



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

**SIMULACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA ATRAVÉS DE LAS TUBERÍAS EN  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BARRANCABERMEJA**

**AUTORES**

**JHON ALEJANDRO MANTILLA GOMEZ  
JOSE LUIS CAMARGO PEINADO  
ANDRES MAURICIO GONZALEZ GUERRERO**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
ELECTROMECAÁNICO**

**Fecha de Presentación: (10-12-2018)**



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**  
**SIMULACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA ATRAVÉS DE LAS TUBERÍAS EN  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BARRANCABERMEJA**

**AUTORES**

JHON ALEJANDRO MANTILLA GOMEZ  
JOSE LUIS CAMARGO PEINADO  
ANDRES MAURICIO GONZALEZ GUERRERO

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
**Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico**

**DIRECTOR**

LEIDYS MARLEYN RODRIGUEZ CASTRO

**Proyecto de investigación- DIONOIA**

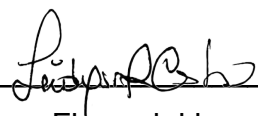
UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
ELECTROMECAÍNICO

Fecha de Presentación: (10-12-2018)

### Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: SIMULACION DE LAS PERDIDAS DE CARGAS ATRAVES DE LAS TUBERIAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS DE BARRANCABERMEJA.

Presentado por: Jhon Alejandro Mantilla Gomez, Jose Luis Camargo Peinado Y Andres Mauricio Gonzalez Guerrero. Para optar el título de Tecnólogo en operación y mantenimiento electromecánico.



\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del Jurado

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, quiero dar mis agradecimientos a Dios por ser el autor principal en el logro de este proyecto, por su inmensa misericordia día a día de poder amanecer y darme la sabiduría necesaria para afrontar cada reto adquirido en el camino. A mis familiares por su apoyo incondicional y darme la motivación a diario de seguir adelante sin importar los obstáculos que se atraviesen, hoy quiero compartir este triunfo con ustedes y decirles que nunca existirá algo de tan gran magnitud que permita pagarles todo lo que han hecho por mí

**JHON ALEJANDRO MANTILLA GOMEZ**

Agradezco a Dios por guiarme en el transcurso de esta carrera, hoy puedo decir con orgullo que he alcanzado un logro nuevo en mi vida y que a pesar de las dificultades y problemas que se presentaron fue Dios quien día a día brindó las fuerzas necesarias para no desfallecer, es por estos que hoy debo mi triunfo a su infinito amor, acompañado de mi familia quienes de manera terrenal me brindaron su apoyo, amor y comprensión fueron ellos quienes con su esfuerzos aportaron un recurso económico para que hoy día con humildad pueda recibir este honorable título, gracias a todos mis compañeros por las experiencias vividas por el transcurso de estos años.

**JOSE LUIS CAMARGO PEINADO**

Toda gloria y honra de este triunfo sean para Dios quien me iluminó para concluir esta de mi vida profesional con la realización de este proyecto, quien cada día me regalaba un soplo de vida que permitía emprender cada reto que se cruzaba en el transcurso de ella, gracias a mis amados padres por su confianza a la hora de apoyarme económicamente y emocionalmente, hoy me siento orgulloso de este logro que he alcanzado pero a un más de la familia que Dios me regalo gracias a esto descubrí lo valiosa que es y es por esto que hoy dedico este triunfo a ellos en honor a su amor incondicional

**ANDRES MAURICIO GONZALEZ GUERRERO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente les agradecemos a nuestras familias por todo los valores inculcados en nuestra crianza ya que han sido nuestra base principal para afrontar este reto de formación, cada miembro de la familia que ha aportado cosas importantes en nuestras vidas han hecho de nosotros mejores seres humanos y por consiguiente tengamos virtudes que nos hace diferenciarnos de los demás profesionales, sus enseñanzas son auténticas y jamás podrán ser aprendidas en otros lugares, un verdadero profesional es aquella persona íntegra y es por esto que hoy día entendemos el valor de la familia y queremos compartir con ustedes esta nuevo logro quienes son la pieza fundamental de alcanzarlo.

Mi agradecimiento también va para nuestro director de proyecto Leidys Marleyn Rodríguez Castro por su esfuerzo y dedicación en el transcurso de la ejecución de este proyecto para alcanzar el título de tecnólogo electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander, sus conocimientos y orientaciones fueron base fundamental en nuestra formación y de esta manera contribuyeron al éxito alcanzado hoy día.

También agradecerle al ingeniero Jorge Quintero jefe de mantenimiento de la planta aguas de Barrancabermeja por su apoyo para facilitarnos la información necesaria para la realización de la tesis.

Finalmente agradecemos a las Unidades Tecnológicas De Santander sede Barrancabermeja les expresamos nuestra admiración por ser esa fuente de conocimiento que nos abrió las puertas para entrar en el ámbito profesional, a nuestros docentes gracias por cumplir con el nivel profesional que demandan hoy en día las empresas y darnos las bases sólidas necesarias para enfrentar cualquier tipo de problemática laboral que se nos presente.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO .....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES.....	19
2. MARCOS REFERENCIALES.....	26
2.1. MARCO TEÓRICO .....	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	43
2.3. MARCO LEGAL .....	54
2.4. MARCO AMBIENTAL .....	56
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....	60
4. RESULTADOS.....	76
5. CONCLUSIONES .....	79
6. RECOMENDACIONES .....	80
7. BIBLIOGRAFÍA .....	81
ANEXOS .....	83



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Pérdida por carga.....	26
Figura 2. Pérdidas por transmisión.....	27
Figura 3. Balance de fuerza en un tramo de la tubería .....	29
Figura 4. Líneas de carga piezométricas y totales .....	30
Figura 5. Ecuación de Darcy-Weisbach .....	31
Figura 6. Datos de rugosidad absoluta.....	34
Figura 7. Representación gráfica ecuación Colebrook-White .....	35
Figura 8. Coeficiente de rugosidad de Manning de materiales.....	37
Figura 9. Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales .....	38
Figura 10. Coeficiente de rugosidad de Scobey.....	40
Figura 11. Valores de coeficiente K en pérdidas singulares.....	42
Figura 12. Introducción Hysys Aspen.....	46
Figura 13. Operaciones unitarias hysys. ....	47
Figura 14. Creación de un caso nuevo.....	61
Figura 15. Selección los componentes, para la simulación, usaremos H <sub>2</sub> O (agua). .....	62
Figura 16. Selección del paquete termodinámico - NRTL .....	63
Figura 17. Construcción del PFD. ....	64
Figura 18. Ingresar la corriente de entrada. ....	65
Figura 19. Selección de la opción (composition) dentro del worksheet para la modificar la composición del agua a (1). ....	66
Figura 20. Ingresan las corrientes de entrada, salida y energía de la bomba. ....	67
Figura 21. Corrientes de entrada y salida de la bomba (pump) e ingreso de los valores faltantes de las corrientes. ....	68

Figura 22. Ingreso de datos que conocen la corriente de salida, que sería presión y molar flow .....	68
Figura 23. Ya se ingresaron todos los valores faltantes de las corrientes, proseguir con la tubería.....	69
Figura 24. Selección de model palette la pipe y anexo la hoja de trabajo.....	70
Figura 25. Ingreso de las corrientes de entrada, salida y energía de la tubería. ...	70
Figura 26. Ir a la ventana Rating y añadir append segment para cada uno de los tramos y accesorios de la tubería.....	71
Figura 27. Añadir en cada segmento el tramo o accesorio con sus dimensiones, materia, elevación. ....	72
Figura 28. Añadir los parámetros de los accesorios o tubería, Schedule, nominal diameter. ....	72
Figura 29. Se han añadido los (16) segmentos que comprenden la tubería con sus respectivas propiedades y dimensiones.....	73
Figura 30. Selección de la pestaña Heat Loss dentro de la herramienta Rating he ingreso de datos de temperatura.....	73
Figura 31. Se ingresan los valores heat loss (0). ....	74
Figura 32. En la pestaña Overall HTC se ingresa la temperatura ambiente (32 °C). .....	74
Figura 33. Ingreso de todos los datos necesarios para la simulación. ....	75

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Resultados agua de salida ..... 76

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Selección de paquete de unidades .....	83
Anexo 2. Se ingresan los valores conocidos de la corriente de entrada, temperatura y presión.....	83
Anexo 3. Selección de modelo de paleta de la bomba y anexo a la hoja de trabajo.....	84
Anexo 4. Resultado agua de salida .....	84
Anexo 5. Resultados agua de salida 2 .....	85
Anexo 6. Resultados agua de salida 2 .....	87

## RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto se busca conocer las pérdidas de carga que se dan en una tubería durante la transferencia de líquido entre el punto de captación de agua de la empresa aguas de Barrancabermeja y la planta de tratamiento de la misma.

Es posible el desarrollo de este trabajo gracias al uso del software ASPEN HYSYS el cual permitió llegar a conocer los valores de pérdidas. Asimismo, mediante el uso de una metodología descriptiva se llevó a cabo la recopilación de datos en la que se logró conocer los valores reales de operación por medio de entrevistas con personal que opera en la planta los cuales suministraron la información necesaria para los datos de entrada del software. En los datos de salida se pudo deducir por medio de la simulación que el flujo es afectado considerablemente por todas las variables que intervienen en el proceso de transporte.

**Palabras clave:** Simulación, transferencia, agua, tratamiento, tubería

## INTRODUCCIÓN

La simulación es un método de trabajo que sirve para conocer desde el laboratorio los posibles escenarios de una situación. Esta simulación será realizada en un software que permite conocer las posibles pérdidas que se pueden presentar en el recorrido del flujo desde la bocatoma hasta la planta de agua de Barrancabermeja. Esta es una experiencia que se realiza a través de un software especializado, donde se introducen los datos requeridos para conocer las pérdidas generadas en condiciones normales de transporte del líquido.

La experiencia realizada en el desarrollo conlleva a proponer cambios y mejoras en las unidades de proceso involucradas en las actividades ejecutoras del circuito productivo metido en el proceso de investigación, ya que esta simulación se realiza con todas las características de similitud y condiciones normales de operación de la planta operadora. Esta experiencia es llevada a cabo por personal con la competencia necesaria para realizar estos tipos de trabajo, el conocimiento y la experiencia es un garante para el correcto desarrollo de este tipo de actividades. El informe es una garantía plena para llevar a implementar un plan de acción, según las actividades requeridas para buscar la mejora continua.

Las diferentes opciones brindadas por la simulación del proceso investigado acerca del transporte de flujo por tubería, donde la captación del líquido se realiza en la Ciénega San Silvestre hasta su punto de tratamiento, se presentan pérdidas que dan origen en menos caudal en el primer proceso que es la torre de aireación y el tratamiento del fluido es menor, esta herramienta informática importante en la ingeniería ya que reduce esfuerzos a la hora de realizar estudios de este tipo para el mejoramiento del proceso a intervenir.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La situación actual en la que se encuentra la planta de tratamiento de aguas de Barrancabermeja en sus procesos automatizados y manuales depende de los operadores, que pueden estar capacitados para dichas tareas, sin embargo, pueden surgir situaciones anómalas en las que no sepan cómo reaccionar apropiadamente, lo que conlleva al surgimiento de paradas de planta inapropiadas y a realizar mantenimientos correctivos inesperados. Debido a estas paradas en el respectivo alcantarillado y como servicio a los usuarios se presentan constantes quejas por el mal servicio y calidad del agua.

Con el desarrollo y evolución de las herramientas computacionales, las estrategias de análisis de los procesos industriales han evolucionado drásticamente en las últimas décadas, dado que es posible representar un proceso o un fenómeno físico complejo, mediante otro más simple, al comprender los modelos matemáticos que los rigen. La simulación en el análisis de procesos trae consigo beneficios como: generar más elementos de juicio para tomar decisiones alrededor del proceso, adicionalmente, la simulación en ningún momento interfiere con algún sistema real, también permite estudiar las interacciones que existen entre las variables del proceso, conseguir mejores condiciones y parámetros de operación para cada equipo, diseñar lazos de control, entre otras características.

La carrera Tecnología en Electromecánica que imparte las Unidades Tecnológicas De Santander dictó un seminario sobre herramientas de simulación como lo es el Software ASPEN HYSYS, donde el estudiante con este aprendizaje tiene la capacidad de seleccionar componentes mecánicos, químicos, termodinámicos, entre otros para determinar diferentes puntos de análisis. Sin embargo, hasta el

momento este conocimiento no se coloca en práctica donde el estudiante y futuro profesional, determinen y diagnostiquen problemas adyacentes sobre los procesos.

Por todo lo anterior los estudiantes de tecnología llegan a la interrogante ¿Cómo realizar simulación de las pérdidas por transmisión de la PTAB con base en los parámetros aprendidos en el seminario que proporcione al estudiante conocimientos prácticos para enfrentar el ámbito laboral?



## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se lleva a cabo con la finalidad de implementar una herramienta de simulación que permita estudiar y analizar los parámetros fundamentales y características de los materiales utilizados, conduciendo así al mejoramiento del conocimiento de los estudiantes de la institución, teniendo en cuenta la carencia de programas de simulación para el desarrollo de análisis de diseño en equipos y registro de características de materiales utilizados; se genera una idea de implementar herramientas tecnológicas que contribuyen al fortalecimiento de las temáticas vistas en las asignaturas, aumentando así las capacidades de análisis de falla, selección de materiales y disminución de las pérdidas

Esta herramienta permite enfocarse en el análisis y estudio de los comportamientos y parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño y desarrollo de una máquina, la presencia de esta técnica de simulación ofrece la posibilidad de realizar todos los cálculos necesarios para determinar los parámetros fundamentales del diseño, permitiendo así evaluar infinitas veces los comportamientos de ensambles mecánicos y establecer las piezas fundamentales para llevar a cabo el desarrollo de proyectos, basados en la construcción de equipos.

Este proyecto permite a los estudiantes afianzar y reforzar los conocimientos adquiridos desde la participación de materias como la termodinámica, mecánica de fluidos, entre otras y de este modo aumentar su nivel de preparación para realizar los correspondientes cálculos y temas en el momento de desarrollar proyectos. De este modo los estudiantes de las unidades tecnológicas se convierten en líderes de la capacitación y análisis de desarrollo mecánico.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar la simulación de pérdidas por carga en tuberías comprendidas entre la bocatoma y la planta de tratamiento aguas de Barrancabermeja a través de valores de operación.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el desempeño actual de la tubería por medio de sus valores operativos y variables que pueden afectar la misma.
- Desarrollar la simulación de las pérdidas por transmisión entre la bocatoma y la planta de tratamiento evaluando el desempeño de las cargas que se manejan.
- Evaluar el desempeño de la simulación con otras variables de carga.

#### **1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES**

Se realiza una selección descriptiva sobre el análisis de los antecedentes que emiten una evidencia sobre las teorías manejadas durante las investigaciones. Se toman como medio de referencia para representar una guía del resultado de cada trabajo, realizado en función del tema expuesto en este proyecto.

Khellaf (2016) explica en su tesis de grado la implementación en el simulador de procesos Hysys de un modelo de una planta de cogeneración de la refinería la Rábida de CEPSA, que suministra vapor a un emplazamiento industrial de refino efectos, se describió principalmente sus componentes y su funcionamiento, se modeló la planta de cogeneración en ambiente estático y se ejecutó la simulación del sistema de la caldera en estado dinámico, empleando como parámetros de diseño los datos reales de la planta.

Y se concluyó que las similitudes son adecuadas dentro del rango de precisión satisfactorio. Además, la simulación dinámica ha permitido probar distintas estrategias de control tipo PID y Cascada hasta conseguir proporcionar los mejores resultados (Khellaf, 2016).

Por último, se comprobó la estabilidad y validez del modelo dinámico introduciendo cambios en los parámetros de caudal y temperatura del combustible y de los gases de escape de la turbina de gas. Todos los resultados obtenidos han sido satisfactorios, lo que confirmó la fiabilidad del modelo para su uso en futuros casos de estudio. (Khellaf, 2016, pág. 11)

Se concluye que la simulación de esta caldera en estado estacionario no ha supuesto ningún problema, ya que todas las operaciones de las unidades fueron definidas y los resultados han sido coherentes (Khellaf, Modelado y simulación de

una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos HYSYS , 2016). Sin embargo, en el modo dinámico, la dificultad de controlar el nivel del calderín con la recirculación de la corriente líquido-vapor junto a la combinación de intercambiadores de calor y válvulas en medio del proceso, complicó el control de la presión en el sistema.

“La línea de recirculación de las corrientes líquido- vapor hacia el calderín ha sido sin duda el paso más complejo de este trabajo” (Khellaf, Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos HYSYS , 2016, pág. 115). El resultado de la simulación de la caldera en estado estático es coherente con los datos de diseño, y resulta satisfactorio dentro del rango de precisión esperado.

Mejía (2016) indica que se realizó la simulación de una planta de endulzamiento de gas típico de la Faja Petrolífera del Orinoco con monoetanolamina (MEA) en Aspen HYSYS, además de pre dimensionar los equipos mayores que la conforman. Asociado a esto se elaboraron las bases y criterios de diseño, el diagrama de flujo de proceso, lista de equipos y se establecieron los requerimientos de los servicios industriales.

