejo de líquido según lo establecido en la figura 9, asumiendo un tiempo de retención de 3 minutos. Para esto se tomará el área transversal para los scrubber de alta y baja presión calculados con el factor K teórico en las tablas 16 y 18.

**Tabla 25**

*Altura manejo de líquidos en scrubber de alta y baja presión*

Distancia HLA -LLA	
Alta	9,19
Baja	1,96

Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia.

Así mismo, se calcula la altura libre entre el eliminador de niebla y la conexión de salida, con la siguiente ecuación.

$$Al = \frac{Mod - Nod}{2}$$

Donde:

Mod: Diámetro de eliminador de niebla

Nod: Diámetro externo de conexión de salida

De esta forma se obtiene la altura libre con los resultados de las tablas 16 y 18, a presión de 500 psig y variación del caudal entre 1,1 y 1,9 MMSCFD.

**Tabla 26**

*Distancia altura libre entre eliminador de niebla y conexión de salida*

	Caudal (MMSCFD)	
	1,1	1,9
Alta	3,69	5,40
Baja	8,96	12,33

Resultados en pulgadas (in). Elaboración propia.

Como la altura HLA-LLA calculada en la tabla 24 es menor a los mínimos sugeridos en la figura 9 en los scrubber de alta y baja presión, se toman estos por igual.

**Tabla 27**

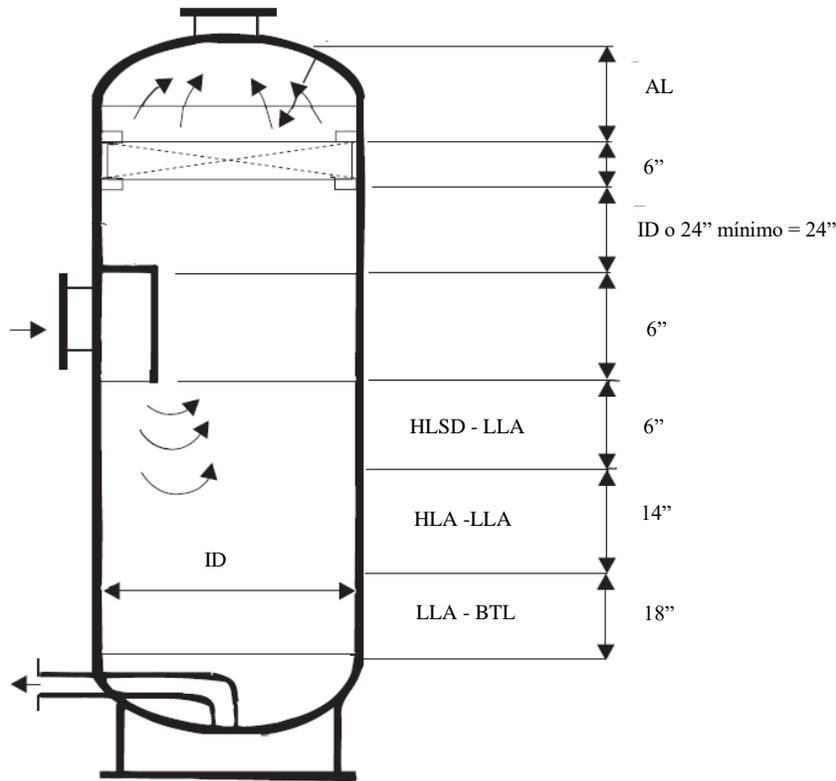
*Alturas para manejo de líquidos scrubber de alta y baja presión*

Distancia	Altura mínima sugerida (in)	Altura estimada (in)
Deflector	2 * DI entrada	6
HLSD - HLA	6 + manejo baches	6
HLA - LLA	14 + manejo baches	14
LLA - LLSLSD	6	6
LLSD - BTL	12	12

Resultados en pulgadas (in) Elaboración propia.

