



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL ESTUDIO DE PURGADORES
INTELIGENTES EN LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO.

AUTORES

DAGLER HUMBERTO BRAVO AMAYA- 91525121

JORGE ANDRÉS PINZON JIMÉNEZ- 1096183701

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: (12/06/2020)



TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO
DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA EL ESTUDIO DE PURGADORES
INTELIGENTES EN LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO.

AUTORES

DAGLER HUMBERTO BRAVO AMAYA- 91525121

JORGE ANDRÉS PINZON JIMÉNEZ- 1096183701

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electromecánico

DIRECTOR

LUIS OMAR SARMIENTO ALVARES

GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BARRANCABERMEJA
FECHA DE PRESENTACIÓN: (12/06/2020)

Nota de Aceptación

Trabajo de grado titulado: DISEÑO DE UNA PLANTA
PILOTO PARA EL ESTUDIO DE PURGADORES
INTELIGENTES EN LÍNEAS DE AIRE COMPRIMIDO.
Presentado por: DAGLER HUMBERTO BRAVO
AMAYA Y JORGE ANDRÉS PINZON JIMÉNEZ.
Para optar el título de Ingeniero Electromecánico.

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo primeramente a Dios padre todo poderoso mayor exponente de la sabiduría y el conocimiento por este logro que me ha permitido alcanzar, a mis familiares, en especial a mis padres por el apoyo y la motivación que me han brindado a lo largo del proceso, y a todas aquellas personas que con sus aportes hicieron posible el alcance de esta meta.

DAGLER HUMBERTO BRAVO AMAYA

Este proyecto está dirigido primordialmente a Dios el cual fue mi guía y respaldo durante el transcurso de este camino, quien a través de su amor infinito me capacito y me formo para alcanzar este logro que hoy veo culminado, a mi familia, amigos y compañeros que no cesaron de expresarme sus voces de aliento cuando sentía desfallecer, y aquellos que formaron parte fundamental durante este recorrido que hoy puedo ver concluido en victoria.

JORGE ANDRÉS PINZON JIMÉNEZ

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por guiarnos y fortalecernos espiritualmente para empezar un camino lleno de éxito.

El más sincero agradecimiento a nuestra familia amigos y compañeros que con su permanente aliento y comprensión nos ayudaron a alcanzar esta meta tan deseada. Y por último agradecemos a todos los profesionales que trabajan en las Unidades Tecnológica de Santander por su colaboración y la confianza brindada para poder culminar con nuestro trabajo final y ver cumplida esta etapa de nuestra vida que nos abrirá paso a experiencias futuras en nuestro campo profesional.

Al finalizar este trabajo de investigación queremos expresar nuestro agradecimiento al ingeniero Luis Omar Sarmiento por habernos acompañado en nuestra última etapa de la carrera, la cual nos permitió adquirir conocimientos básicos de investigación que nos serán útil para nuestra vida profesional. Al igual nuestra gratitud a los docentes quienes estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para nosotros, agradecer la ayuda, las palabras motivadoras, conocimientos, sus consejos y su dedicación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	12
INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	18
2. MARCOS REFERENCIALES	22
2.1. MARCO HISTÓRICO	22
2.2. MARCO TEÓRICO	23
2.3. MARCO CONCEPTUAL	25
2.4. MARCO LEGAL	31
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	32
3.1. CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA Y DE SALIDA, ASÍ COMO ELEMENTOS DE INTERCONEXIÓN PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.	33
3.2. DISEÑAR LAS ETAPAS MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL SISTEMA	36
3.3. MODELAR EN EL SOFTWARE SOLIDWORKS EL DISEÑO DE CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO E INTEGRARLAS EN UNA PLANTA PILOTO, DE	