Se obtuvieron como resultados de la simulación que el porcentaje molar de  $\text{CO}_2$  y la concentración de  $\text{H}_2\text{S}$  en el gas dulce fueron de 1,45.10-4% y 3,78 ppm molar respectivamente. También, se hizo un estudio de sensibilidad de la planta, variando condiciones de entrada del proceso. Se reportó como resultado que dicha corriente no debe exceder los 93°F ni estar por debajo de 1050 psi, así como evitar que los porcentajes molares de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  superen el 2,54% y 0,26% molar. (Mejía, 2016, pág. 4)

Mejía (2016) indica que la herramienta Aspen HYSYS logra simular la planta de endulzamiento de gas natural a partir de las bases de diseño generadas y las

especificaciones de composición molar de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S requeridas en la corriente de gas dulce según la gaceta oficial, logrando predecir de forma aceptable los resultados de la planta con el modelo termodinámico que se escogió.

Trillos & Amaya (2015) establecen que estos procesos servirán como casos de estudio para aplicar estrategias de control, por medio del software ROCKWELL AUTOMATION con el fin de disminuir el tiempo de ejecución en los cálculos y determinar el modelo de control apropiado para optimizar el sistema. A su vez se realiza la conexión ASPEN HYSYS con ROCKWELL AUTOMATION ® por medio del estándar de comunicación OPC Server (OLE for Process Control) basados en el protocolo de intercambio dinámico de datos (DDE).

Se utilizarán macros que permitan a través de comandos DDE (Dynamic Data Exchange) realizar una comunicación entre ASPEN HYSYS y ROCKWELL AUTOMATION dado que ASPEN HYSYS no cuenta con el protocolo OPC y por tanto no tiene una herramienta que facilite la comunicación con ningún software externo (Trillos & Amaya, 2015).

Este documento además brinda una posible solución para resolver el tema de intercambio de datos entre ASPEN HYSYS v 8.0 y ROCKWELL AUTOMATION, ya que el uso de las redes de comunicación permitirá que se conozca en tiempo real el estado de variables de proceso y transmitir información esencial que determinen tareas y acciones a realizar para la correcta operación de los sistemas analizados. (Trillos & Amaya, 2015, pág. 2)

“Finalmente, estos procesos serán mostrados por medio de un HMI que permita conocer el estado de los instrumentos y sus respectivas variables por medio del software Proficy HMI/SCADA – FIX” (Trillos & Amaya, 2015, pág. 2).

Como resultado de este proyecto se desarrolló una metodología que permite realizar simulaciones de procesos por medio del software Aspen Hysys, con control externo por medio del software RSLogix5000, demostrando que es posible realizar la integración de estos dos programas. Se puede validar que con cada proceso se utilizó la misma metodología siguiendo la siguiente estructura, de forma que lo adopte como la metodología de simulación para estos procesos (Trillos & Amaya, 2015).

Suárez (2009) establece que se realizó una simulación del proceso tecnológico obtención de etanola partir de materiales lignocelulósicos (específicamente el bagazo de caña). Primeramente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica donde se hizo un estudio de los principales componentes del proceso, definiendo su composición, sus usos, su tecnología y pre-tratamientos que reciben, así como de las principales características de la simulación de procesos químicos.

Posteriormente se evaluó en el simulador HYSYS este proceso para las siguientes condiciones: temperatura de la primera etapa a 120°C y sacarificación y fermentación separadas, mostrándonos en su ambiente de simulación, sus principales corrientes, con sus respectivos parámetros característicos, así como los equipos utilizados en cada etapa. Luego se realizó un análisis económico para dos capacidades de la planta obteniéndose como mejor configuración cuando la planta trabaja a 1000HL/día, según las condiciones estudiadas. (Suárez, 2009, pág. 10)

Segun Suárez (2009) también se realizó un análisis de sensibilidad a algunas variables con cierto grado de incertidumbre determinando que la que mayor efecto tiene sobre los indicadores de rentabilidad costo unitario y costo por peso fue la temperatura de ebullición de la Xilosa.

La simulación con el software HYSYS trae consigo un ahorro de recursos económicos, ya que nos permite probar diferentes configuraciones del proceso tecnológico sin tener que recurrir a ostosos experimentos tanto a nivel de laboratorio como a nivel de planta piloto. Los principales parámetros operacionales para una tecnología propia de reducción de etanol son la temperatura, la presión, el flujo y la composición de cada corriente expresada en fracción molar o fracción másica (Suárez, 2009).

Este tipo de simulador tiene entre sus ventajas que permite la entrada de componentes no registrados en su base de datos, permite declararle las reacciones a ocurrir en el proceso, se puede escoger los equipos para cada etapa y entre sus desventajas tiene que el simulador no da todas las características de los equipos y que está hecho para la industria petroquímica y sus derivados. (Suárez, 2009, pág. 81)

Rodriguez & Hernandez (2012) establecen que se realizaron tres simulaciones en Epanet: simulación 1 con el caudal registrado en el medidor durante la prueba de bombeo, simulación 2 con el análisis estadístico de los caudales medidos en la tubería de compuertas y simulación 3 con el caudal de diseño obtenido en la demanda hídrica. La simulación 1, con un caudal de 115 L/s y un nivel de bombeo de 15 m, tuvo valores negativos de presión en los últimos hidrantes (H6, H7 y H8), indicando que la bomba no es capaz de vencer la cabeza dinámica requerida por el sistema para transportar 115 L/s.

La simulación 2, con un caudal de 100 L/s y un nivel de bombeo de 13.12 m, y la simulación 3, con un caudal de 94 L/s y un nivel de bombeo de 12.36 m, ambas simulaciones indicaron que la bomba cumple con las características del sistema para entregar la demanda base establecida en el hidrante crítico (H8), con presiones

en el último hidrante (H8) de 4.25 m.c.a y 7.33 m.c.a respectivamente (Rodríguez & Hernández, 2012).

Evaluar hidráulicamente el sistema de riego por compuertas en la Hacienda el Once, mediante una prueba de bombeo y un aforo en la tubería de compuertas operando en la parte crítica. Analizar el comportamiento hidráulico del sistema de riego, mediante la simulación en Epanet, para el caudal de diseño obtenido de la demanda hídrica, y los caudales obtenidos en la prueba de bombeo y el aforo en la tubería de compuertas. (Rodríguez & Hernández, 2012, pág. 76)

Según Sánchez & Herrera (2012) tomando en cuenta, que debido a la antigüedad de la infraestructura existente, el sistema no funciona eficazmente y presenta constantes problemas, derivados de los daños en tramos de la conducción y de los racionamientos de agua por la deficiente capacidad de almacenamiento, además de la inexistencia de un catastro de redes que exponga la malla de distribución de la tubería.

Se realizó el rediseño de todos los elementos del Sistema de Acueducto, el trabajo se dividió en cuatro fases que abarcan las características generales del municipio, el diagnóstico del sistema existente, los diseños de ingeniería y el planteamiento de las posibles soluciones que garanticen mejoras en la prestación del servicio. (Sánchez & Herrera, 2012, pág. 17)

Recolección de datos in situ en las instalaciones del acueducto y en la base de datos de la empresa ACOSMI, con el fin de realizar los cálculos para el rediseño de los elementos que componen el sistema. Ejecutar el rediseño de los componentes que integran el sistema, comenzando con el diseño de las obras de captación, la línea de aducción: bocatoma – desarenador y la línea de conducción: desarenador – tanque de almacenamiento (Sánchez & Herrera, 2012).



“Plantear las posibles mejoras que se podrían implementar en el sistema existente para garantizar un buen funcionamiento y una mejor prestación del servicio, anexando a ellas el nuevo diseño realizado” (Sanchez & Herrera, 2012, pág. 20).

Después de realizar todos los estudios preliminares, que incluyeron salidas de campo, revisión de documentos y visitas a la planta de tratamiento, y los rediseños correspondientes se concluye que las principales falencias del sistema radican en la falta de mantenimiento de los elementos de la bocatoma y los módulos desarenadores, y la poca capacidad de almacenamiento, lo que obliga a realizar una manutención total de la infraestructura y a la construcción de otro tanque de almacenamiento que garantice una distribución constante durante las altas demandas de la población. (Sanchez & Herrera, 2012, pág. 156)

## 2. MARCOS REFERENCIALES

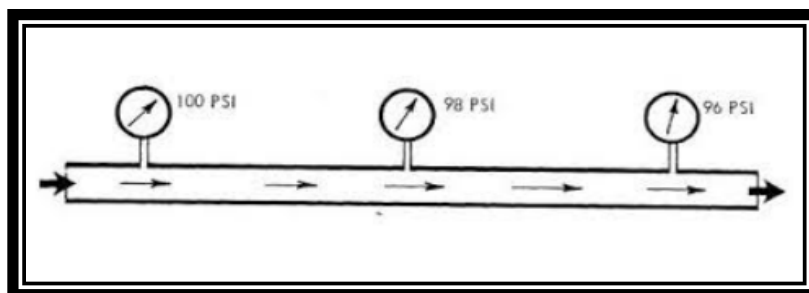
### 2.1. MARCO TEÓRICO

Khellaf & Marruedo (2016) indica que es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene. Las pérdidas pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, o accidentales o localizadas, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc. La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento

#### Pérdidas primarias

Se producen cuando el fluido se pone en contacto con la superficie de la tubería. Esto provoca que se rocen unas capas con otras (flujo laminado) o de partículas de fluidos entre sí (flujo turbulento). Estas pérdidas se realizan solo en tramos de tuberías horizontal y de diámetro constante (Khellaf & Marruedo, 2016).

**Figura 1.** Perdida por carga



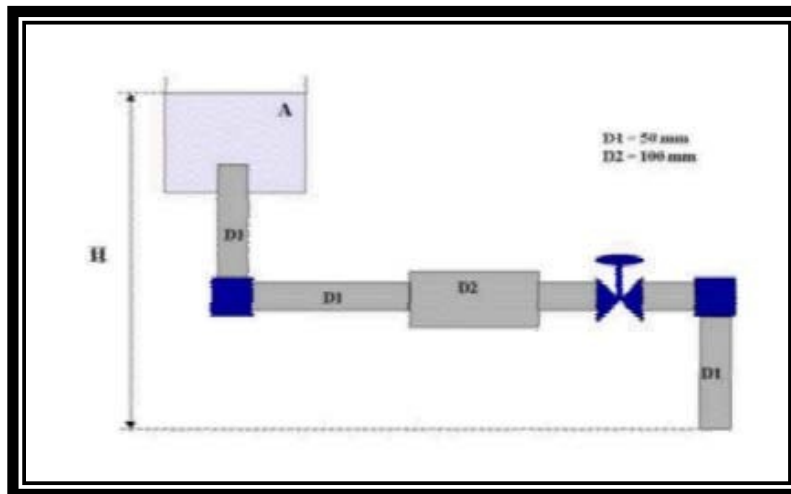
**Fuente:** KHELLAF, Samira. & MARRUEDO, Daniel. Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. 2016.p.37.

## Pérdidas secundarias

Khellaf & Marruedo (2016) comunican que se producen en transiciones de la tubería (estrechamiento o expansión) y en toda clase de accesorios (válvulas, codos). En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías son importantes dos factores:

- Que la tubería sea lisa o rugosa.
- Que el fluido sea laminar o turbulento.

**Figura 2.** Pérdidas por transmisión



**Fuente:** KHELLAF, Samira. & MARRUEDO, Daniel. Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. 2016.p.38

## Ecuación general de las pérdidas primarias

Ecuación de DARCY:

$$hL = f * L/D * v^2/2g$$

Mejia (2016) señala que para encontrar  $hL$  primero se busca en el diagrama de MOODY el factor de fricción. Ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.

$$hL = K \cdot (v^2 / 2g)$$

$k$  = Coeficiente de resistencia (depende del elemento que produzca la pérdida de carga. Ej. Tubería, codo.

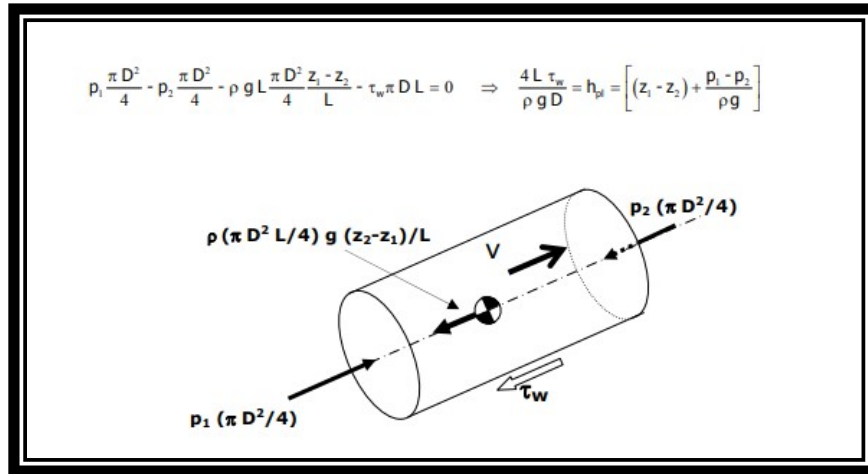
$v$  = velocidad media en la tubería, codos, válvulas.

### **Pérdidas lineales**

Las pérdidas lineales son debido a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen en los fluidos y las paredes de las tuberías. Considerando flujo estacionario en un tramo de la tubería de sección cortante las pérdidas lineales se pueden obtener por un balance de fuerzas en la dirección de flujo (Mejia, 2016).

Fuerza de presión + fuerza de gravedad + fuerza viscosa = 0

**Figura 3.** Balance de fuerza en un tramo de la tubería



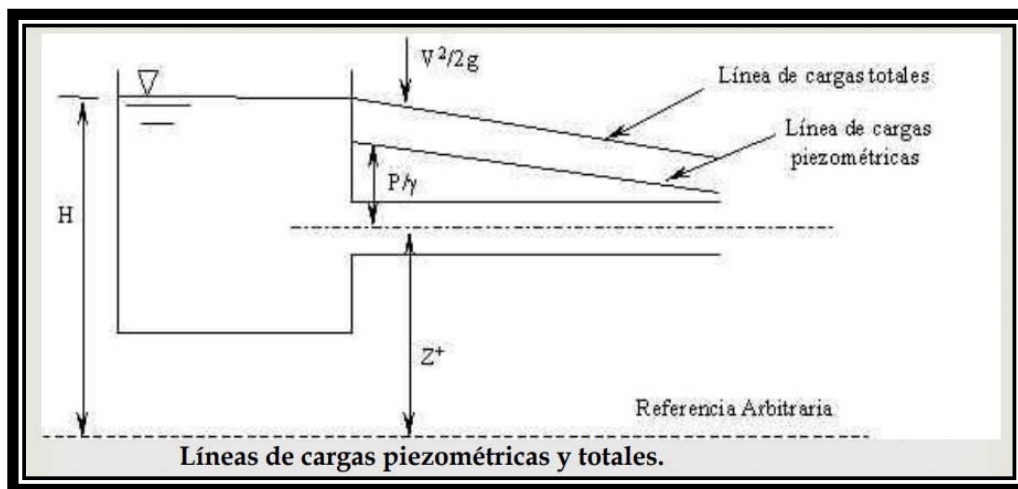
**Fuente:** MEJIA, Gutierrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad simon Bolivar. 2016.p.28.

Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en que el flujo sea laminar o turbulento. Puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, más en el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de con el número de Reynolds. Toda vía más, Nikurad se y otros investigadores han encontrado que sobre el valor de también influye la rugosidad relativa en la tubería. (Mejia, 2016, pág. 28)

Si se determina en cada punto de la tubería el término  $P/g$  y se traza una línea vertical equivalente al valor de este término a partir del centro del tubo, la línea de cargas piezométricas se obtiene uniendo los extremos superiores de las verticales. Se puede tomar una línea de referencia horizontal. Si  $z +$  es la distancia del eje del tubo sobre esa línea, la línea de cargas piezométricas se encontrará a  $z + + P/g$  de la línea de referencia (Mejia, 2016).

Mejia (2016) establece que conectando unos tubos como piezómetros a lo largo del
 tubo, la línea de cargas piezométricas estaría definida como el lugar geométrico de
 las alturas hasta las cuales ascendería el fluido. La línea de cargas totales es aquella
 que une todos los puntos que miden la energía disponible en cada punto de la
 tubería y se encuentra a una distancia vertical equivalente a la cabeza de velocidad
 ( $V^2/2g$ ) por encima de la línea de cargas piezométricas (asumiendo igual a la
 unidad el factor de corrección de la energía cinética).

**Figura 4.** Líneas de carga piezométricas y totales



**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una
 planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.30

Para el cálculo de la pérdida de carga o energía en tubería, se emplea generalmente
 la ecuación de Darcy-Weisbach:

**Figura 5.** Ecuación de Darcy-Weisbach

*ECUACION DE DARCY-WEISBACH*

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

*(Fórmula de Darcy-Weisbach, pérdidas primarias)*

$H_{rp}$  — pérdida de carga primaria  
 $\lambda$  — coeficiente de pérdida de carga primaria  
 $L$  — longitud de la tubería  
 $D$  — diámetro de la tubería  
 $v$  — velocidad media del fluido.