**Figura 12**

*Altura scrubber alta y baja presión*



*Adaptada de GPSA (2004). Engineering Book p. 7-6*

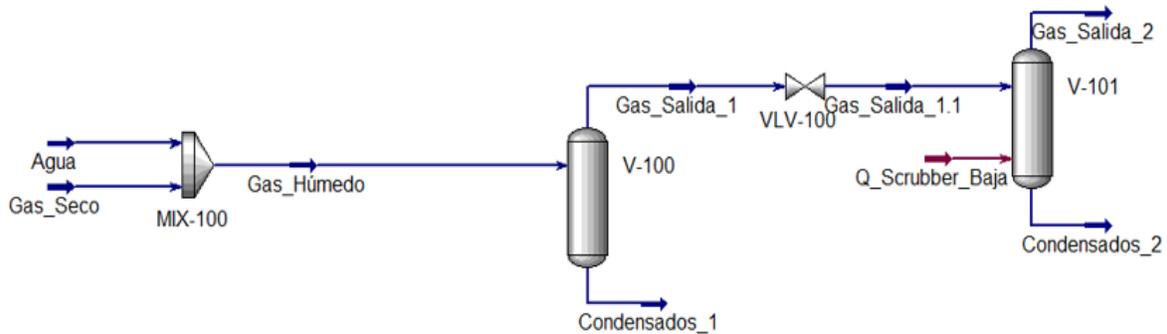
#### 4.1 Simulación.

Para validar los resultados del dimensionamiento teórico obtenidos en el punto 3 se realizó la simulación en Hysys del proceso en la estación de regulación como se ve en la figura 13. Para dicha simulación se toman los datos de la corriente entrada plasmados en las tablas 10, 11 donde se presenta la temperatura, presión, caudal de entrada y la cromatografía del gas respectivamente, de esta forma determinamos las condiciones y propiedades de la corriente de entrada. Posteriormente se definieron las dimensiones de los scrubbers con la información de las tablas 13

y 14 para de esta forma calcular la cantidad de agua en la corriente de salida del scrubber de baja presión y compararlo con los datos obtenidos en campo y de forma teórica.

**Figura 13**

*Simulación proceso de separación general*



*Elaboración propia.*

Para determinar la cantidad de agua en la corriente de gas, se hace la saturación de la corriente utilizando un mezclador y de esta forma obtener un valor real de la corriente de entrada al scrubber de alta presión. Los datos de entrada en el scrubber de baja presión se definen con las condiciones de la corriente de salida del scrubber de alta presión y la temperatura posterior a la válvula de expansión.

Al igual que en los cálculos de dimensionamiento teórico se realizó la variación de las presiones de entrada y se determinó la presión a la salida de la válvula de expansión en 60 psig, como se ve en la tabla 28. De este proceso se identificaron variaciones en la temperatura de salida, pero una constante en la cantidad de agua en la corriente de salida del scrubber de baja presión.

**Tabla 28***Cálculo cantidad agua en corriente de salida*

Presión Alta/Baja (psig)	Temperatura (°F)	Cantidad agua (GPD)
350/60	61,19	
500/60	51,32	1,897
770/60	33,44	

Nota: Elaboración propia.

### 5. Discusión

Así como se desarrolló la presente monografía se presenta el análisis de los resultados obtenidos para los scrubber de alta y baja presión operando bajo diferentes condiciones de presión y caudal teniendo en cuenta que estos ya se encuentran instalados en campo sin información de diseño previa y tendrán un aumento en el caudal de entrada, por lo que es necesario determinar el rango de operación para cada uno de ellos.

Dentro del estudio bibliográfico se referenció una diferencia entre el factor K práctico estimado en tablas de forma genérica y el factor K teórico calculado teniendo en cuenta las propiedades y condiciones operacionales de la corriente de entrada que afectan el desempeño de los scrubber. Esto se evidenció en los resultados obtenidos en las tablas 16, 17, 18 y 19, donde la diferencia del área transversal calculada de forma teórica y práctica se encuentran alrededor del 65% y 100% para los scrubber de alta y baja presión respectivamente. Esto a su vez afectó el dimensionamiento de los eliminadores de niebla de malla de alambre y su capacidad para el manejo de líquidos, siendo estos tipo estándar, diseñados bajo las especificaciones del fabricante con densidad de 9 lb/ft<sup>3</sup>, diámetro de alambre de 0,011” y espesor de 6”. Para el scrubber de alta presión el dimensionamiento con el factor K práctico se identifica una sobre carga de líquido hasta del 300%

mientras que los resultados con el factor teórico se encuentran dentro del límite máximo sugerido de 0,75 gal/min/ft<sup>2</sup>. Caso contrario en el scrubber de baja presión donde el aumento en el área transversal sobredimensionó la capacidad del eliminador de niebla cerca al 80% empleando el factor teórico.