TAL FORMA QUE SIRVA COMO GUÍA PARA SU CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA EN UNA ETAPA POSTERIOR.	46
3.4. PROPONER UNA ETAPA DE INSTRUMENTACIÓN	65
3.5. MODELAR LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA	70
4. RESULTADOS	77
5. CONCLUSIONES	78
6. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama esquemático de la clasificación de los compresores	28
Figura 2. Características purgador condensado	31
Figura 3. Características técnicas	34
Figura 4. Condiciones de ambiente	35
Figura 5. Acumulador de aire y componentes.	38
Figura 6. Esquema de una red de aire comprimido abierta.	40
Figura 7. Esquema de una red de aire comprimido cerrada	41
Figura 8. (A) Filtro; (B) Regulador de presión; (C) Lubricador..	42
Figura 9. Coeficiente de simultaneidad	52
Figura 10. Relación de presión y flujo de aire	56
Figura 11. Cuadro de conversiones	61
Figura 12. Presión de saturación y contenido de agua	63
Figura 13. Red de aire comprimido	67
Figura 14. Compresor de aire	68
Figura 15. Tanque de almacenamiento (calderin)	69
Figura 16. Purgador	70
Figura 17. Tubería 2	71
Figura 18. Rosca de tubería	72
Figura 19. Niple de tubería	73
Figura 20. Niple de purgador 2	74
Figura 21. Reducción 1	75
Figura 22. Niple de purgador	76
Figura 23. Tubería u	77
Figura 24. Unión T	78

Figura 25. Codo 90°	79
Figura 26. Codo 45°	80
Figura 27. Conexión sistema de generación	86
Figura 28. Etapa de potencia	90
Figura 29. Conexión etapa de control	91
Figura 30. Simulación 1, condensate fraction in wáter.	94
Figura 31. Simulación 1, Mass fraction of wáter.	95
Figura 32. Simulación 1, presure	96
Figura 33. Simulación 2, Mass fraction of wáter.	97
Figura 34. Simulación 2, condensate fraction in wáter.	98

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Compuestos del aire atmosférico	25
Tabla 2. Condiciones ambientales	52
Tabla 3. Presión	57
Tabla 4. Caudal	58
Tabla 5. Selección del compresor	58
Tabla 6. Características del purgador	66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Planta piloto	82
Anexo 2. Vista lateral superior y frontal.....	83
Anexo 3. Purgador	84
Anexo 4. Tanque	85
Anexo 5. Red tubería	86
Anexo 6. Compresor	87
Anexo 7. Turbi generador.....	88
Anexo 8. Automatización y sistema de control del purgador	89

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente en la industria la generación de aire comprimido es transportado a un punto de referencia para el uso del mismo a través de líneas de distribución las cuales permiten el transporte de aire comprimido. A medida del recorrido por la tubería se presenta una disminución de temperatura del punto de partida (compresor) por lo que en cierto punto empieza a existir perdidas y se genera una transformación lenta de condensación por lo que se requiere el uso de purgadores que permitan la expulsión de partículas de agua las cuales afectan la transportación de aire comprimido.

En la generación de aire comprimido mediante compresores y a medida de su recorrido se pierde otro pequeño porcentaje, es por esto que se llevó a cabo la elaboración del diseño de una planta piloto para el estudio de purgadores inteligentes en líneas de aire comprimido con el fin de aprovechar la labor del proceso de transferencia. De igual forma el proyecto presentado estudio diferentes modelos de purgadores existentes de las industrias, con el fin de identificar los parámetros operacionales requeridos en el diseño del sistema.

Posteriormente bajo la metodología descriptiva se llevó a cabo la modelación en la herramienta de diseño SolidWorks de cada una de las etapas del proceso de la planta piloto, se determino la potencia generada a partir del caudal producido por el compresor y el condensado generado. Asimismo, se elaboraron planos mecánicos, eléctricos y de instrumentación mediante diagramas esquemáticos los cuales permitieron identificar la funcionalidad del sistema y corroborar el correcto desarrollo del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es un factor elemental en el sector industrial, esto se ve reflejado en el elevado consumo eléctrico industrial total, además de una fácil generación, distribución flexible, entre otros, lo que hace que sea una alternativa por encima de la electricidad para distintas aplicaciones como lo son trabajos de posicionamiento (válvulas, pistones, motores neumáticos), soplado de plásticos, herramientas neumáticas (taladro percutor, remachadora), de proyección (pinturas), transporte neumático (de materiales como grava) o incluso el almacenaje de energía.

La función de los purgadores es proporcionar aire libre de contaminantes, eliminando impurezas tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, y vapores, pueden atacar su sistema. Estos se ajustan a las necesidades del condensado de aire comprimido. La ventaja reside en que solo se abre cuando existe condensado, de tal forma no se presenta pérdida de aire comprimido.