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.31

Experimentos realizados a finales del siglo XIX realizados con tuberías de agua de diámetro constante demostraron que la pérdida de carga era directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media en la tubería y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la misma (Mejia, 2016).

Todas las cantidades de esta ecuación excepto  $f$ , pueden determinarse experimentalmente: midiendo el caudal y el diámetro interior del tubo, se calcula la velocidad; las pérdidas de energía o de carga se miden con un manómetro diferencial conectado en los extremos de la longitud deseada. Los experimentos han demostrado que, para flujo turbulento, las pérdidas de carga varían. (Mejia, 2016, pág. 32)

- Directamente con la longitud de la tubería.
- Aproximadamente con el cuadrado de la velocidad.
- Aproximadamente con el inverso del diámetro.
- Dependiendo de la rugosidad de la superficie interior del tubo.

- Dependiendo de las propiedades de densidad y viscosidad del fluido. Independientemente de la presión.

El factor  $f$  depende de las siguientes cantidades:

$V$ : velocidad ( $L T^{-1}$ )

$D$ : diámetro (L).

$\rho$  : Densidad del fluido ( $M L^{-3}$ ).

$\mu$ : Viscosidad del fluido ( $M L^{-1}T^{-1}$ ).

$\varepsilon$ : medida del tamaño de las proyecciones de la rugosidad (L).

$\varepsilon'$ : Medida de la distribución o espaciamiento de las rugosidades (L).

$m$ : Factor que depende del aspecto o forma de los elementos de la rugosidad (adimensional).

Entonces  $f = f(V, D, \rho, \mu, \varepsilon, \varepsilon', m)$ .

Como  $f$  es un factor adimensional, debe depender de las cantidades anteriores agrupadas en parámetros adimensionales (Mejía, 2016).

Las cuatro primeras cantidades se agrupan en el parámetro adimensional conocido como número de Reynolds ( $R = VD\rho/\mu$ );

Los términos  $\varepsilon$  y  $\varepsilon'$  se hacen adimensionales dividiéndolos entre  $D$ . Por lo tanto resulta que  $f = f(R, \varepsilon/D, \varepsilon'/D, m)$ .

El valor de  $f$  puede conocerse acudiendo al diagrama de Moody, el cual se basa en la ecuación de Colebrook-White.



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.869 \ln \left( \frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.523}{R\sqrt{f}} \right)$$

Una ecuación tan precisa como la de Colebrook-White, que permite obtener el coeficiente de fricción de manera directa (sin iteraciones) es la de Swamee-Jain.

$$f = \frac{1.325}{\left[ \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Mejía (2016) menciona que Darcy-Weisbach. Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo, por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. Aun así, se puede utilizar para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de fundición. La fórmula original es:

$$h = f * (L/D) * (v^2/2g)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$h = 0,0826 * f * (Q^2/D^5) * L$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

f: coeficiente de fricción (adimensional)

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro interno de la tubería (m)

V: velocidad media (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

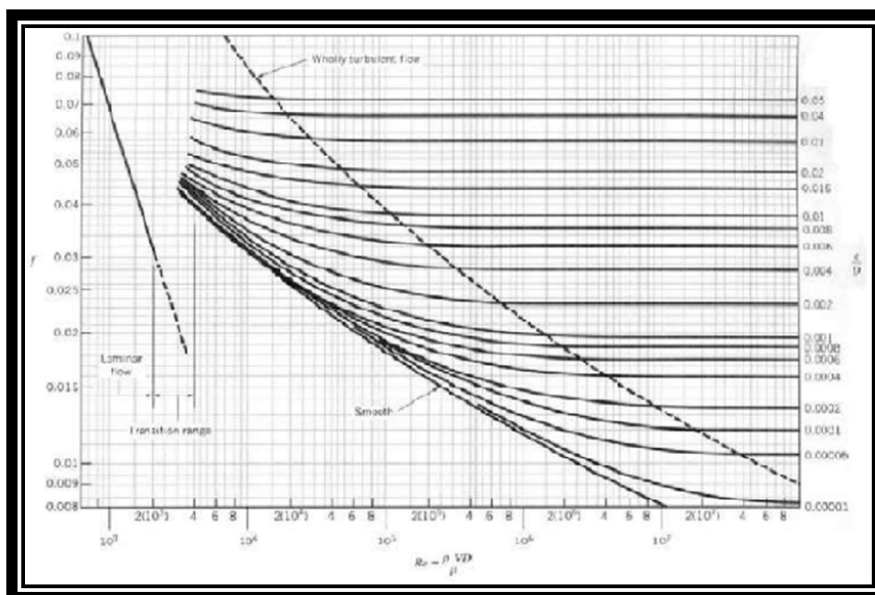
El coeficiente de fricción  $f$  es función del número de Reynolds ( $Re$ ) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería ( $\epsilon_r$ ).

**Figura 6.** Datos de rugosidad absoluta

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.33.

**Figura 7.** Representación gráfica ecuación Colebrook-White



**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.34.

Mejia (2016) indica que las ecuaciones de Manning se suelen utilizar en canales. Para el caso de las tuberías son válidas cuando el canal es circular y está parcial o totalmente lleno, o cuando el diámetro de la tubería es muy grande. Uno de los inconvenientes de la fórmula es que sólo tiene en cuenta un coeficiente de rugosidad (n) obtenido empíricamente, y no las variaciones de viscosidad con la temperatura. La expresión es la siguiente:

$$h = 10,3 * n^2 * (Q^2/D^{5,33}) * L$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m).

n: coeficiente de rugosidad (adimensional).

D: diámetro interno de la tubería (m).

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s).

L: longitud de la tubería (m).

El cálculo del coeficiente de rugosidad "n" es complejo, ya que no existe un método exacto (Mejia, 2016) Establece que Para el caso de tuberías se pueden consultar los valores de "n" en figura publicada. Algunos de esos valores se resumen en la siguiente figura.

$$h = 10,3 * n^2 * (Q^2 / D^{5,33}) * L$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

n: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s)

L: longitud de la tubería (m)

El cálculo del coeficiente de rugosidad "n" es complejo, ya que no existe un método exacto. Para el caso de tuberías se pueden consultar los valores de "n" en figura publicada. Algunos de esos valores se resumen en la siguiente figura (Mejia, 2016).

**Figura 8.** Coeficiente de rugosidad de Manning de materiales

<b>COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING DE MATERIALES</b>				
<b>Material</b>	<b>n</b>		<b>Material</b>	<b>n</b>
Plástico (PE, PVC)	0,006-0,010		Fundición	0,012-0,015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,009		Hormigón	0,012-0,017
Acero	0,010-0,011		Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Hierro galvanizado	0,015-0,017		Revestimiento bituminoso	0,013-0,016

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.35.

Mejia (2016) comunica que el método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 °C - 25 °C). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero.

$$h = 10,674 * [Q^{1,852} / (C^{1,852} * D^{4,781})] * L$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

En la siguiente figura se muestran los valores del coeficiente de rugosidad para diferentes materiales (Mejia, 2016).

**Figura 9.** Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales

COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS PARA ALGUNOS MATERIALES			
Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido, nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.37.

Se emplea para tuberías de fibrocemento. La fórmula es la siguiente:

$$h = 9,84 * 10^{-4} * (Q^{1,786} / D^{4,786}) * L$$

En donde:

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

h: pérdida de carga o energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m).

Se emplea fundamentalmente en tuberías de aluminio en flujos en la zona de transición a régimen turbulento (Mejia, 2016). Señala que en el cálculo de tuberías en riegos por aspersión hay que tener en cuenta que la fórmula incluye también las pérdidas accidentales o singulares que se producen por acoples y derivaciones propias de los ramales, es decir, proporciona las pérdidas de carga totales. La ecuación es la siguiente:

$$h = 4,098 * 10^{-3} * k * (Q^{1,9}/D^{1,1}) * L$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

K: coeficiente de rugosidad de Scobey (adimensional)

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

Mejia (2016) establece que se indican a continuación los valores que toma el coeficiente de rugosidad "K" para distintos materiales:

**Figura 10.** Coeficiente de rugosidad de Scobey

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE SCOBAY PARA ALGUNOS MATERIALES				
Material	K		Material	K
Acero galvanizado con acoples	0,42		Acero nuevo	0,36
Aluminio	0,40		Fibrocemento y plásticos	0,32

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.39.

Se emplea para tuberías de PVC y para  $4 \cdot 10^4 < Re < 10^6$

$$h = 9,2 \cdot 10^{-4} (Q^{1,8} / D^{4,8}) \cdot L$$

En donde:

h: pérdida de carga o energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup> /s).

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)



## **Pérdidas de carga en singularidades**

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales. Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K): (Mejía, 2016, pág. 39)

$$h = K * (v^2/2g).$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

K: coeficiente empírico (adimensional)

v: velocidad media del flujo (m/s) ( $m/s^2$ ) El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.

En la siguiente Figura se resumen los valores aproximados de "K" para cálculos rápidos.

**Figura 11.** Valores de coeficiente K en pérdidas singulares

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

**Fuente:** MEJIA, Gutiérrez. Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con mea. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. 2016.p.40.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### Simulación

Khellaf & Marruedo (2016) comunica que la simulación consiste en construir modelos informáticos que permitan describir el comportamiento esencial de un sistema real o hipotético, así como diseñar y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias, para apoyar al usuario en la toma de decisiones.

Normalmente la simulación construye modelos matemáticos tan complejos que no es posible su tratamiento analítico por medio de métodos numéricos. Sus orígenes están en los trabajos de Suden para aproximar la distribución que lleva su nombre, y los métodos que Von Neumann y Ulán introdujeron para resolver ecuaciones integrales. Desde entonces, la simulación ha adquirido importancia en la resolución de problemas en diferentes campos como la ingeniería, la economía, biología, medicina, informática, química y las ciencias sociales con enormes aplicaciones industriales y comerciales. (Khellaf & Marruedo, Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys, 2016, pág. 16)

### El simulador Hysys

Aspen Hysys es un software desarrollado por la empresa AspenTech, del cual tanto la Escuela Técnica Superior de Ingenieros como el Departamento de Ing. Sistemas y Automática poseen licencia de uso para su versión (Mejía, 2016).

Aspen Hysys es un potente software de simulación para ingeniería de procesos, construido de forma modular y que opera internamente de manera jerarquizada, el cual sirve como plataforma ingenieril para modelar procesos como (Mejia, 2016) Indica que los procesamiento de gases, instalaciones criogénicas, procesos químicos, petroquímicos y de refinación, tanto en estado estacionario como dinámico. Para comprender el éxito de Aspen Hysys no se necesita mirar más allá de su fuerte y completa base termodinámica, que a través del concepto de paquete de fluidos permite una representación más realista del proceso simulado.

Khellaf & Marruedo (2016) establecen que este simulador cuenta con una interfaz muy simplificada para el usuario, además de permitir el empleo de operadores lógicos y herramientas que facilitan la simulación de diversos procesos, es un simulador bidireccional, ya que el flujo de información va en dos direcciones (hacia delante y hacia atrás).

De esta forma, puede calcular las condiciones de una corriente de entrada a una operación a partir de las correspondientes a la corriente de salida sin necesidad de cálculos iterativos. Posee un entorno de simulación modular tanto para estado estacionario como para régimen dinámico.

### **Ventajas y desventajas de Aspen Hysys**

- Su facilidad de uso (interfaz amigable con el usuario final).
- Base de datos extensa (actualmente superada únicamente por la de Aspen Plus®).
- Utiliza datos experimentales para sus correlaciones, aunque algunos son estimados (la mayoría de simuladores usa modelos predictivos como UNIFAC).

El programa nos permite:

- Utilizar Modelos Termodinámicos, paquetes de fluido, simular unidades de proceso como son: División, Mezcla y Fraccionamiento de corrientes, ciclos de refrigeración, separación de dos y tres fases, procesos con reciclo, ajuste de variables, manejo de columnas de destilación (absorción y simplificada), etc.
- Simular Reactores, utilizar reactores de Conversión, Relación no lineal entre variables Reactor de Mezcla Completa Reactor Flujo Pistón Reactor Catalítico Heterogéneo, además permite establecer balances de Materia y Calor (Khellaf & Marruedo, Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys, 2016).

Base de datos:


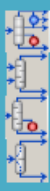
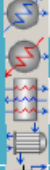


Khellaf & Marruedo (2016) señalan que Aspen Hysys® cuenta con una extensa base de datos, destacando lo siguiente: Parámetros de Interacción binaria para el cálculo del coeficiente de actividad.

- Las propiedades fisicoquímicas de las sustancias puras.
- Más de 1500 componentes sólidos, líquidos y gaseosos.
- Electrolitos.
- Propiedades de crudos a partir de datos experimentales.
- Modelos de curvas de destilación.
- Correlaciones específicas para fracciones livianas y pesadas.

## Operaciones unitarias

Aspen Hysys posee una integración gráfica que permite modelar más de 40 diferentes operaciones unitarias, para esto Aspen Hysys define una serie de subrutinas, algunas de estas serán mencionadas en la figura (Khellaf & Marruedo, 2016).

**Figura 12.** Introducción Hysys Aspen

	Destilación (método abreviado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shortcut Column</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño con el método Fenske-Underwood</li> </ul>
	Separación multietapa (simulación basada en datos de equilibrio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Column</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separación multifásica genérica, incluyendo absorción, desorción, destilación y extracción líquido-líquido. Es posible añadir secciones de columna y recirculaciones adicionales. Todos los modelos (aplicaciones en refino de petróleo) soportan dos o tres fases así como reacciones químicas.</li> </ul>
	Intercambio de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cooler/Heater</li> <li>• Heat Exchanger</li> <li>• Lng</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentamiento o refrigeración.</li> <li>• Intercambio de calor entre dos corrientes de proceso.</li> <li>• Intercambio de calor entre varias corrientes.</li> </ul>
	Reactores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conversión Reactor</li> <li>• Equilibrium Reactor</li> <li>• Gibbs Reactor</li> <li>• CSTR</li> <li>• PFR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se especifica la conversión.</li> <li>• Reacción de equilibrio.</li> <li>• Equilibrio químico multifásico (no se requiere la estequiometría).</li> <li>• CSTR.</li> <li>• PFR.</li> </ul>
	Bombas, compresores y turbinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pump</li> <li>• Compressor</li> <li>• Expander</li> <li>• Valve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba o turbina hidráulica</li> <li>• Compresor</li> <li>• Turbina</li> <li>• Válvula adiabática</li> </ul>

**Fuente:** KHELLAF, Samira. & MARRUEDO, Daniel. Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. 2016.p.46.

**Figura 13.** Operaciones unitarias hysys.

ICONO	TIPO DE OPERACIONES	NOMBRE	DESCRIPCION
	Mezcladores y divisiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mixer</li> <li>Tee</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mezcla de corrientes.</li> <li>División de corrientes.</li> </ul>
	Intercambio de calor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Component Splitter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Separador de componentes con dos salidas</li> </ul>
	Separadores flash	<ul style="list-style-type: none"> <li>Separator</li> <li>3-Phase Separator</li> <li>Tank</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación múltiple, una corriente vapor y una líquida como producto.</li> <li>Alimentación múltiple, una corriente vapor y dos líquida como producto.</li> <li>Alimentación múltiple, una corriente líquida como producto.</li> </ul>

**Fuente:** KHELLAF, Samira. & MARRUEDO, Daniel. Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. 2016.p.45.

### Etapas para desarrollar una simulación.

Mejía (2016) indica que a continuación describimos las consideraciones a tener, para el desarrollo de cualquier simulación:

### Formulación del problema

Khellaf & Marruedo (2016) concluyen que es el primer paso y el más importante, ya que debe quedar perfectamente determinado el objetivo de la simulación. Se deben describir lo más detalladamente posible los siguientes factores, La complejidad de la interfaz del simulador.

- Resultados esperados del simulador.
- El plan de experimentación, el tiempo adecuado para la experimentación y las variables de interés.

- El tipo de perturbaciones a estudiar.
- Tipo de tratamiento estadístico de los resultados y su análisis.
- Se debe establecer si el simulador será operado por el usuario o si el usuario sólo recibirá los resultados.

### **Definición del sistema**

Mejia (2016) señala que el sistema debe estar perfectamente determinado, tanto en variables a definir como en los resultados que se espera obtener.

### **Formulación del modelo**

Es recomendable formular un modelo simple que obtenga los aspectos relevantes del sistema a desarrollar. Este modelo se irá enriqueciendo como resultado de diversas consideraciones anexas que aportarán precisión (Mejia, 2016).

### **Colección de datos**

La naturaleza de los datos y la cantidad necesaria se establecen directamente por la formulación del problema y el modelo. Se puede considerar como fuente de datos los registros históricos y mediciones de laboratorio, como observaciones realizadas en el sistema real. Estos datos deberán ser procesados apropiadamente para procurar el formato exigido en el modelo (Mejia, 2016).

### **Implementación del modelo en el ordenador**

Mejia (2016) comunica que se deben desarrollar los algoritmos que permitan obtener un modelo apropiado que nos de cómo resultado un comportamiento similar



al propuesto. El simulador Aspen Hysys®, cuenta con modelos predeterminados que sirven de base para realizar las modificaciones necesarias, de forma que podamos ajustar dicho modelo.