En la selección del deflector de entrada para el scrubber de baja presión los resultados sugieren la instalación de un deflector aletado, que son empleados en procesos de alta criticidad, con alta carga de líquido y con un mayor precio de fabricación, lo que puede ser compensado con el sobredimensionamiento del área transversal y manejo de líquido del eliminador de niebla. Para el deflector del scrubber de alta presión los valores son inferiores a los sugeridos para su instalación, de igual forma este es necesario, ya que será la zona donde se reciba la corriente de gas/líquido con baches y puede afectar su desempeño.

Con los resultados obtenidos se definió el dimensionamiento empleando el factor K teórico. Donde en el caso del scrubber de baja presión se recalculó su dimensionamiento aumentando el valor del factor K ya que este se encuentra debajo de lo sugerido en la tabla 6, se evidencia el sobredimensionamiento del área transversal y el eliminador de niebla, sin dejar a un lado la deficiencia que se obtendrá en la zona de separación de entrada, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 29**

*Dimensionamiento scrubber baja presión*

Descripción	Valor	
Factor K	0,26	
Velocidad Terminal (ft/seg)	4,24	
Caudal de entrada (MMSCFD)	1,10	1,90
Flujo real de gas (scfs)	2,46	4,24
Diámetro separador (in)	12,31	16,21
HLA-LLA (in)	3,16	3,75

Carga líquido eliminador de niebla (gal/min/ft <sup>2</sup> )	0,42
---	------

Elaboración propia.

\* La variación de la presión y caudal en la corriente de entrada a la estación de regulación permitieron establecer un rango de operación máximo y mínimo para los scrubber, identificando como afecta el dimensionamiento de los separadores el cambio de las condiciones de operación y propiedades del fluido, como la presión, temperatura, densidad, el coeficiente de arrastre y el tipo de flujo de entrada. También sirvió como punto de partida para comparar los resultados teóricos con los datos obtenidos en campo donde se desconocen las condiciones iniciales que se tuvieron en cuenta para el diseño de los scrubber de alta y baja presión pero que se han desempeñado de forma óptima bajo las condiciones de operación actuales, resultado que se asemeja a lo obtenido en el caso del scrubber de alta presión a 500 psig y un caudal de 1,1 MMSCFD donde su área transversal actual es de 12” y su resultado teórico es de 10,73”.

\* Dentro del desarrollo de esta monografía no se realizan variaciones las condiciones de temperatura, viscosidad, diámetro de gota, entre otras, para el dimensionamiento de los scrubbers, no obstante, dentro del estudio bibliográfico y el dimensionamiento de los eliminadores de niebla se evidencia su importancia y como estos podrían afectar los resultados obtenidos.

## 6. Conclusiones

\* En el estudio bibliográfico realizado se evidencia como las condiciones de operación, propiedades del fluido y el tipo y diseño de los componentes internos afectan directamente el dimensionamiento y desempeño de los scrubber. Las variables de presión, temperatura, caudal, viscosidad, tamaño de gota, densidades y el factor K, así como la correcta selección y dimensionamiento de los componentes internos se encuentran inmersas dentro de los parámetros de diseño y su variación durante la operación puede afectar directamente los resultados obtenidos

tal y como se demuestra en los resultados obtenidos variando las condiciones de presión y caudal de operación.

\* Los parámetros definidos en el estudio bibliográfico, como los antecedentes, el tipo de proceso y las condiciones de salida del gas se encuentran relacionadas con la selección y dimensionamiento de los componentes internos como se presenta en la metodología realizada, donde se tienen en cuenta las condiciones en la corriente de entrada como el patrón de flujo, el momento, distribución dentro del separador, caída de presión, entre otras que afectan el proceso de separación y por consiguiente el dimensionamiento del eliminador de niebla y el scrubber, como se evidencia en la tablas 20 y 21, donde las condiciones de operación afectaron el factor K y este a su vez el área transversal requerida para los scrubber de alta y baja presión.