Teniendo en cuenta que el aire comprimido es valioso y existe la responsabilidad cuidar los sistemas que trabajan utilizando el aire comprimido. El condensado es una de las principales causas de las averías presentadas en los procedimientos de aire cuando no se descarga el condensado de una manera eficiente. Los purgadores inteligentes permiten realizar descargas de los residuos de manera fiable sin pérdida de aire comprimido durante el drenaje.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La operación de elementos neumáticos en la industria se considera un factor indispensable con relación a la hidráulica, consiguiendo cualquier grado de automatización. Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, se establece que el aire comprimido está basado en una técnica que emplea el uso de aire, el cual fue sometido a una determinada presión mediante un compresor, encargado de aspirar aire a presión atmosférica y posteriormente comprimirlo a una presión de mayor nivel. El compresor es puesto en marcha a partir del accionamiento de un motor eléctrico que varía su capacidad a partir de la demanda de la planta (Nieto, y otros, 2016).

Con base en la importancia que representa el uso de líneas neumáticas se ha evidenciado que dichos sistemas generan a partir de la absorción del aire atmosférico, un desprendimiento de humedad en forma de agua debido a que al tener una alta temperatura al momento de recorrer el circuito se presenta enfriamiento lo que produce la condensación. Esta acumulación debe ser vaciada, sin embargo, muchas veces se presentan defectos en los purgadores o en la red debido a la ausencia de inclinación, dificultando la eliminación del condensado, por lo que se debe emplear un sistema mayor equipado que permita el secado en el sistema, evitando posibles afectaciones a los dispositivos de trabajo, ya sean actuadores, válvulas, entre otros. De acuerdo a lo anterior se establece el estudio de purgadores, considerando el cálculo de generación de energía con base a la inducción de condensación y caudal producido por el caudal.

Con base en la problemática planteada anteriormente se considera la pregunta problema en cuanto a ¿Identificar los parámetros a tener en cuenta para el diseño de una planta piloto para el estudio de purgadores inteligentes en líneas de aire comprimido?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El uso de purgadores es de suma importancia, pero hasta el día de hoy no cumplen de una manera correcta su objetivo por lo que genera gastos y pérdida de energía, su entorno se ve afectado debido a la presión y agua liberada, esto puede poner en riesgo la salud e integridad física de las personas que laboran cerca de estos sectores, en diversos casos el eliminador de partículas de agua se obstruye liberando por horas cantidades de aire generando mayores pérdidas.

El diseño de una planta piloto que induce condensación permitió el estudio de purgadores. Además, de darle una aplicación al aire comprimido mediante la generación de energía eléctrica. El proyecto abarcó la elaboración de planos mecánicos, eléctricos e instrumentación mediante diagramas esquemáticos a partir del diseño en SolidWorks con el propósito de analizar los resultados los cuales permitan corroborar el correcto desarrollo del proyecto

A partir de lo señalado anteriormente, se establece como opción la implementación de un proyecto con base a su funcionamiento, y guías de operación con el fin de ampliar el conocimiento de los estudiantes del área electromecánica, quienes contribuyen a disminuir las necesidades de las industrias que manipulan convertidores de calor teniendo en cuenta la optimización del trabajo realizado y prevención de pérdidas económicas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una planta piloto para el estudio de purgadores inteligentes en líneas de aire comprimido, que permita inducir en forma controlada condensación en la línea de salida e incluya una etapa de generación de energía eléctrica.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características de entrada y de salida para cada una de las etapas del sistema, así como de sus elementos de interconexión, requeridas para el diseño de un sistema.
- Diseñar cada una de las etapas aplicando los diferentes principios de ingeniería, para determinar las especificaciones técnicas mecánicas, eléctricas y funcionales del sistema.
- Modelar en el software SolidWorks el diseño de cada una de las etapas del proceso e integrarlas en una planta piloto, de tal forma que sirva como guía para su construcción y puesta en marcha en una etapa posterior.
- Proponer una etapa de instrumentación con la cual se pueda automatizar la planta piloto y realizar medición de los parámetros para determinar la eficiencia del sistema.
- Modelar la funcionalidad del sistema y realizar el análisis de resultados, los cuales permitan corroborar el correcto desarrollo del proyecto.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Para realizar la automatización, se utiliza la medición de la presión que se encuentra en el tanque de almacenamiento como variable controlable y la velocidad de un motor del compresor como la variable manipulable. “Del control de la presión y de la precisión con la que se mida, depende la funcionalidad del sistema de control” (Cruz, 2011, pág. 285).

El proyecto investigado permitió identificar los elementos que estructuran el proceso de automatización y como estos operan en el control de cada equipo intervenido.