### **Verificación.**

En esta etapa se comprueba que no se haya cometido errores durante la implementación del modelo. Se debe revisar los algoritmos diseñados, el cálculo de los mismos, estructura de programación o método utilizado (Mejia, 2016).

### **Validación.**

En esta etapa se comprueba la veracidad del modelo desarrollado. Esto se realiza a partir de comparaciones entre mediciones realizadas en el sistema real y el resultado predictivo de los modelos planteados, datos históricos o datos de sistemas similares. Como resultado de esta etapa puede surgir la necesidad de modificar el modelo o recolectar datos adicionales. (Mejia, 2016, pág. 66)

### **Diseño de experimentos.**

Se definen las características de los experimentos a realizar; tiempo de arranque, de simulación y el número de iteraciones necesarias (Mejia, 2016).

### **Experimentación.**

Mejia (2016) establece que se llevan a cabo las simulaciones, se recolectan los resultados, se procesan y se analizan.

### **Interpretación.**

Se examina la sensibilidad del modelo respecto a los parámetros que tienen relacionados una mayor incertidumbre (Mejía, 2016). Comunica que el modelo será sensible si ante pequeños cambios en los valores de entrada, las respuestas varían notablemente (Mejía, 2016).

### **Implementación.**

Se divulga el modelo obtenido y la simulación. El responsable de la misma debe guiar en esta etapa, para evitar que los resultados se utilicen para propósitos diferentes al objetivo planteado inicialmente (Mejía, 2016).

### **Documentación**

Mejía (2016) indica que se hace pública la información obtenida a través de documentación técnica, describiendo el modelo utilizado y la característica de los datos, también se publican manuales de uso con las consideraciones particulares de cada sistema.

### **Sistemas de control, sensores y actuadores en Hysys aspen**

El establecimiento del sistema de control en un proyecto, exige una apropiada selección de los instrumentos necesarios para desarrollar un sistema que permita administrar, ordenar y dirigir el comportamiento de un proceso de producción específico (Rodríguez & Hernández, 2012).

El tipo de variables a manipular y controlar, no deben tomarse a la ligera, la elección de las variables, sensores y actuadores para registrar las mismas y manipularlas deben ser elegidas con base a criterios de diseño y desempeño por parte del usuario. De igual manera, la inclusión de los elementos típicos de un lazo de control, como el tiempo muerto en algunos sensores, la característica de las válvulas de control y los parámetros del algoritmo de control, son de vital importancia en el análisis dinámico que pueda hacerse a través de la simulación de un proceso. (Rodríguez & Hernandez, 2012, pág. 23)

## **Sensores**

Los sensores en un sistema de control son dispositivos capaces de captar y medir una variable física, cuyo resultado es transmitido al controlador para que éste tome una decisión respecto al proceso. Los sensores en Aspen Hysys® no están disponibles al usuario final como una operación en el espacio de trabajo, mas sin embargo el software nos permite conocer todo el tiempo el estado de los equipos y sus variables más relevantes como presión, temperatura, flujo molar, flujo másico, entalpia; además de su composición química. Por tanto el usuario final podrá tener información suficiente de las variables de proceso para diseñar los sistemas de control que permitan optimizar el sistema determinado. (Rodríguez & Hernandez, 2012, pág. 24)

Rodríguez & Hernandez (2012) refiere que el usuario debe manejar algunos conceptos que se pueden encontrar en algunos procesos, que afectan las mediciones de las señales como es el caso de las tuberías. La medición de una variable en las tuberías, puede variar del punto en el que se realice la medición, ya que existen procesos en donde se tienen varios tipos de flujos a través de estos

elementos, además de los cambios de dirección en las tuberías que modifican la velocidad y por tanto el caudal en los componentes.

## **Actuadores**

En función del tipo de energía que utilizan para producir el movimiento se clasifican en:

- Eléctricos.
- Hidráulicos.
- Neumáticos.

## **Sistemas de control.**

Rodriguez & Hernandez (2012) señalan que un sistema de control es un tipo de sistema que está caracterizado por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento de un proceso o sistema. Cuya finalidad radica en conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, una respuesta específica del sistema controlado que permita llevarlo a unos valores establecidos por el usuario. Un sistema de control ideal debe tener la capacidad de alcanzar su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Estabilidad frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Eficiencia, evitando comportamientos bruscos e irreales que puedan afectar el sistema.
- De fácil implementación, debe ser cómodo de operar en tiempo real y debe estar abierto a la ejecución de ajustes por medio de un ordenador.

Rodríguez & Hernández (2012) indican que Aspen Hysys permite implementar múltiples sistemas de control como es el caso del control PID, control predictivo multivariable MPC y control por matriz dinámica DMC, etc.

En este documento nos enfocaremos en un control que nos permita mantener un proceso en un punto de operación ante la influencia de perturbaciones externas y para tal caso utilizamos lazos de control SISO (single input single output) implementando un control regulatorio de tipo PID. Es importante ubicar nuestro proyecto en el sistema de automatización de forma que podamos validar los niveles de automatización del mismo (Rodríguez & Hernández, 2012).

## **2.3. MARCO LEGAL**

Decreto 1575 (2007) indica que la normatividad contemplada para el tratamiento y potabilización de agua se basa en El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000)<sup>13</sup> y Normas del Gobierno de la Republica de Colombia.

Una de estas normas que es más aplicada es la resolución 2115 de 2007 en la que se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Con lo que se debe regir en cualquier proyecto que tenga relación en ello (Decreto 1575, 2007).

### **Método y procesos para el tratamiento de aguas Ley 475/98**

#### **Coagulación**

Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes. Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada (Decreto 1575, 2007).

#### **Sedimentación**

Decreto 1575 (2007) comunica que el proceso consiste en el asentamiento de las partículas en el fondo del tanque haciendo que el agua se detenga por un tiempo determinado.

## Filtración

Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso (Decreto 1575, 2007). Señala que existen dos métodos que son los más comunes:

- Filtración rápida: Proceso de filtración a alta velocidad.
- Filtración lenta: Proceso de filtración a baja velocidad.

Decreto 1575 (2007) establece que desinfección: Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua. Existen dos medios por los cuales se puede realizar una desinfección:

- Desinfección física: El método más efectivo es hervir el agua durante 15 o 20 minutos.
- Desinfección Química: En esta se utilizan sustancias químicas que destruyen los microorganismos. En éste tipo de desinfección la sustancia más usada es el Cloro.

## 2.4. MARCO AMBIENTAL

### Ley 9 de 1979

Artículo 1: para la protección del medio ambiente la ley establece

- Las normas generales que sirvan a la disposición y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que relaciona la salud humana.
- Los procedimientos y las medidas que se deben optar para la regulación, legislación y control de los descargos y residuos que afecten las condiciones sanitarias del medio ambiente.

Parágrafo: para los efectos de esta ley se entenderán por condiciones sanitarias del ambiente las necesarias para asegurar el bienestar y la salud humana.

Artículo 2º: cuando en esta ley o sus reglamentaciones se hable de agua, se entenderán tanto las públicas como las privadas.

Las normas de la protección de la calidad del agua se aplican tanto a una como a otras del control sanitario de los usos del agua.

### **Del control sanitario de los usos del agua.**

Artículo 3º.- Para el control sanitario de los usos del agua se tendrán en cuenta las siguientes opciones, sin que su enunciación indique orden de prioridad Consumo



humano, doméstico, preservación de la flora y fauna, agrícola y pecuario, recreativo, industrial, transporte.

### **Residuos líquidos.**

Artículo 10°. Todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de Salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente.

Ley 9 (1979) establece que el artículo 11°. Antes de instalar cualquier establecimiento industrial, la persona interesada deberá solicitar y obtener del Ministerio de Salud o de la entidad en quien éste delegue autorización para verter los residuos líquidos.

Artículo 12°. Toda edificación, concentración de edificaciones o desarrollo urbanístico, localizado fuera del radio de acción del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de un sistema de alcantarillado particular o de otro sistema adecuado de disposición de residuos (Ley 9, 1979).

Artículo 13°. Cuando por almacenamiento de materias primas o procesadas existe la posibilidad de que éstas alcancen los sistemas de alcantarillado o las aguas, las personas responsables del establecimiento deberán tomar las medidas específicas necesarias para el cumplimiento de la presente Ley y sus reglamentaciones. (Ley 9, 1979, pág. 7)

Artículo 14º.- Se prohíbe la descarga de residuos líquidos en las calles, calzadas, canales o sistemas de alcantarillado de aguas lluvias.

Artículo 15º.- Una vez construidos los sistemas de tratamiento de agua, la persona interesada deberá informar al Ministerio de Salud o a la entidad delegada, con el objeto de comprobar la calidad del afluente. Si al construir un sistema de tratamiento de agua no alcanza los límites prefijados, la persona interesada deberá ejecutar los cambios o adiciones necesarios para cumplir con las exigencias requeridas (Ley 9, 1979).

Ley 9 (1979) indica que el artículo 41º.- El Ministerio de Salud fijará las normas sobre calidad del aire teniendo en cuenta los postulados en la presente Ley y en los artículos 73 a 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Artículo 42º.- El Ministerio de Salud fijará, de acuerdo a lo establecido en el artículo 41, las normas de emisión de sustancias contaminantes, ya sea para fuentes individuales o para un conjunto de fuentes (Ley 9, 1979).

Ley 9 (1979) establece que el artículo 43º. Las normas de emisión de sustancias contaminantes de la atmósfera se refieren a la tasa de descarga permitida de los agentes contaminantes, teniendo en cuenta los factores topográficos, meteorológicos y demás características de la región.

Artículo 44º.- Se prohíbe descargar en el aire contaminante en concentraciones y cantidades superiores a las establecidas en las normas que se establezcan al respecto (Ley 9, 1979).

Artículo 45°.- Cuando las emisiones a la atmósfera de una fuente sobrepasen o puedan sobrepasar los límites establecidos en las normas, se procederá a aplicar los sistemas de tratamiento que le permitan cumplirlos (Ley 9, 1979).

Artículo 46°.- Para el funcionamiento, ampliación o modificación de toda instalación, que por sus características constituya o pueda constituir una fuente de emisión fija, se deberá solicitar la autorización del Ministerio de Salud o la entidad en que éste delegue. Dicha autorización no exime de responsabilidad por los efectos de contaminación producidos con la operación del sistema. (Ley 9, 1979, pág. 17)

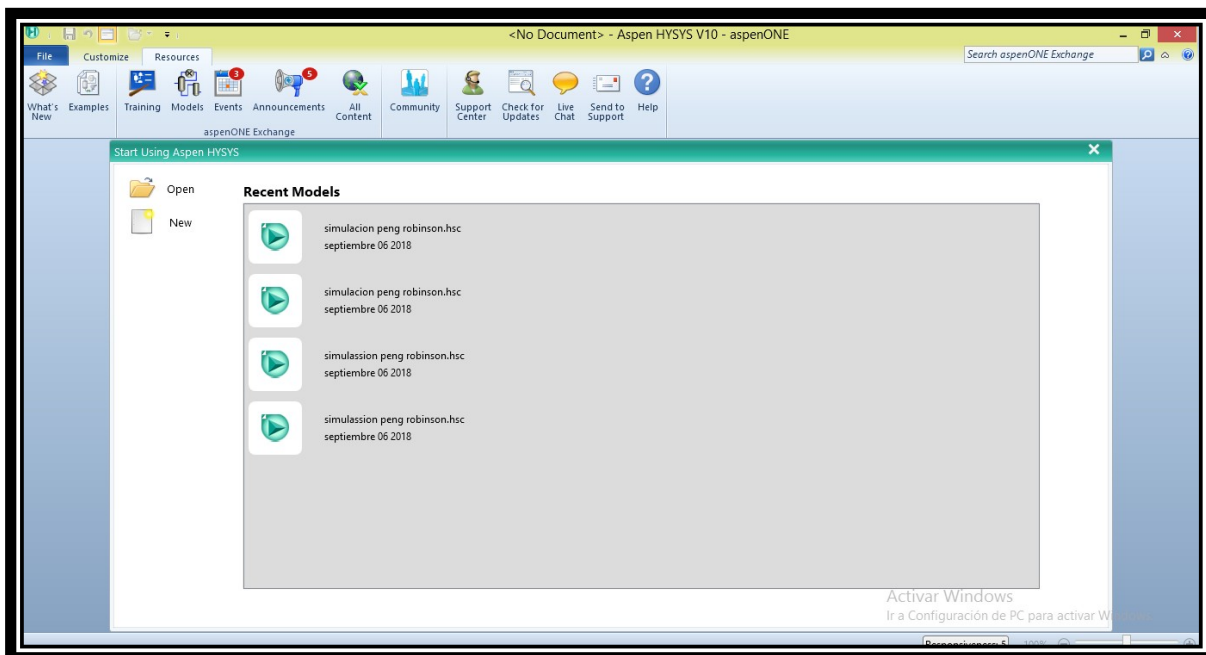
### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Se lleva a cabo la simulación del proceso de transferencia de corriente (agua) entre la bocatoma de aguas de Barrancabermeja ubicada en la ciénaga San Silvestre a 48 metros sobre el nivel del mar y la planta de tratamiento ubicada en el barrio Boston a una altura de 91m sobre el nivel del mar. Con una longitud de tubería de 1837 metros en material acero al carbón

La temperatura promedio del agua en la ciénaga es de 29°C, la presión de salida del agua de la bocatoma es de 65 psi, el molar flow del agua es de 100 kg mole/h y la tubería cuenta con un espesor Schedule 30 a un diámetro nominal de 750mm.

- 3 codos 90° de 30" de diámetro
- 1 válvula de globo de 30" diámetro
- 4 codos 45° de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 98m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 154m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 358m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 294m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 235m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 8m de 30" de diámetro
- 1 segmento de tubería de 8m de 30" de diámetro

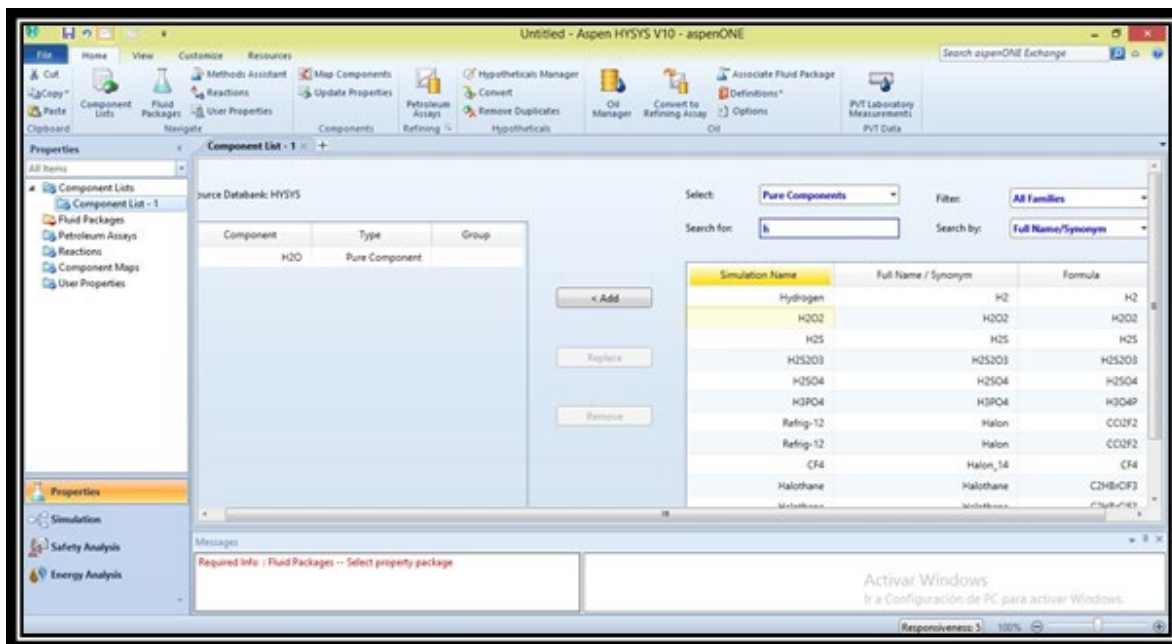
**Figura 14.** Creación de un caso nuevo.



**Fuente:** Autor.

La Figura 14 permite evidenciar la creación de un nuevo caso el cual es realizado seleccionando el botón (New Case) este se encuentra en el extremo izquierdo de la barra estándar.