\* Los cálculos teóricos obtenidos se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el estudio bibliográfico para las condiciones actuales de operación con un caudal máximo de 1,1 MMSCFD y presión de entrada de 500 y 60 psig para los scrubber de alta y baja presión respectivamente. Aun así, como se preveía por los datos operacionales plasmados en sus placas de operación, el aumento a 1,9 MMSCFD obliga al aumento en la sección transversal del eliminador de niebla de 12" a 16" para el scrubber de alta presión y de 14" a 18" para el scrubber de baja presión, donde, además es necesario cambiar el deflector de entrada de plato a medio tubo, con el fin de disminuir el momento y distribuir de forma más eficiente la corriente en la sección de entrada.

\* Después de realizar la simulación del proceso a la entrada de la estación de regulación de gas su resultado confirma los datos obtenidos en campo, donde se evidencia un proceso de separación eficiente sin presencia de agua en la corriente de gas que ingresa a los generadores eléctricos. De igual forma, este resultado no se altera al variar las condiciones de operación ya que Hysys presenta un balance del proceso general y no un detallado para cada uno de los scrubber.

## 7. Recomendaciones

- \* Modificar la conexión de entrada a los scrubber de alta y baja presión permitiendo una sección recta mínima de 10 veces el diámetro de la tubería, para evitar turbulencias y mejorar la eficiencia de separación en el deflector de entrada. Como es necesario la instalación de válvulas de corte, se recomienda el uso de válvulas de bola que permanezcan totalmente abiertas durante la operación.
- \* Realizar el cambio del scrubber de alta presión para asegurar su correcto funcionamiento y evitar arrastre de agua. Las dimensiones deben ser iguales o mayores a 14" diámetro interno, 80" de altura, para soportar las nuevas condiciones de operación de 1,9 MMSCFD, presión mínima de 500 psig, temperatura 80°F. A su vez se debe cambiar el scrubber de baja presión con dimensiones iguales o mayores a 18" y altura de 86".
- \* Teniendo en cuenta que no es un proceso crítico, pero se puede generar aumentos en la cantidad de agua libre en la corriente de entrada, se recomienda la instalación de deflector de tubo, que tiene mejor desempeño del deflector de plato que se encuentra instalado actualmente. Así mismo, se sugiere el uso de eliminador de niebla wire mesh estándar de 6" de espesor.

### Referencias

- Bothamley, Mark, (2013). Quantifying separation performance in Gas/liquid separator. Oil and gas facilities. P 22 – 28.
- Bothamley, Mark. (2013). Quantifying separation performance. Gas/liquid separators Part 2. Oil and gas facilities. P 35 – 46.
- Bothamley, Mark. (2013). Quantifying separation performance. Gas/liquid separators Part 3. Oil and gas facilities. P 34 – 48.
- Campbell, Jhon, (2015). Production and processing facilities: Tip of the month: September
- Chandranega, Anang. (2016) Improving mist eliminator performance in gas – liquid separators. Department of chemical engineering, laboratory of downstream processing. Institut Teknologi Bandung. Indonesia.
- Chin R, (2015). The savvy separator series: Part 4. The ghosts of separation performance. Oil and gas facilities. P 19 – 23.
- Chin R. (2015). The savvy separator series: Part 2. The effect of inlet geometries on flow distribution. Oil and gas facilities. P 27 –31.
- Gas liquid separation technology. (2018). Feed inlet devices. <http://www.sulzer.com>
- Gas processors suppliers association, (2004)– GPSA, ENGINEERING DATA BOOK. Separation equipment. Twelfth edition – FPS. P. 7.1 – 7.13
- Mesh & vane mist eliminator. MF Filters. <http://www.filters.it>
- Mist elimination liquid – liquid coalescing. (2015). Koch-Glitsch. <Http://www.koch-glitsch.com>
- Morillo, E. Van Asperen, V. Baaren, S. (2016). The savvy separator series. Underperforming gas scrubbers. How to fix them and how to avoid them. Oil and Gas facilities. P 17 – 22.
- Muñoz, J. (2013). Filtración coalescente en los fluidos gaseosos. Boletín técnico No. 118.