Según Mendoza (2017) conocer el consumo real del aire comprimido permite determinar la demanda actual. Analizar la capacidad de generación de aire comprimido con el propósito de saber si la capacidad instalada cubre la demanda real en todas las áreas. Determinar la secuencia de filtros para retener cualquier residuo de aceite en las tuberías de aire comprimido.

Se instaló un nuevo filtro de carbón activado marca Sullair modelo FXC-475 para la zona de fruta fresca (equipos enmalladores) y unidades de mantenimiento marca Festo modelos MSB4 necesarios para asegurar la calidad de aire de 2.2.1 según norma ISO 8573. Se analizó el diseño de tuberías en cuanto a material y tipo de instalación que permita minimizar los residuos de aceite. “El material óptimo es el aluminio, pero por tiempo y costo mayor se deja el material galvanizado que actualmente cuenta en la instalación. El tipo de instalación es la correcta (anillo) para el sistema” (Mendoza, 2017, pág. 22).

Esta investigación aporta directamente en la identificación de teorías, conceptos y normas relacionadas con el estudio en sistemas de aire comprimido. Facilitando a

los investigadores el estudio de los datos secundarios obtenidos y posterior ejecución del proyecto.

Fuster (2013) indica que el uso de la tecnología de aire comprimido abarca centrales de generación de energía, siendo de gran importancia que éstas cuenten con un suministro confiable para poder operar con normalidad. El proyecto abarco el diseño de una instalación para la producción de aire comprimido para una construcción en Alemania.

El diseño incluye tres compresores de tornillo lubricado que funcionan a velocidad fija (dos operando y uno de reserva), dos secadores de adsorción sin aporte de calor (uno en reserva), dos secadores de refrigeración (uno en reserva) y tres depósitos para almacenar el aire comprimido, como equipos principales que serán suministrados por Ingersoll Rand (Fuster, 2013).

Vergara, y otros (2016) establecen que la neumática ocupa un destacado lugar en la industria moderna por su sencillez de aplicación y reducido costo de instalación en comparación con las aplicaciones hidráulicas, logrando con ella casi cualquier nivel de automatización comprimido y selección de componentes, que son utilizadas para dimensionar el sistema por lo cual tiene el enfoque cuantitativo.

Para el dimensionamiento del compresor se tuvieron en cuenta las necesidades de presión y caudal de los equipos, resultando en un equipo de 5cfm a una presión máxima de 150psi, obtenidos después de considerar la normativa para requisitos de seguridad de sistemas neumáticos y análisis de riesgo de acuerdo con la aplicación (Vergara, y otros, 2016).

Segun Montalba & Benítez (2014) Hacer un estudio de necesidades de cada uno de los equipos y componentes de la actual red de aire comprimido y de posibles consumos futuros. Proponer soluciones a los eventuales problemas que se detecten, incluyendo un rediseño si es necesario. Revisar y proponer mejoras al plan de mantención del sistema de generación y distribución del aire comprimido. Por otro lado, el análisis de las pérdidas de cargas arrojó valores aceptables, excepto un tramo del CC23, pero la caída de presión que representa este centro de consumo, a pesar de estar fuera de los parámetros permitidos, está lejos de representar un problema para la estabilidad de la red. (Montalba & Benítez, 2014, pág. 54)

La información aquí recopilada trata sobre un anteproyecto de aire comprimido para los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el edificio T-7; los aspectos básicos que hay que considerar para llevar a cabo la selección de los materiales y el equipo a utilizar, el comportamiento del circuito y sus limitaciones. Se da a conocer información sobre las necesidades que tiene cada laboratorio de la escuela, en dónde se pueden utilizar, los componentes básicos que conforman dicho circuito, y el funcionamiento (García, 2006).

García (2006) establece que con el estudio de este trabajo, se puede llegar a la conclusión de que se necesita un compresor que posea las características que se encontraron en este trabajo, pero se hace el recordatorio que es propuesta, debido a que los consumos de cada laboratorio podrían variar debido a las modificaciones o cambios que puedan surgir en el futuro. Con la capacitación de mecánicos y operadores de compresores, se podrá realizar un programa de mantenimiento

preventivo adecuado a todo el sistema que incluye tubería y compresores, que nos permita tener la calidad y cantidad de aire comprimido.