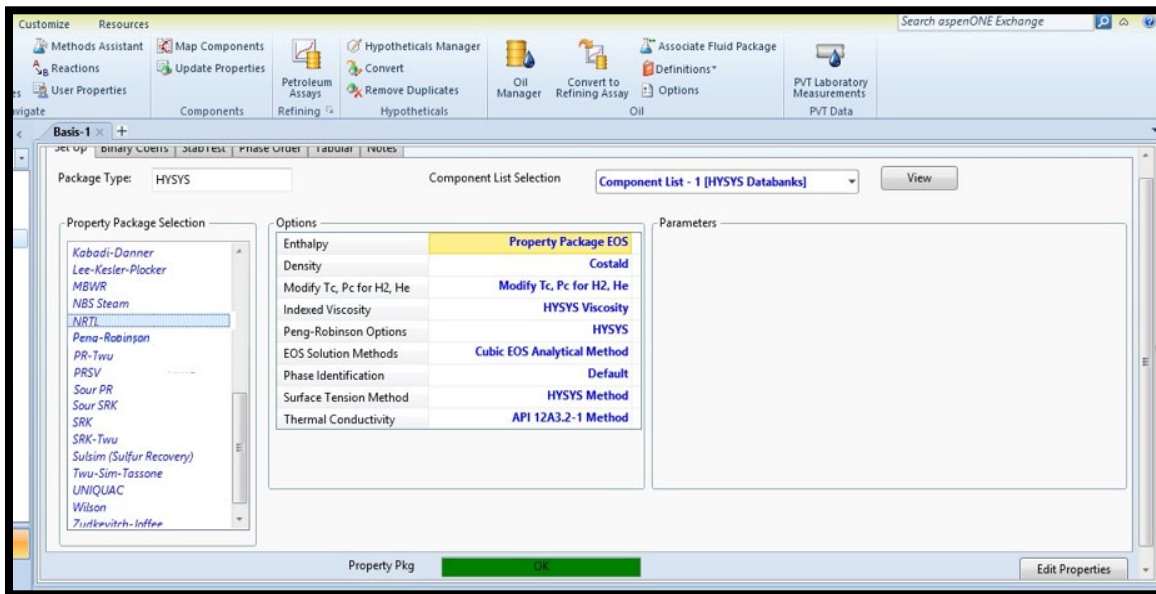
**Figura 15.** Selección los componentes, para la simulación, usaremos H2O (agua).



**Fuente:** Autor.

En la Figura 15 se ilustra la selección de los componentes para la simulación, se dirige al botón (Add component). Se selecciona la opción (Hypothetical) para añadir un componente hipotético al fluido en la ventana desplegada.

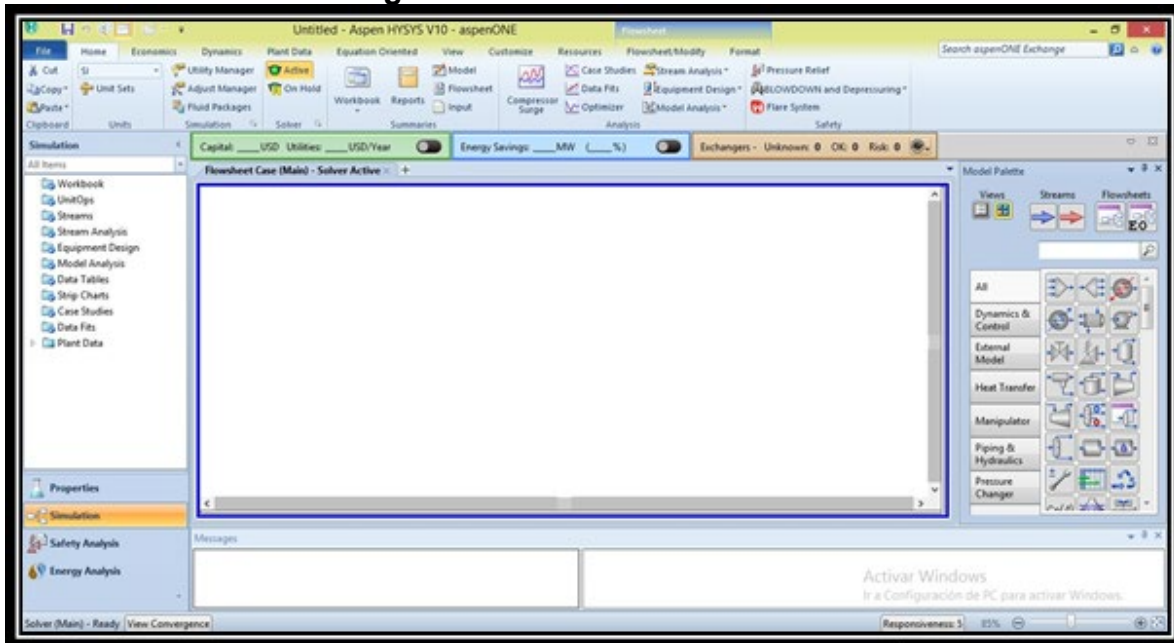
**Figura 16.** Selección del paquete termodinámico - NRTL



**Fuente:** Autor.

Para la selección del paquete termodinámico se selecciona el paquete NRTL ya sea buscándolo directamente en el grupo (Property Package Selección) o haciendo previamente clic sobre el radio botón que permite la selección de solo ecuaciones de estado o (EOS) como se puede observar en la Figura 16.

**Figura 17. Construcción del PFD.**

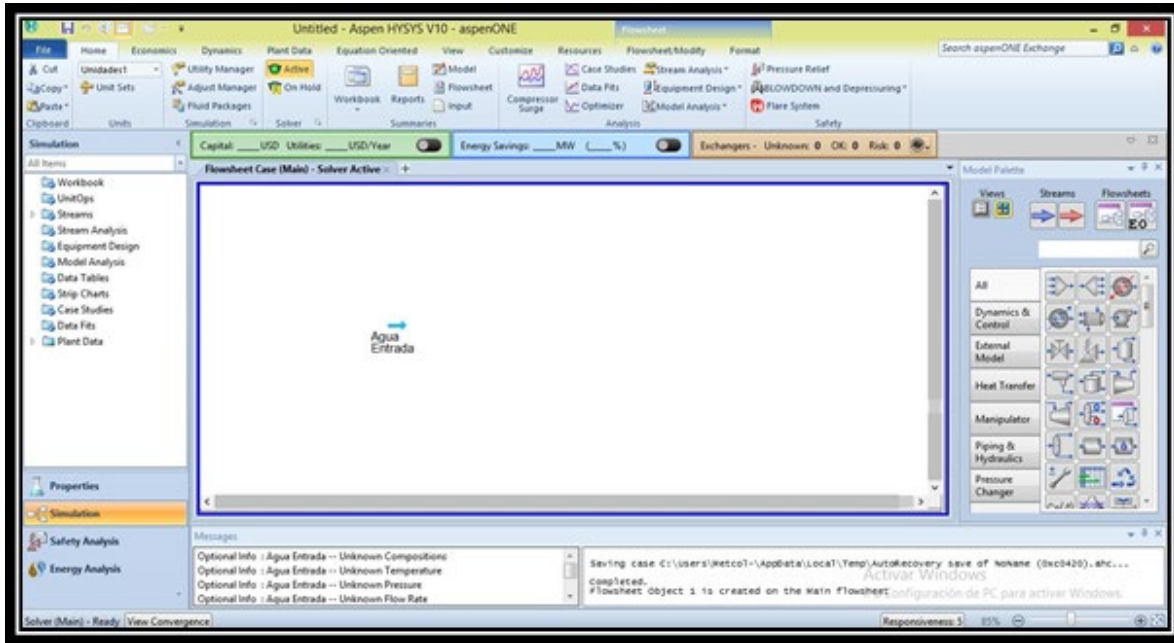


**Fuente:** Autor.

Una vez seleccionado el paquete termodinámico está todo preparado para iniciar la simulación, para ingresar a la ventana de PDF a simular, presione el botón (Enter Simulation Environment) que está ubicada en la parte inferior derecha del administrador básico de simulación. Seguidamente, se lleva a cabo la selección del paquete de unidades para ello se despliega el menú (Tools) y se selecciona la opción (preferences).



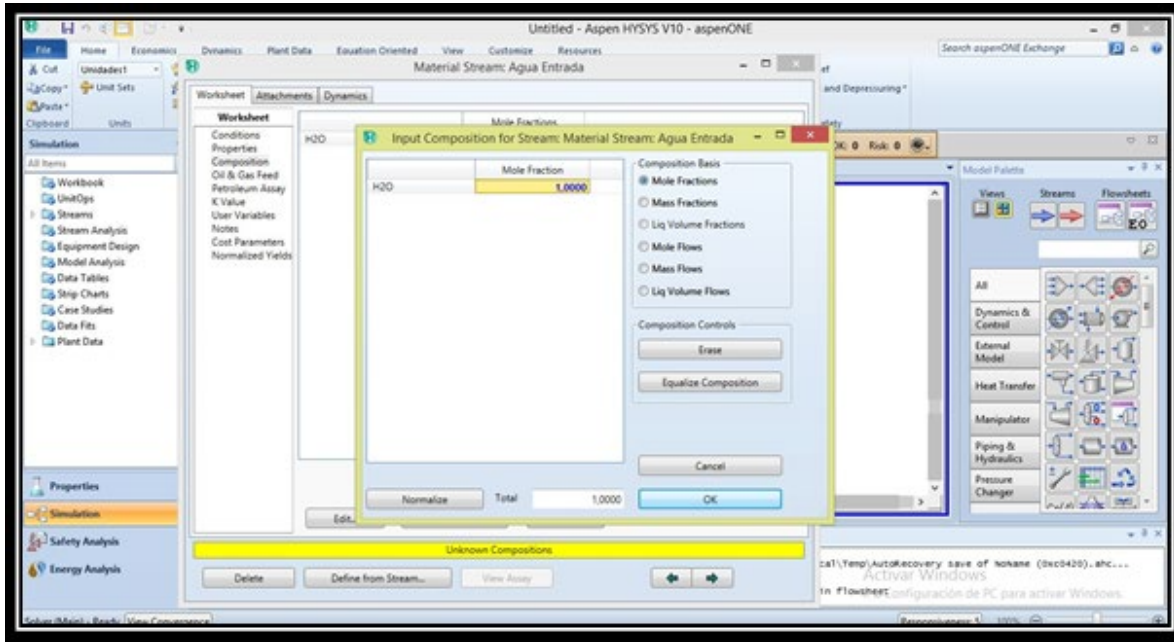
**Figura 18.** Ingresar la corriente de entrada.



**Fuente:** Autor.

La Figura 18 enseña como ingresar una corriente de aire, activando la plantilla para el ingreso de datos denominada (Workbook) en la página (material streams) y se selecciona el botón (new). Aquí, se ingresan los valores conocidos de la corriente de entrada, temperatura y presión.

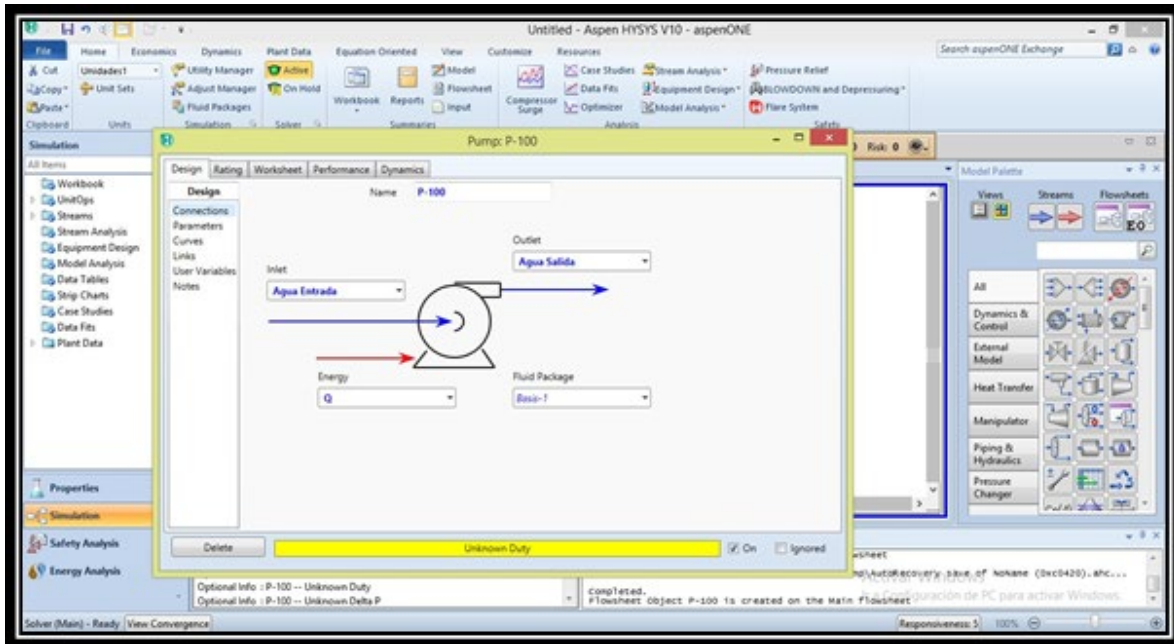
**Figura 19.** Selección de la opción (composition) dentro del worksheet para la modificar la composición del agua a (1).



**Fuente:** Autor.

Con la pestaña worksheet activa permite la modificación de composiciones de distintas formas como presionando la tecla clave (F11) o seleccionando la opción (Add Stream) del menú (Flowsheet). Posteriormente, se efectúa la elección de model palette la pump y anexo a la hoja de trabajo la cual brinda en forma de iconos las diversas operaciones unitarias que se usan en la simulación de casos, presionando la tecla F4 se activa o desactiva.

**Figura 20.** Ingresan las corrientes de entrada, salida y energía de la bomba.



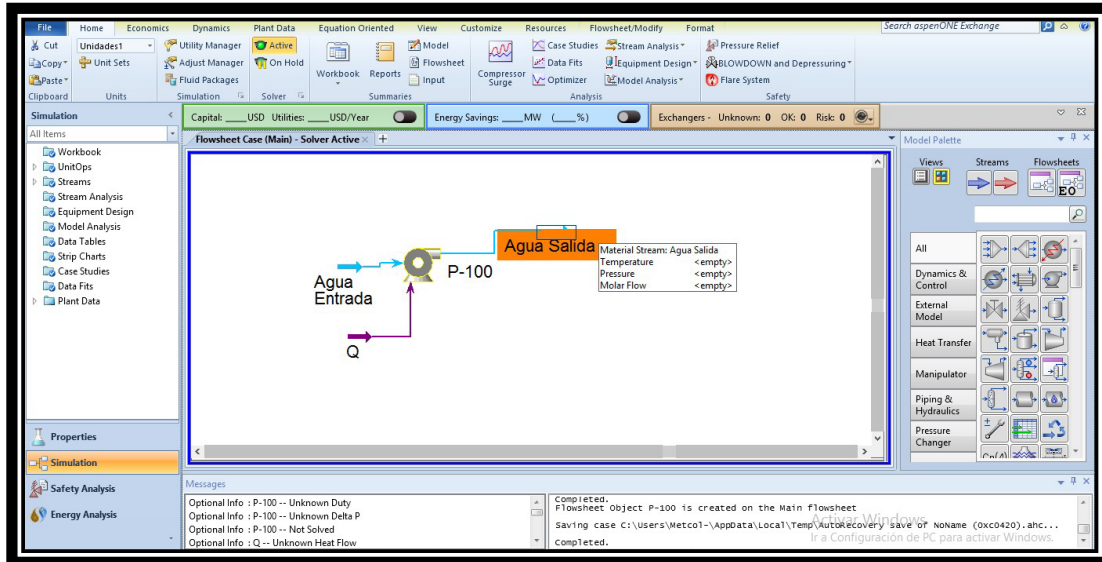
Fuente: Autor.