Read, A. (2016) The savvy separator series: Introduction to CFD for Separator Design. Oil and gas facilities.

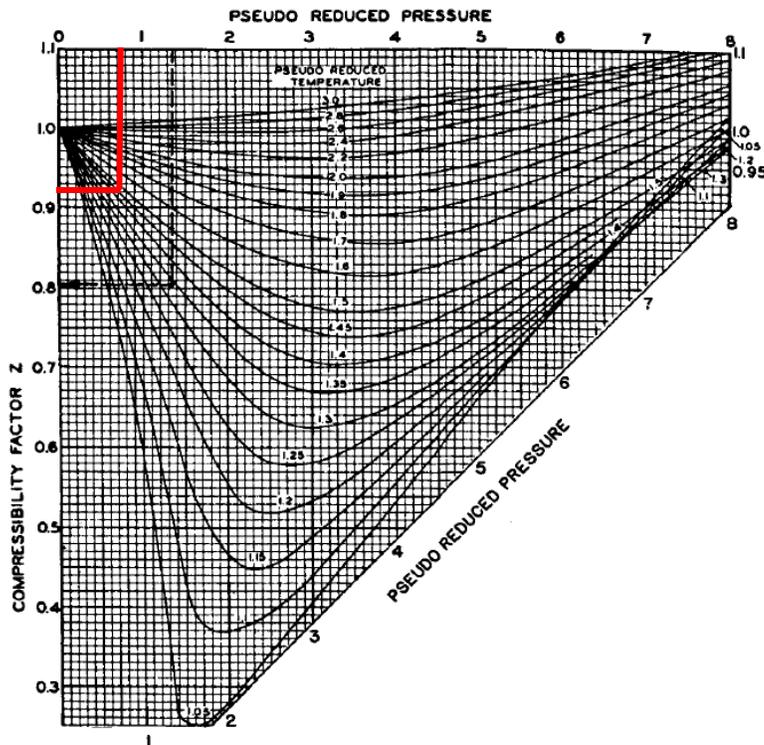
The engineered mist eliminator. (2004). Mist eliminator, ACS Separations & mass-transfer products. [Http://www.amacs.com](http://www.amacs.com)

Yang, Yan, Ang Shuli y Wen, Chuang. (2017). Gas liquid two phase flows in double inlet cyclones for natural gas separation. Cogent engineering journal. Volume 4 – Issue 1.

**Apéndice A. Dimensionamiento de scrubber de alta presión**

Condiciones de operación	Valor	Unidad
Presión de operación	514,70	psia
Presión crítica	654,20	psia
Temperatura de operación	539,70	°R
Temperatura crítica	361,70	°R
Peso molecular	17,91	
Constante universal de los gases	10,73	(psia)(ft <sup>3</sup> )(lb-mol)(°R)
Factor de compresibilidad	0,93	
Gravedad específica del líquido	1	
Diámetro de gota	150	μm
P/Pc	0,79	
T/Tc	1,49	

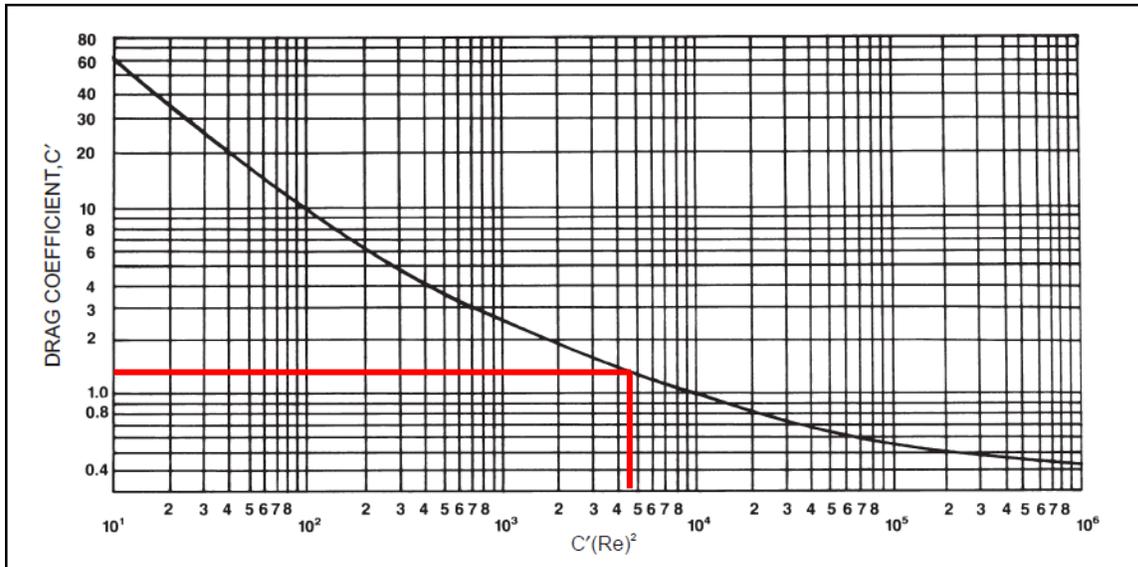
$$\rho g = \frac{P(MW)}{R * T * Z} = \frac{514,7 * 17,91}{10,73 * 539,7 * 0,93} = 1,71 \text{ Lb/ft}^3$$



$$\rho l = \rho_{H2O} * G.E = 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$C Re^2 = \frac{(0,95) * (10^8) * Dp^3 * (\rho l - \rho g)}{\mu^2}$$

$$C Re^2 = \frac{(0,95) * (10^8) * 0,000492^3 * (62,4 - 1,71)}{0,012^2} = 4772$$



$$C' = 1,4$$

$$K = \sqrt{\frac{4g * Dp}{3C'}} = \sqrt{\frac{4 * 32,2 * 0,0004912}{3 * 1,4}} = 0,125$$

$$Vt = K \sqrt{\frac{\rho l - \rho g}{\rho g}} = 0,125 * \sqrt{\frac{62,4 - 1,71}{1,71}} = 0,746$$

$$Re = \frac{1488 * Dp * Vt * \rho g}{\mu}$$

$$Re = \frac{1488 * 0,0004912 * 0,746 * 1,71}{0,012} = 77,89$$

Para un Reynolds entre 2 a 500 se calcula la velocidad terminal bajo los parámetros de la Ley intermedia.

$$Vt = \frac{3,49g^{0,71} * Dp^{1,14} * (\rho l - \rho g)^{0,71}}{\rho g^{0,29} * \mu^{0,43}}$$

$$Vt = \frac{3,49 * 32,2^{0,71} * 0,0004912^{1,14} * (62,4 - 1,71)^{0,71}}{1,71^{0,29} * 0,012^{0,43}}$$

$$Vt = 0,735$$

Se realiza un proceso iterativo con el coeficiente de arrastre  $C'$  que iguale los resultados de la fórmula de Souders & Brown y la Ley intermedia. De esta forma se comprueba que la velocidad terminal calculada es real para un diámetro de gota determinado.

Coeficiente de arrastre $C'$	Velocidad terminal ft/s
1,361	0,742
1,375	0,738
1,388	0,735

Nota: Elaboración propia.

$$Qa = \left(\frac{14,7}{520}\right) \left(\frac{To}{Po}\right) = \left(\frac{14,7}{520}\right) \left(\frac{559,67}{514,7}\right) = 0,391 \text{ scfs}$$

$$A = \frac{Qa}{Vt} = 0,532 \text{ ft}^2$$

$$Di = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 0,823 \text{ ft} = 9,881 \text{ in}$$

Para determinar la capacidad de manejo de líquido del separador se tiene define el tiempo de retención.

Condiciones de operación	Valor	Unidad
Galones por mil pies cúbicos	1,34	gal/MSCF
Caudal	1,1	MMSCFD
Cantidad de líquido	35,09	BPD
Tiempo de retención	3	min

Nota: Elaboración propia.