Para corrientes de salida de  $n$  de la  $T$ , se debe especificar  $N-1$  relaciones de flujo. HYSYS calcula el flujo de la corriente desconocida ratio y los caudales de salida.

$$\sum_{i=1}^N r_i = 1.0 \quad r_i = \frac{f_i}{F}$$

- $r_i$ : relación de la corriente  $i$ -ésimo del flujo
- $f_i$ : flujo de salida de la corriente  $i$ -ésimo
- $F$ : caudal de alimentación

**Figura 21.** Corrientes de entrada y salida de la bomba (pump) e ingreso de los valores faltantes de las corrientes.



**Fuente:** Autor.

**Figura 22.** Ingreso de datos que concen la corriente de salida, que sería presión y molar flow

Stream Name	Agua Salida	Aqueous Phase
Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000
Temperature (K)	29.04	29.04
Pressure (psig)	65.00	65.00
Composition	100.0	100.0
Oil & Gas Feed		
Petroleum Assay		
K Value		
User Variables		
Notes		
Cost Parameters		
Normalized Yields		
Molar Flow (kgmole/h)	3.802	1.802
Std Ideal Liq Vol Flow (m <sup>3</sup> /h)	1.805	1.805
Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	-2.859e+005	-2.859e+005
Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	54.74	54.74
Heat Flow (kJ/h)	-2.859e+007	-2.859e+007
Liq Vol Flow @Std Cond (m <sup>3</sup> /h)	1.775	1.775
Fluid Package	Basic-7	-2.859e+007 kJ/h
Utility Type		-6.033e+006 kcal/h
		-2.710e+007 Btu/h
		Calculated by: Agua Salida

**Fuente:** Autor

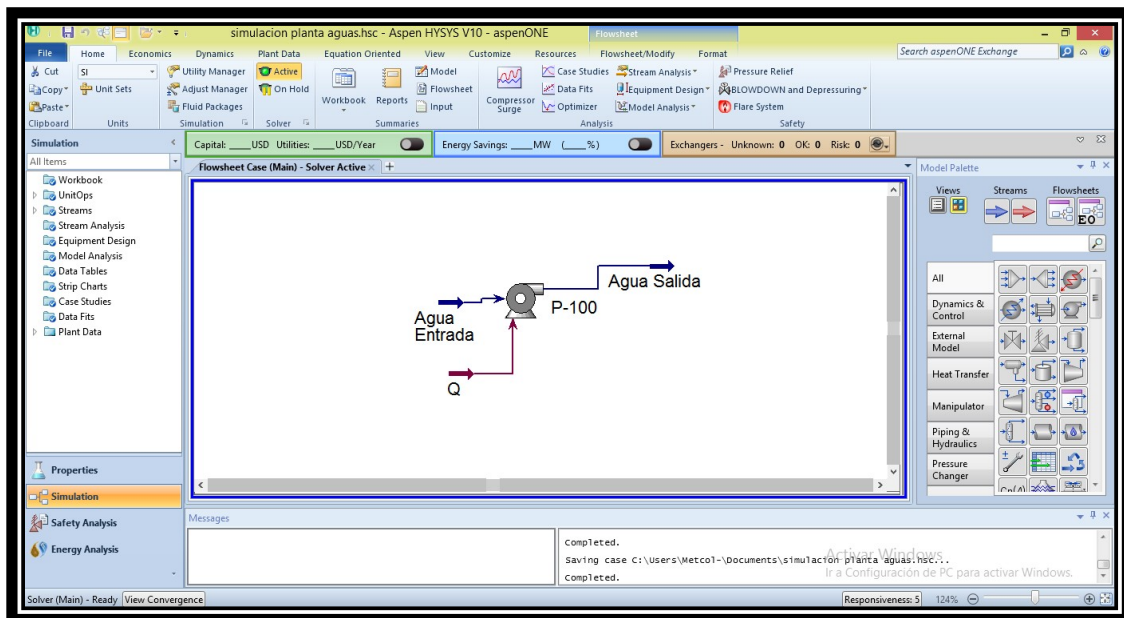
ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

Se selecciona la pestaña (connections) y presiona el botón (add export), en el cuadro (object) selecciona la corriente y en el cuadro (variable) haga clic en la pestaña (molar flow), aquí se lleva a cabo el registro de los parámetros de presión y flujo molar.

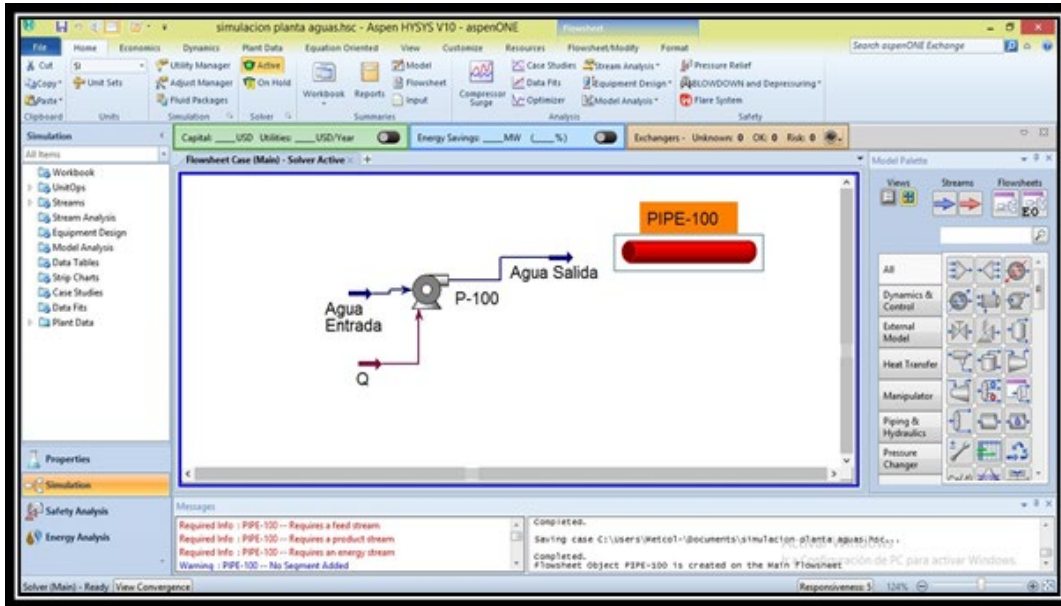
**Figura 23.** Ya se ingresaron todos los valores faltantes de las corrientes, proseguir con la tubería.



**Fuente:** Autor.

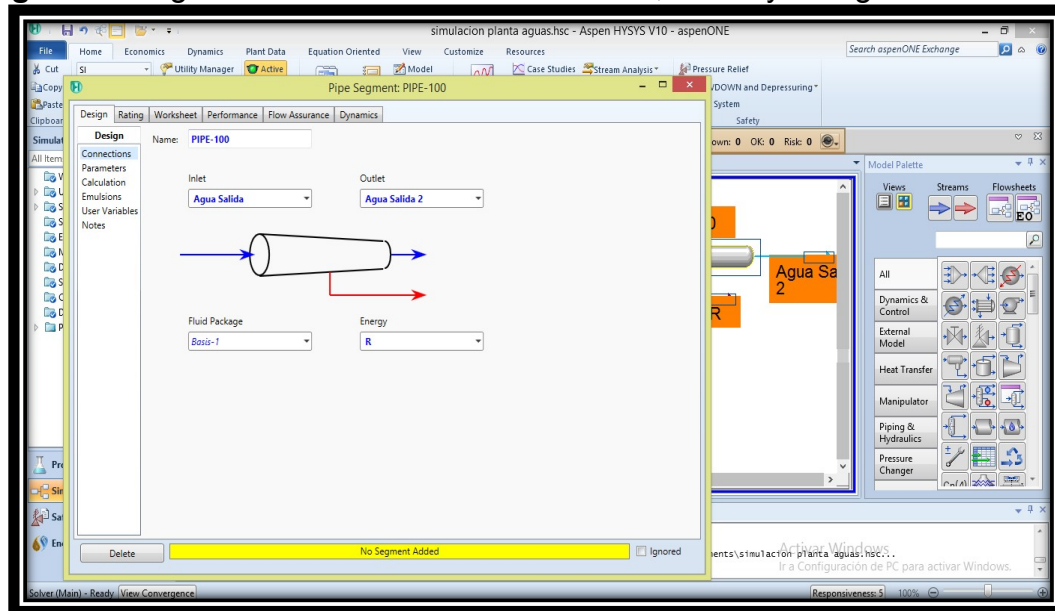
La Figura 23 permite guiar paso a paso el momento en que se da inicio a utilización de la tubería teniendo en cuenta las corrientes.

**Figura 24.** Selección de model palette la pipe y anexo la hoja de trabajo.



Fuente: Autor

**Figura 25.** Ingreso de las corrientes de entrada, salida y energía de la tubería.



Fuente: Autor.

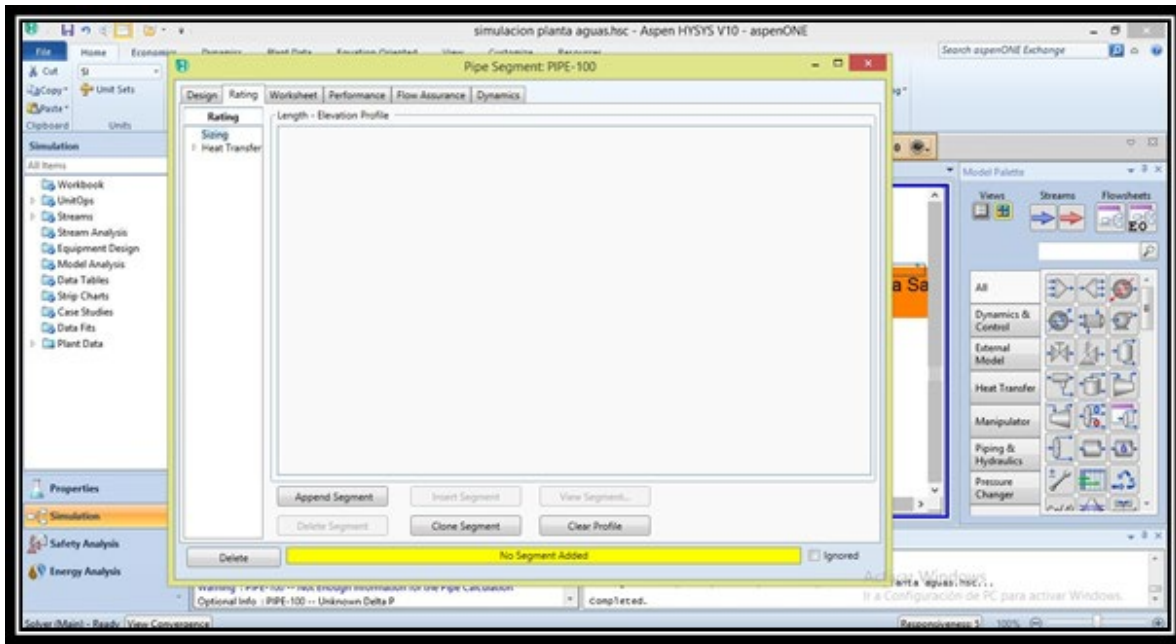
ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

Hay dos clases de corriente, energía y material. Las corrientes de energía solo tienen un parámetro, y las corrientes de material tienen una composición y parámetros tales como la temperatura, presión y flujos.

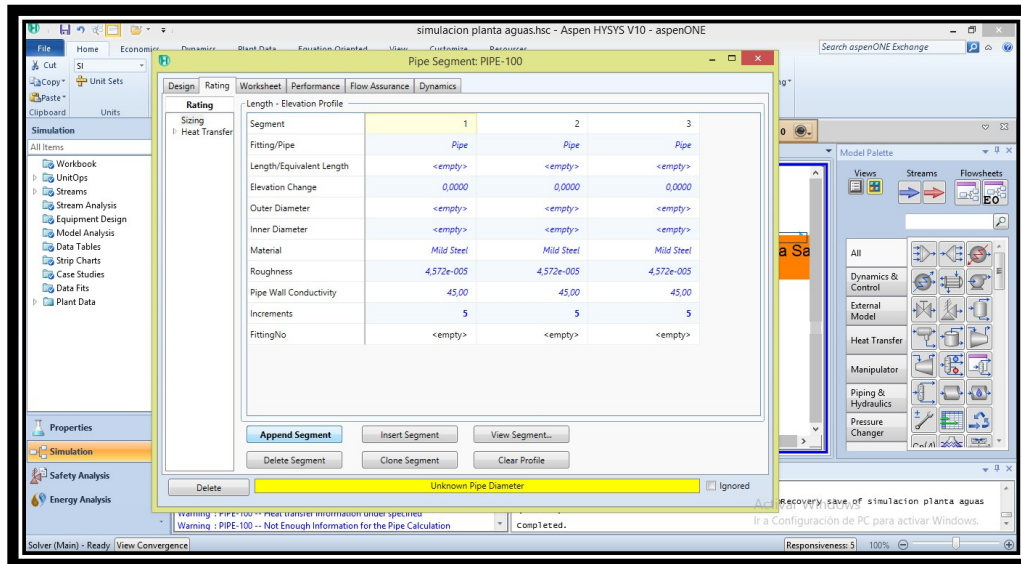
**Figura 26.** Ir a la ventana Rating y añadir append segment para cada uno de los tramos y accesorios de la tubería.



Fuente: Autor.

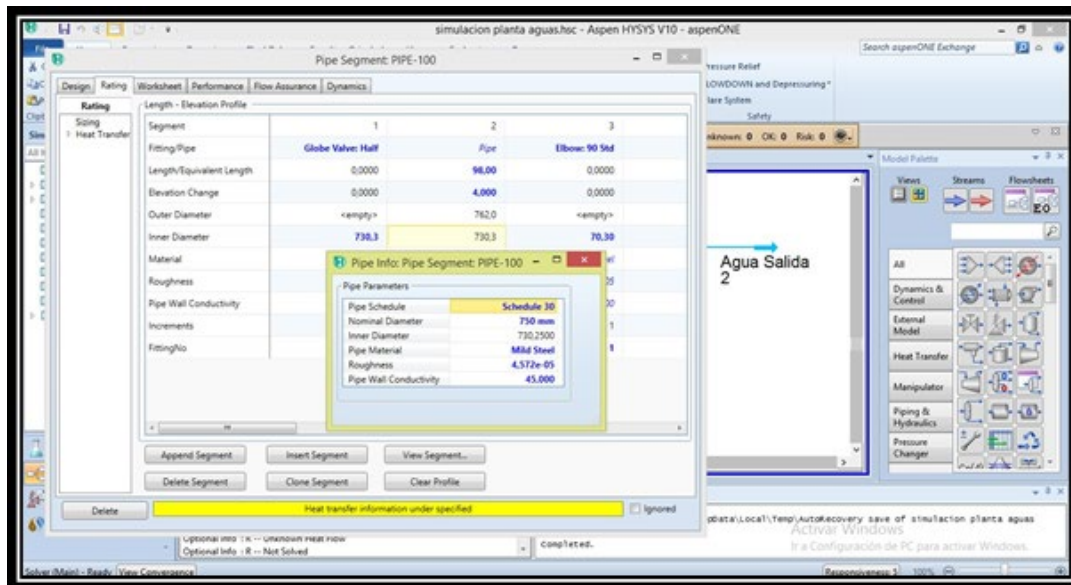
Haciendo clic en la pestaña (rating) observar la ventana que le permitirá usar algunos aspectos geométricos de la figura seleccionada, podrá ver que el grupo (geometry) elige la forma de la figura.

**Figura 27.** Añadir en cada segmento el tramo o accesorio con sus dimensiones, materia, elevación.



Fuente: Autor.

**Figura 28.** Añadir los parámetros de los accesorios o tubería, Schedule, nominal diameter.



Fuente: Autor.

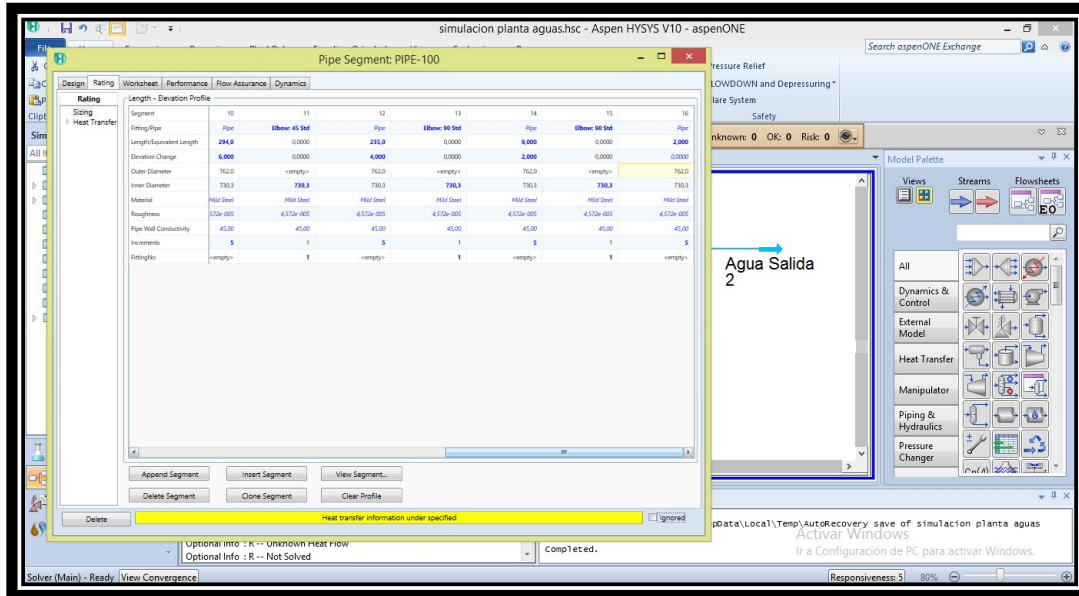
ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

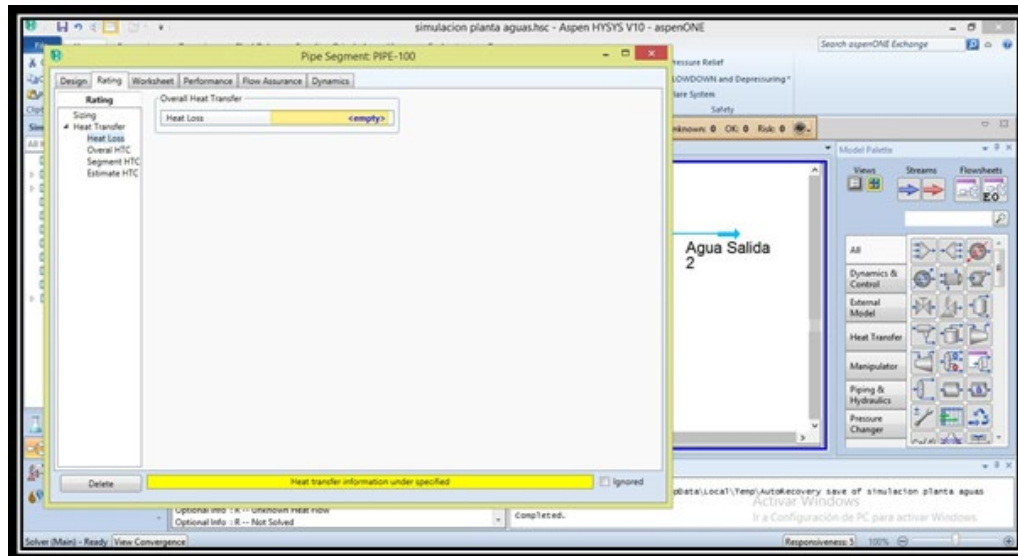


**Figura 29.** Se han añadido los (16) segmentos que comprenden la tubería con sus respectivas propiedades y dimensiones.