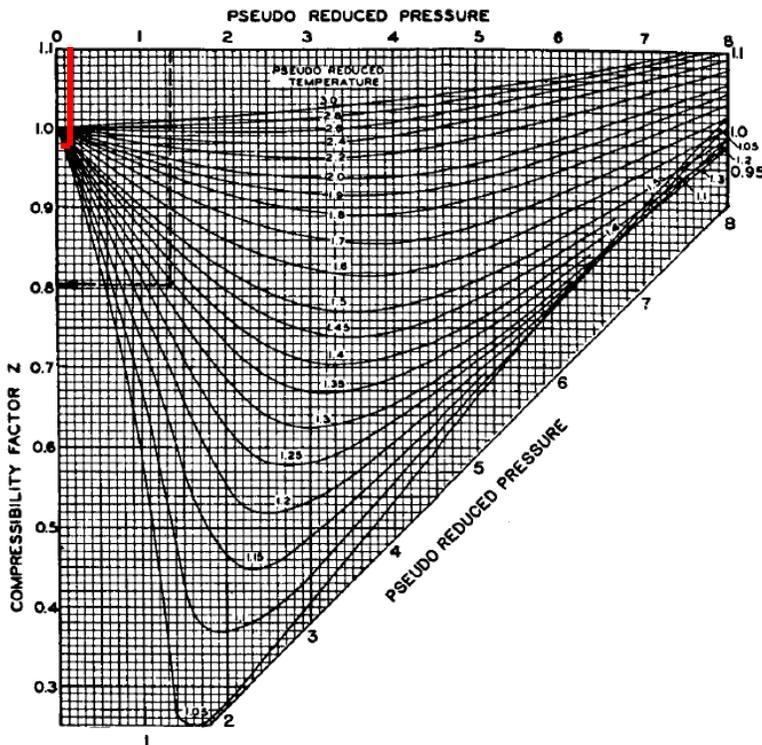
$$U = \frac{W*Tr}{1440} = \frac{35,09*3}{1440} = 0,406 \text{ ft}^3$$

$$HI = \frac{Volumen}{Area} = \frac{0,406}{0,529} = 0,766 \text{ ft}$$

**Apéndice B. Dimensionamiento de scrubber de baja presión**

Condiciones de operación	Valor	Unidad
Presión de operación	74,7	Psia
Presión crítica	654,20	Psia
Temperatura de operación	509,70	°R
Temperatura crítica	361,70	°R
Peso molecular	17,91	
Constante universal de los gases	10,73	(psia)(ft <sup>3</sup> )(lb-mol)(°R)
Factor de compresibilidad	0,99	
Gravedad específica del líquido	1	
Diámetro de gota	150	µm
P/Pc	0,11	
T/Tc	1,41	

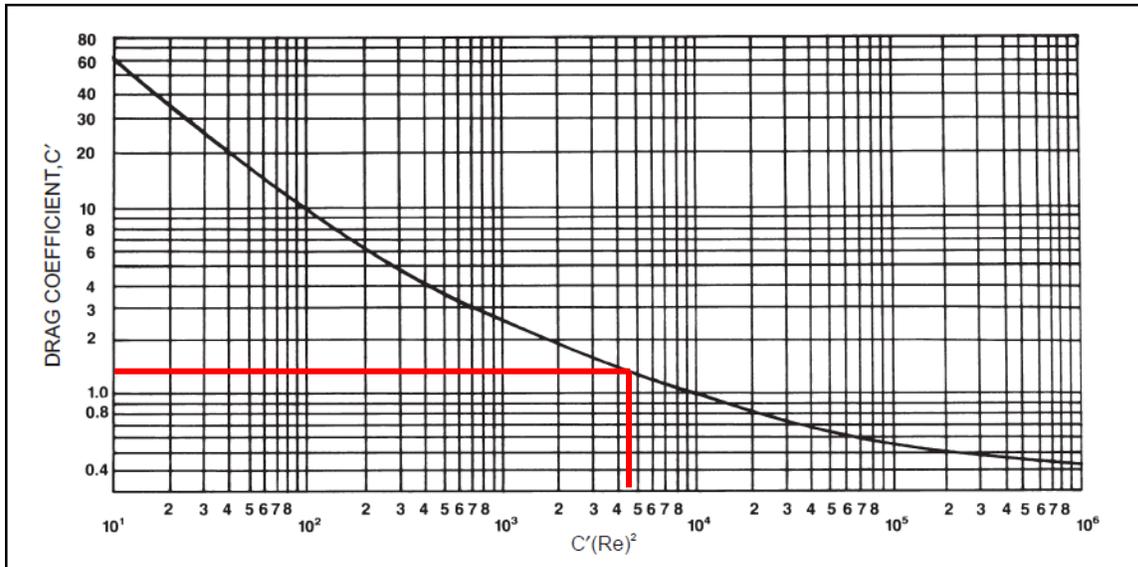
$$\rho g = \frac{P(MW)}{R * T * Z} = \frac{74,7 * 17,91}{10,73 * 509,7 * 0,99} = 0,25 \text{ Lb/ft}^3$$



$$\rho l = \rho_{H2O} * G.E = 62,4 \text{ lb/ft}^3$$

$$C Re^2 = \frac{(0,95) * (10^8) * Dp^3 * (\rho l - \rho g)}{\mu^2}$$

$$C Re^2 = \frac{(0,95) * (10^8) * 0,000492^3 * (62,4 - 0,25)}{0,012^2} = 4886$$



$$C' = 1,5$$

$$K = \sqrt{\frac{4g * Dp}{3C'}} = \sqrt{\frac{4 * 32,2 * 0,0004912}{3 * 1,5}} = 0,118$$

$$Vt = K \sqrt{\frac{\rho l - \rho g}{\rho g}} = 0,118 * \sqrt{\frac{62,4 - 0,25}{0,25}} = 1,87$$

$$Re = \frac{1488 * Dp * Vt * \rho g}{\mu}$$

$$Re = \frac{1488 * 0,0004912 * 1,87 * 0,25}{0,012} = 28,54$$

Para un Reynolds entre 2 a 500 se calcula la velocidad terminal bajo los parámetros de la Ley intermedia.

$$Vt = \frac{3,49g^{0,71} * Dp^{1,14} * (\rho l - \rho g)^{0,71}}{\rho g^{0,29} * \mu^{0,43}}$$

$$Vt = \frac{3,49 * 32,2^{0,71} * 0,0004912^{1,14} * (62,4 - 0,25)^{0,71}}{0,25^{0,29} * 0,012^{0,43}}$$

$$Vt = 1,30 \text{ ft/seg}$$

Se realiza un proceso iterativo con el coeficiente de arrastre  $C'$  que iguale los resultados de la fórmula de Souders & Brown y la Ley intermedia. De esta forma se comprueba que la velocidad terminal calculada es real para un diámetro de gota determinado.

Coeficiente de arrastre $C'$	Velocidad terminal ft/s
2,476	1,456
2,875	1,351
3,182	1,301

Nota: Elaboración propia.

$$Qa = 1,1 \text{ MMSCFD} \left(\frac{14,7}{520}\right) \left(\frac{To}{Po}\right) = \left(\frac{14,7}{520}\right) \left(\frac{509,7}{74,7}\right) = 0,356 \text{ scfs}$$

$$A = \frac{Qa}{Vt} = 0,363 \text{ ft}^2$$

$$Di = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1,789 \text{ ft} = 8,16 \text{ in}$$

Para determinar la capacidad de manejo de líquido del separador se tiene define el tiempo de retención.

Condiciones de operación	Valor	Unidad
Galones por mil pies cúbicos	1,34	gal/MSCF
Caudal	1,1	MMSCFD
Cantidad de líquido	35,09	BPD
Tiempo de retención	3	min

Nota: Elaboración propia.

$$U = \frac{W*Tr}{1440} = \frac{35,09*3}{1440} = 0,406 \text{ ft}^3$$

$$HI = \frac{Volumen}{Area} = \frac{0,406}{0,356} = 1,117 \text{ ft}$$