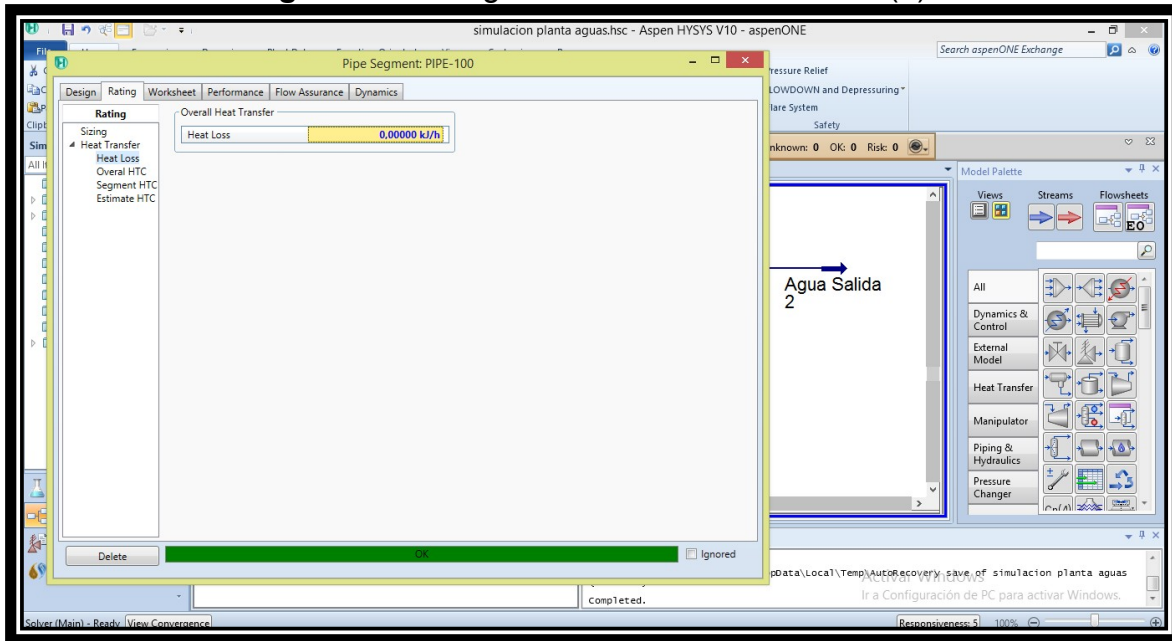
Fuente: Autor.

**Figura 30.** Selección de la pestaña Heat Loss dentro de la herramienta Rating he ingreso de datos de temperatura.



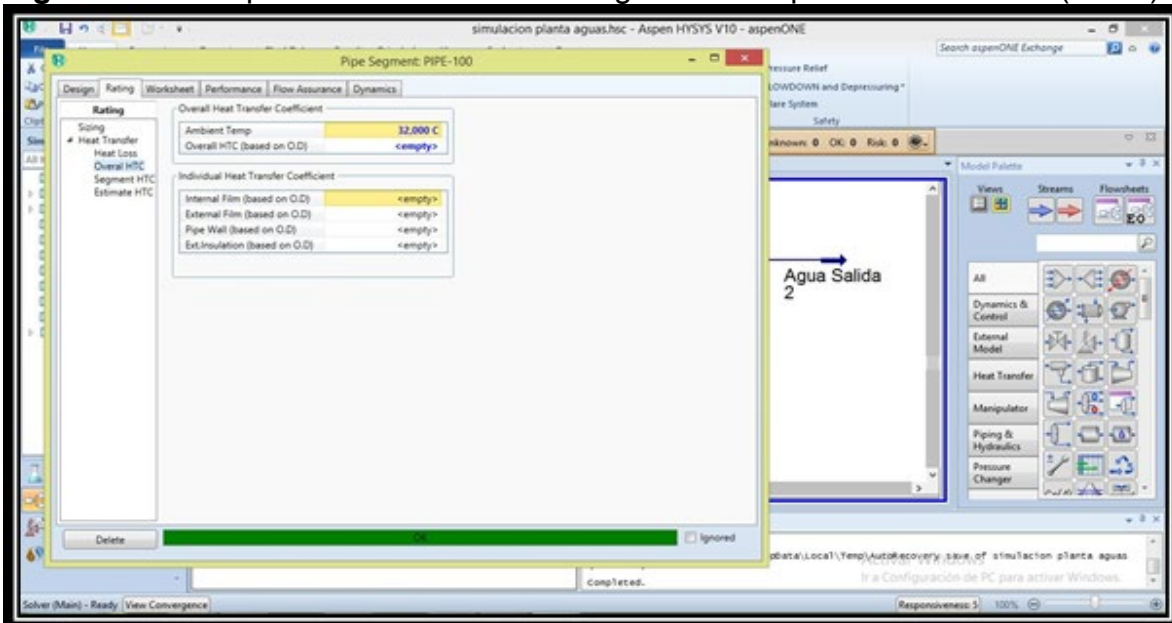
Fuente: Autor.

**Figura 31.** Se ingresan los valores heat loss (0).



Fuente: Autor.

**Figura 32.** En la pestaña Overall HTC se ingresa la temperatura ambiente (32 °C).



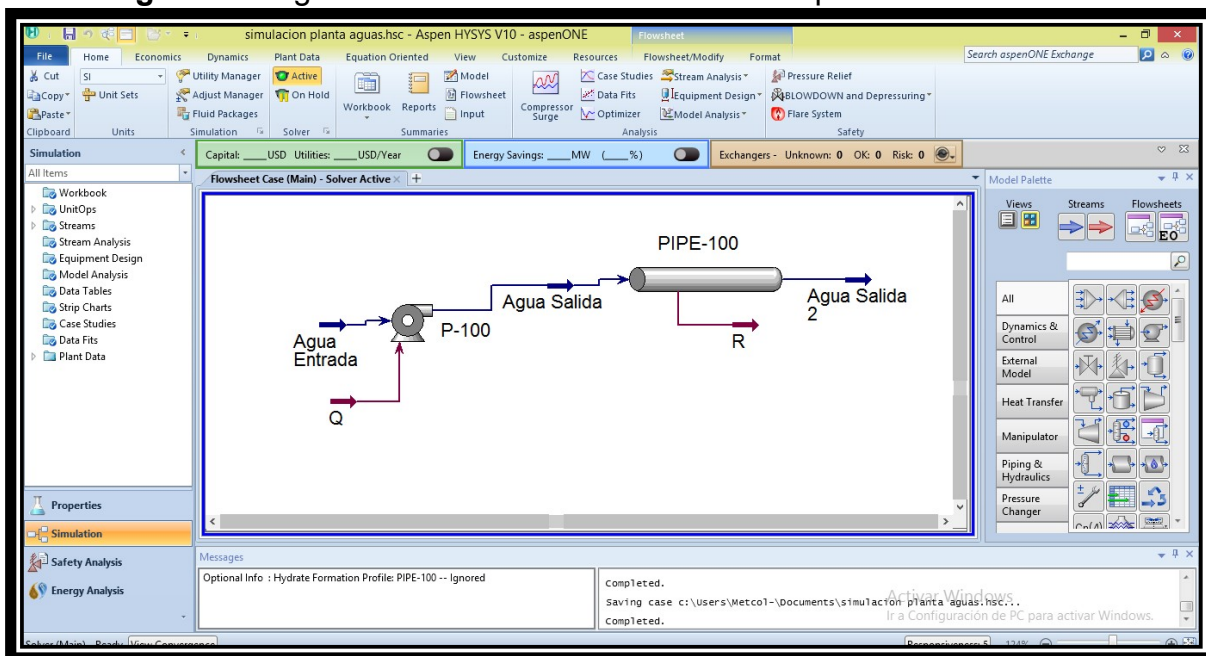
Fuente: Autor.

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

**Figura 33.** Ingreso de todos los datos necesarios para la simulación.




**Fuente:** Autor.

La Figura 33, representa el circuito final de la planta de tratamiento de aguas de Barrancabermeja. La simulación en el Software ASPEN HYSYS da cabida a la ilustración de las líneas de agua de entrada, salida y quipos elementales para el accionamiento del sistema. Asimismo, se registran las variables nominales de funcionamiento las cuales son especificadas de la Tabla 1 a la 4.

### 4. RESULTADOS

Teniendo en cuenta los anexos 3, 4, 5 y 6 se establece a continuación un resumen de los resultados derivados del software ASPEN HYSYS los cuales se basan en las variables de agua de salida. Se establecen las condiciones y propiedades del circuito final de la planta de tratamiento de aguas de Barrancabermeja, teniendo en cuenta la representación nominal de los datos de cada una de las líneas de agua de entrada, y salida del sistema.

**Tabla 1. Resultados agua de salida**

1	 Company Name Not Available Bedford, MA USA		Case Name:	simulación planta aguas.hsc	
2			Unit Set:	Unidades1	
3			Date/Time:	Fri Sep 07 10:15:35 2018	
4					
5	<b>Material Stream: Agua Salida</b>			Fluid Package:	Basis 1
6				Property Package:	Peng Robinson
7	<b>CONDITIONS</b>				
8		Overall	Aqueous Phase		
9	Vapour / Phase Fraction	0.0000	1.0000		
10	Temperature: (C)	29.04	29.04		
11	Pressure: (psig)	65.00 *	65.00		
12	Molar Flow (kgmole/h)	100.0 *	100.0		
13	Mass Flow (kg/h)	1802	1802		
14	Std Ideal Liq Vol Flow (m3/h)	1.805	1.805		
15	Molar Enthalpy (kJ/kgmole)	2.859e+005	2.859e+005		
16	Molar Entropy (kJ/kgmole C)	54.74	54.74		
17	Heat Flow (kJ/h)	2.859e+007	2.859e+007		
18	Liq Vol Flow @Std Cond (m3/h)	1.775 *	1.775		
19	<b>PROPERTIES</b>				
20		Overall	Aqueous Phase		
21	Molecular Weight	18.02	18.02		
22	Molar Density (kgmole/m3)	55.75	55.75		
23	Mass Density (kg/m3)	1004	1004		
24	Act. Volume Flow (m3/h)	1.794	1.794		
25	Mass Enthalpy (kJ/kg)	1.587e+004	1.587e+004		
26	Mass Entropy (kJ/kg C)	3.039	3.039		
27	Heat Capacity (kJ/kgmole C)	77.70	77.70		

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

32	Mass Heat Capacity (kJ/kg C)	4.313	4.313		
33	LHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	0.0000	0.0000		
34	HHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	4.101e+004	4.101e+004		
35	HHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	2276	2276		
36	C02 Loading				
37	C02 App ML Con (kgmole/m3)				
38	C02 App WT Con (kgmol/kg)				
39	LHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	0.0000	0.0000		
40	Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.000		
41	Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.000		
42	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.000		
43	Mass Exergy (kJ/kg)	0.6448			
44	Partial Pressure of C02 (psig)	14.70			
45	Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000		
46	Act. Gas Flow (ACT_m3/h)				
47	Avg. Liq. Density (kgmole/m3)	55.40	55.40		
48	Specific Heat (kJ/kgmole C)	77.70	77.70		
49	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	2364	2364		
50	Std. Ideal Liq. Mass Density (kg/m3)	998.0	998.0		
51	Act. Liq. Flow (m3/s)	4.982e 004	4.982e 004		
52	Z Factor	3.923e 003	3.923e 003		
53	Watson K				
54	User Property				
55	Partial Pressure of H2S (psig)	14.70			
56	Cp/(Cp R)	1.120	1.120		
57	Cp/Cv	1.149	1.149		
58	Ideal Gas Cp/Cv	1.329	1.329		
59	Ideal Gas Cp (kJ/kgmole C)	33.60	33.60		
60	Mass Ideal Gas Cp (kJ/kg C)	1.865	1.865		
61	Heat of Vap. (kJ/kgmole)	3.818e+004			
62	Kinematic Viscosity (cSt)	0.8103	0.8103		
63	Liq. Mass Density (Std. Cond) (kg/m3)	1015	1015		
64	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (m3/h)	1.775	1.775		
65	Liquid Fraction	1.000	1.000		
66	Molar Volume (m3/kgmole)	1.794e 002	1.794e 002		
67	Mass Heat of Vap. (kJ/kg)	2119			
68	Phase Fraction [Molar Basis]	0.0000	1.0000		
69	Aspen Technology Inc	Aspen Hysys versión 10			

**Fuente:** Resultados derivados del software ASPEN HYSYS.

La presión de agua de entrada es de 3,52 psig con una salida de 65 psig y una temperatura de 24 ° C. Por lo tanto, las pérdidas de carga producidas en la tubería debido a la fricción del fluido entre sí con la tubería, se calculan a partir del

diferencial de la  $P_{entrada} - P_{salida}$  por lo que la pérdida sufrida es de  $3,52 \text{ psig} - 65 \text{ psig} = 61,48 \text{ psig}$ . Las pérdidas de presión generadas en la tubería son tenidas en cuenta para el cálculo y montaje del sistema de bombeo dependiendo de las pérdidas generadas. De esa manera se establece un porcentaje de servicio para la selección de dicho equipo. Por otra parte, se evidencian factores de masa, flujo molar, gases ideales y demás fases características del comportamiento del sistema.

## 5. CONCLUSIONES

El presente proyecto de grado permite desarrollar la simulación de pérdidas por carga en tuberías comprendidas entre la bocatoma y la planta de tratamiento, con el fin de evaluar la confiabilidad del software en cuanto a la derivación de variables que permitan el análisis de las condiciones funcionales de las redes de distribución de agua debido a que resulta costoso y en muchos de los casos, el recurso económico que se aplica no es para mejorar el sistema si no para mantenerlo en funcionamiento no óptimas.

Mediante este proyecto se busca evaluar el desempeño actual de la tubería por medio de sus valores operativos y variables que pueden afectar la misma. Por este motivo se implementó el software capaz de simular procesos químicos utilizados para modelar matemáticamente, desde operaciones unitarias sin alterar las funciones que se ejecuten. Aspen HYSYS permite estudiar las interacciones que existen entre las variables del proceso.

Cabe mencionar que, en las empresas de agua, existen una gran variedad de elementos que lleven una recopilación de datos con respecto a la estructura de las tuberías, que va desde los datos más elementales inherentes de la tubería Tales como diámetro, longitud tipo de materiales, entre otros. Se busca evaluar el desempeño de la simulación con otras variables de carga. Para así verificar la efectividad y explotar al máximo el comportamiento del sistema teniendo en cuenta la fiabilidad y eficiencia del mismo.

## 6. RECOMENDACIONES

Este proyecto muestra que la Empresa de aguas de Barrancabermeja debe centrar sus esfuerzos en lograr una mejora sustancial en términos de la efectividad en la operación y el mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua potable. Mediante el desarrollo de proyecto se evalúan de las herramientas computacionales, y estrategias de análisis de los procesos industriales que han evolucionado drásticamente en las últimas décadas, dado que es posible representar un proceso físico complejo, mediante otros más simples, al comprender los modelos matemáticos que los rigen.

La elaboración de la simulación del proceso llevado a cabo en las tuberías de la planta de tratamiento de aguas de Barrancabermeja genera una serie de aspectos positivos caracterizados por el surgimiento de más elementos de juicio orientados a la toma de medidas sobre el proceso. Asimismo, el software accede al estudio de parámetros que intervienen en el comportamiento de la planta.

Las pérdidas en el sistema son menores, sin embargo, es importante intervenir los puntos con posibles daños, que afecten el buen funcionamiento con un mantenimiento preventivo el cual sirve para minimizar al máximo las pérdidas de agua en el sistema, que además de producir desperdicio de líquido, pueden ocasionar desgaste en el terreno y debilitar o dañar las losas de pavimento rígido.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

Decreto 1575, 2. (2007). Legislación sobre la calidad de agua. Colombia: Legislación de Colombia.

Khellaf, S. (2016). Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos HYSYS . Sevilla: Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática.

Khellaf, S., & Marruedo, D. L. (2016). Modelado y simulación de una planta de cogeneración mediante el simulador de procesos hysys. Sevilla : escuela Técnica Superior de ingeniería Universidad de Sevilla.

Ley 9, 1. (1979). De la protección del medio ambiente. Colombia: Congreso de Colombia.

Mejía, J. A. (2016). Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con MEA. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar .

Mejía, J. A. (2016). Simulación en hysys y predimensionamiento de los equipos mayores en una planta endulzadora de gas con MEA. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar .

Rodríguez, H. E., & Hernández, L. J. (2012). Evaluación hidráulica de un sistema de riego por compuertas en la hacienda el Once corregimiento de Palmaseca. Cali: Universidad del Valle.

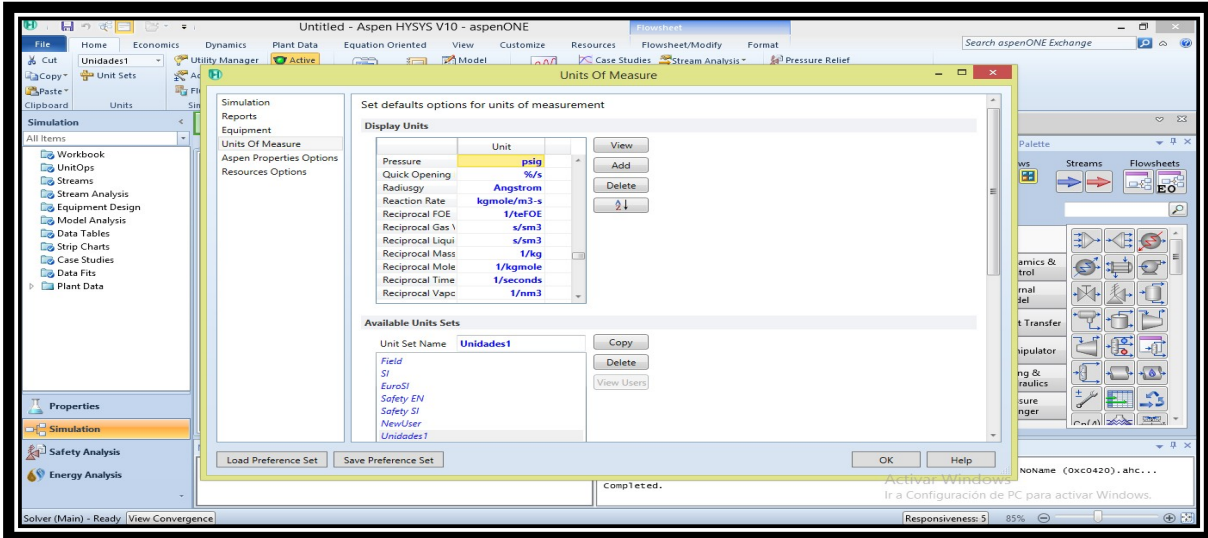
Sanchez, C. J., & Herrera, R. M. (2012). Rediseño del sistema de acueducto comunitario del barrio San Miguel (ACOSMI) del municipio de rio de oro, Cesar. Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Suárez, O. G. (2009). Simulación del proceso tecnológico de obtención de etanol a partir de bagazo de caña utilizando el software Hysys. Cuba: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

Trillos, O. M., & Amaya, R. R. (2015). Simulación de Sistemas de Control en Procesos del Sector Oil & Gas a Traves del Software Aspen Hysys y Conexión a Rockwell Automation con el Estandar de Comunicación Opc. Colombia: Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.

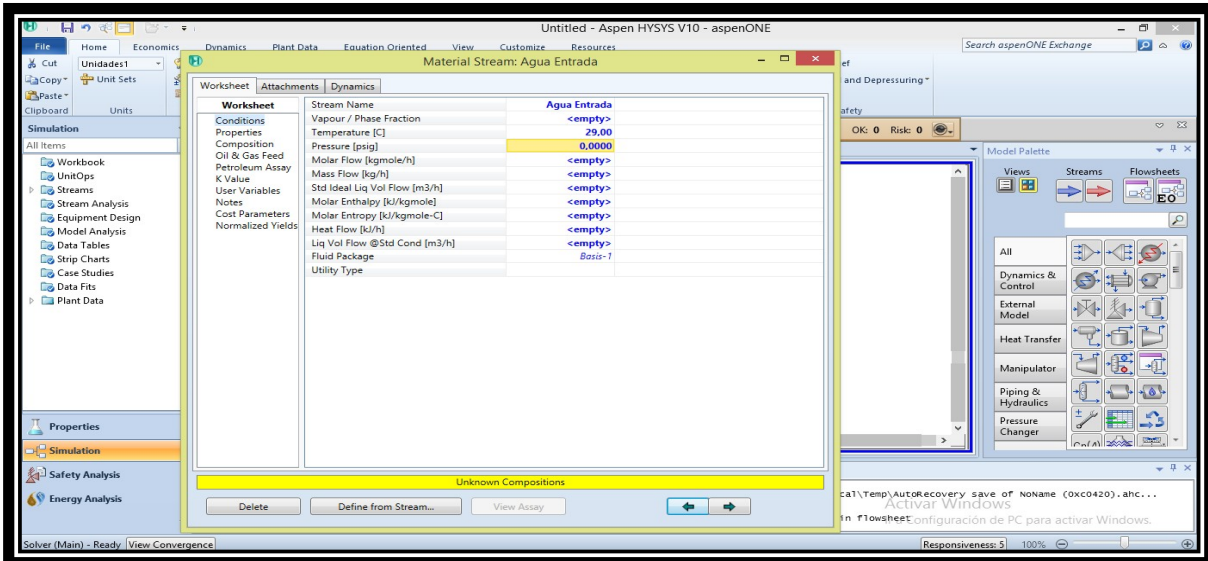
## ANEXOS

### Anexo 1. Selección de paquete de unidades



Fuente: Autor.

### Anexo 2. Se ingresan los valores conocidos de la corriente de entrada, temperatura y presión.



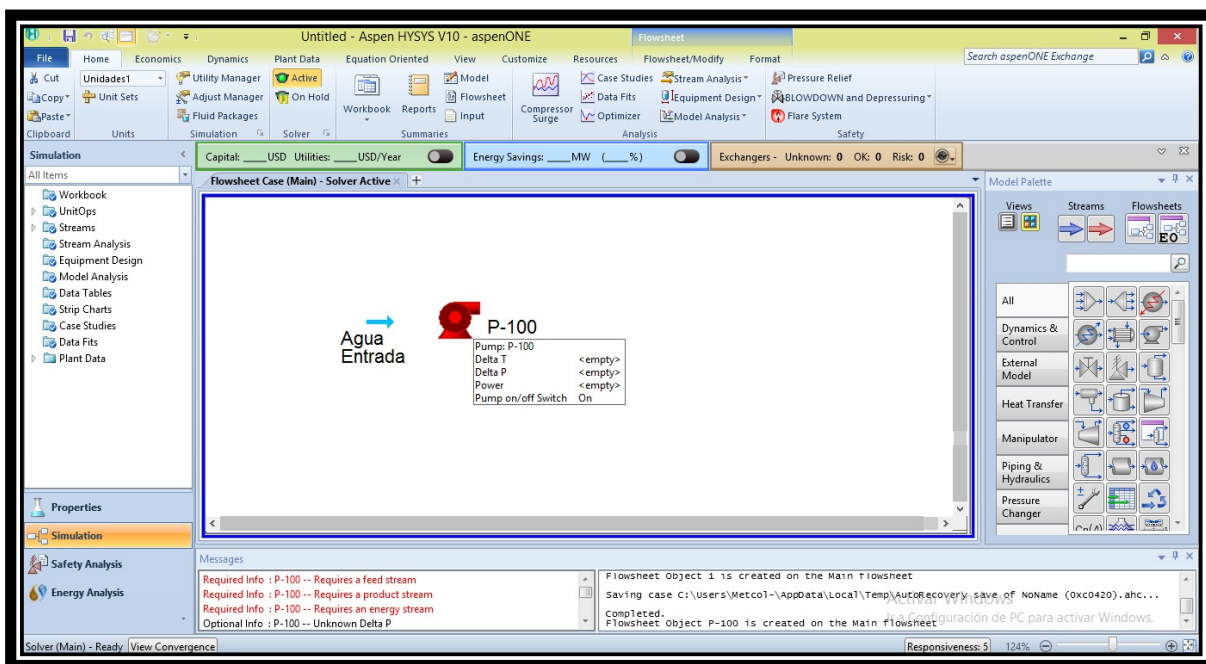
Fuente: Autor.

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

### Anexo 3. Selección de modelo palette la pump y anexo a la hoja de trabajo.



Fuente: Autor.

### Anexo 4. Resultado agua de salida

1			Case Name:	simulación planta aguas.hsc
2	Company		Unit Set:	Unidades1
4	Name Not Available Bedford, MA		Date/Time:	Fri Sep 07 10:15:35 2018
6	<b>Material Stream: Agua Salida (continued)</b>		Fluid Package:	Basis 1
7			Property Package:	Peng Robinson
9	<b>PROPERTIES</b>			
11		<b>Overall</b>	<b>Aqueous Phase</b>	
12	Surface Tension (dyne/cm)	71.40	71.40	
13	Thermal Conductivity (W/m K)	0.6169	0.6169	
14	Bubble Point Pressure (psig)	14.12		
15	Viscosity (cP)	0.8139	0.8139	
16	Cv (Semi Ideal) (kJ/kgmole C)	69.38	69.38	
17	Mass Cv (Semi Ideal) (kJ/kg C)	3.851	3.851	
18	Cv (kJ/kgmole C)	67.59	67.59	
19	Mass Cv (kJ/kg C)	3.752	3.752	
20	Cv (Ent. Method) (kJ/kgmole C)			
21	Mass Cv (Ent. Method) (kJ/kg C)			
22	Cp/Cv (Ent. Method)			
23	Reid VP at 37.8 C (psig)			

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones


REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

24	True VP at 37.8 C (psig)					
25	Liq. Vol. Flow Sum(Std. Cond) (m3/h)		1.775	1.775		
26	Viscosity Index		0.1975			
27	<b>COMPOSITION</b>					
29	<b>Overall Phase</b>				Vapour Fraction	0.0000
31	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)
33	H2O	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
34	Total	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
35	<b>Aqueous Phase</b>				Phase Fraction	1.000
37	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)
39	H2O	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
40	Total	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
41	<b>K VALUE</b>					
43	COMPONENTS		MIXED	LIGHT	HEAVY	
44	H2O		0.0000		0.0000	
45	<b>UNIT OPERATIONS</b>					
47	FEED TO		PRODUCT FROM		LOGICAL CONNECTION	
48	Pipe Segment: PIPE 100		Pump: P 100			
49	Pressure Specification (Active): 65.00 psig *					
50	Flow Specification (Active)		Molar: 100.0 kgmole/h	Mass: 1802 kg/h	Std Ideal Liq Volume: 1.805 m3/h	
51	<b>User Variables</b>					

Fuente: Resultados derivados del software ASPEN HYSYS.

### Anexo 5. Resultados agua de salida 2

1			Case Name:	simulación planta aguas.hsc	
2	Company Name Not		Unit Set:	Unidades1	
4	Available 	Bedford, MA USA	Date/Time:	Fri Sep 07 10:15:35 2018	
6	<b>Material Stream: Agua Salida 2</b>			Fluid Package:	Basis 1
8				Property Package:	Peng Robinson
9	<b>CONDITIONS</b>				
11		Overall	Aqueous Phase		
12	Vapour / Phase Fraction		0.0000	1.0000	
13	Temperature:	(C)	29.03	29.03	
14	Pressure:	(psig)	3.572	3.572	
15	Molar Flow	(kgmole/h)	100.0	100.0	
16	Mass Flow	(kg/h)	1802	1802	
17	Std Ideal Liq Vol Flow	(m3/h)	1.805	1.805	
18	Molar Enthalpy	(kJ/kgmole)	2.859e+005	2.859e+005	
19	Molar Entropy	(kJ/kgmole C)	54.75	54.75	
20	Heat Flow	(kJ/h)	2.859e+007	2.859e+007	
21	Liq Vol Flow @Std Cond	(m3/h)	1.775 *	1.775	

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

PROPERTIES					
		Overall	Aqueous Phase		
25	Molecular Weight	18.02	18.02		
26	Molar Density (kgmole/m3)	55.75	55.75		
27	Mass Density (kg/m3)	1004	1004		
28	Act. Volume Flow (m3/h)	1.794	1.794		
29	Mass Enthalpy (kJ/kg)	1.587e+004	1.587e+004		
30	Mass Entropy (kJ/kg C)	3.039	3.039		
31	Heat Capacity (kJ/kgmole C)	77.71	77.71		
32	Mass Heat Capacity (kJ/kg C)	4.313	4.313		
33	LHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	0.0000	0.0000		
34	HHV Molar Basis (Std) (kJ/kgmole)	4.101e+004	4.101e+004		
35	HHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	2276	2276		
36	C02 Loading				
37	C02 App ML Con (kgmole/m3)				
38	C02 App WT Con (kgmol/kg)				
39	LHV Mass Basis (Std) (kJ/kg)	0.0000	0.0000		
40	Phase Fraction [Vol. Basis]	0.0000	1.000		
41	Phase Fraction [Mass Basis]	0.0000	1.000		
42	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	0.0000	1.000		
43	Mass Exergy (kJ/kg)	0.1465			
44	Partial Pressure of C02 (psig)	14.70			
45	Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000		
46	Act. Gas Flow (ACT_m3/h)				
47	Avg. Liq. Density (kgmole/m3)	55.40	55.40		
48	Specific Heat (kJ/kgmole C)	77.71	77.71		
49	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	2364	2364		
50	Std. Ideal Liq. Mass Density (kg/m3)	998.0	998.0		
51	Act. Liq. Flow (m3/s)	4.983e 004	4.983e 004		
52	Z Factor	8.992e 004	8.992e 004		
53	Watson K				
54	User Property				
55	Partial Pressure of H2S (psig)	14.70			
56	Cp/(Cp R)	1.120	1.120		
57	Cp/Cv	1.150	1.150		
58	Ideal Gas Cp/Cv	1.329	1.329		
59	Ideal Gas Cp (kJ/kgmole C)	33.60	33.60		
60	Mass Ideal Gas Cp (kJ/kg C)	1.865	1.865		
61	Heat of Vap. (kJ/kgmole)	4.071e+004			
62	Kinematic Viscosity (cSt)	0.8105	0.8105		
63	Liq. Mass Density (Std. Cond) (kg/m3)	1015	1015		
64	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (m3/h)	1.775	1.775		
65	Liquid Fraction	1.000	1.000		
66	Molar Volume (m3/kgmole)	1.794e 002	1.794e 002		
67	Mass Heat of Vap. (kJ/kg)	2260			


Fuente: Resultados derivados del software ASPEN HYSYS.

ELABORADO POR:  
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:  
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación  
FECHA APROBACION:

### Anexo 6. Resultados agua de salida 2

1			Case Name: simulación planta aguas.hsc			
2	Company Name Not Available		Unit Set: Unidades1			
4		Bedford, MA USA	Date/Time: Fri Sep 07 10:15:35 2018			
6			Fluid Package: Basis 1			
7	<b>Material Stream: Agua Salida 2 (continued)</b>					
8			Property Package: Peng Robinson			
9	<b>PROPERTIES</b>					
11			Overall	Aqueous Phase		
12	Surface Tension	(dyne/cm)	71.40	71.40		
13	Thermal Conductivity	(W/m K)	0.6169	0.6169		
14	Bubble Point Pressure	(psig)	14.12			
15	Viscosity	(cP)	0.8140	0.8140		
16	Cv (Semi Ideal)	(kJ/kgmole C)	69.39	69.39		
17	Mass Cv (Semi Ideal)	(kJ/kg C)	3.852	3.852		
18	Cv	(kJ/kgmole C)	67.60	67.60		
19	Mass Cv	(kJ/kg C)	3.752	3.752		
20	Cv (Ent. Method)	(kJ/kgmole C)				
21	Mass Cv (Ent. Method)	(kJ/kg C)				
22	Cp/Cv (Ent. Method)					
23	Reid VP at 37.8 C	(psig)				
24	True VP at 37.8 C	(psig)				
25	Liq. Vol. Flow Sum(Std. Cond)	(m3/h)	1.775	1.775		
26	Viscosity Index		0.2013			
27	<b>COMPOSITION</b>					
29	<b>Overall Phase</b>					Vapour Fraction 0.0000
31	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)
32						LIQUID VOLUME FRACTION
33	H2O	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
34	Total	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
35	<b>Aqueous Phase</b>					Phase Fraction 1.000
37	COMPONENTS	MOLAR FLOW (kgmole/h)	MOLE FRACTION	MASS FLOW (kg/h)	MASS FRACTION	LIQUID VOLUME FLOW (m3/h)
38						LIQUID VOLUME FRACTION
39	H2O	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
40	Total	100.0000	1.0000	1801.5100	1.0000	1.8051
41	<b>K VALUE</b>					
43	COMPONENTS		MIXED		LIGHT	HEAVY
44	H2O		0.0000			0.0000
45	<b>UNIT OPERATIONS</b>					
47	FEED TO		PRODUCT FROM		LOGICAL CONNECTION	
48			Pipe Segment: PIPE 100			
49	<b>UTILITIES</b>					
51	( No utilities reference this stream )					
52	<b>PROCESS UTILITY</b>					
57	Pressure Specification	(Inactive)	3.572 psig			
58	Flow Specification	(Inactive)	Mola 100.0 kgmole/h		Mass: 1802 kg/h	Std Ideal Liq Volume:1.805 m3/h

Fuente: Resultados derivados del software ASPEN HYSYS