Silva (2016) señala en su proyecto de investigación titulado Sistemas de almacenamiento de energía mediante aire comprimido dentro de formaciones geológicas en Chile, que el proceso de almacenamiento y producción de aire comprimido representa una tecnología calificada y viable. Se concluye que dicho proceso consiste en comprimir aire que se encuentra a presión atmosférica, utilizando energía (renovable) en los periodos de baja demanda energética, y almacenarlo dentro de reservorios subterráneos (cavernas de sal, acuíferos confinados, minas abandonadas). Luego, en los periodos de mayor demanda, el aire comprimido se libera y se expande a través de turbinas que generan energía eléctrica (Silva, 2016).

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO HISTÓRICO

Morfín (2010) señala que el aire es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos. El descubrimiento consciente del aire como medio (materia terrestre) se remonta a muchos siglos, lo mismo que un trabajo más o menos consciente con dicho medio.

“Aunque los rasgos básicos de la Neumática se cuentan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse, sistemáticamente, su comportamiento y sus reglas” (Morfín, 2010, pág. 231). Solo desde alrededor de 1950 podemos hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

2.2. MARCO TEÓRICO

Aplicaciones del aire comprimido

Según Cruz (2011) el aire comprimido tiene un campo múltiple, ya que se aplica en gran parte de la industria. De acuerdo a su aplicación se puede clasificar así:

- **Servicio de potencia:** Son aplicaciones en las cuales el aire es usado para mover alguna cosa o para ejercer una fuerza. Ejemplos: herramientas neumáticas, equipos de arte, elevación de materiales, así como transportadores neumáticos.
- **Servicio de proceso:** Son aplicaciones dentro de las cuales el aire se encuentra dentro del proceso, Ejemplos: combustión, hidrogenación de aceites, etc.

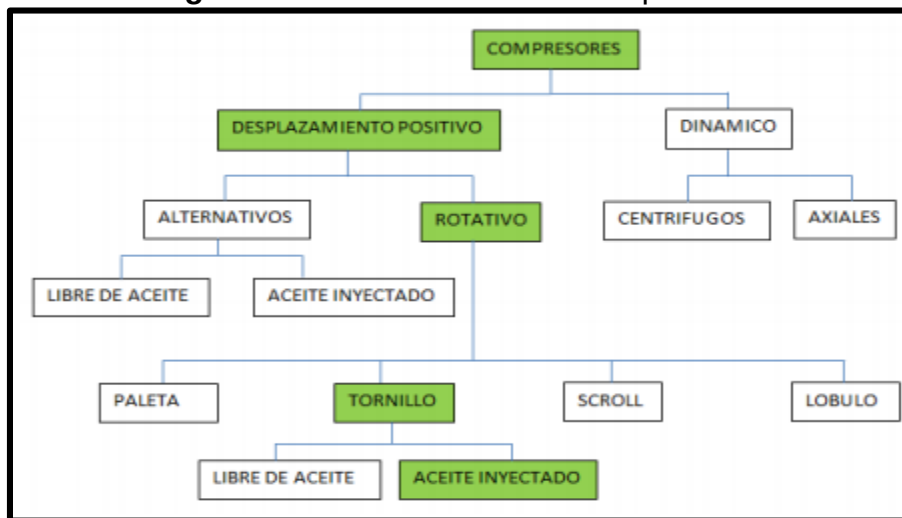
“El aire comprimido es importante en sectores de bienes ligeros o productos de consumo, así como también en el procesamiento y empaque de los mismos” (Cruz, 2011, pág. 44). Toca una parte importante en transportación, edificación, construcción, servicio y mantenimiento de toda industria.

A continuación, se presenta un resumen de aire comprimido en nuestro medio y para las cuales ha tenido éxito en su aplicación: aviación, barcos, campos petrolíferos, embotelladoras, construcción, edificios y hoteles, explotación de piedra, ferrocarriles, fábrica de pintura, papel, latas, 9 productos plásticos, jabones, ingenios azucareros, manejo de ácidos, minerías, plantas de leche, químicos, enlatadoras de cemento, de vidriería, textiles, talleres automotrices, talleres de maquinado, etc.

Velocidad y prueba de sobrecargas

Es un medio de trabajo muy rápido, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos pueden regularse sin escalones) las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden hasta su parada completa sin riesgo alguno de sobrecargas. (Cruz, 2011)

Figura 1. Clasificación de los compresores



Fuente: MONTALBA, Diego. & BENÍTEZ, Cristian. Análisis de la Red de Aire Comprimido Planta de Harina Camanchaca S.A. Chile: Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica. 2014.p.14

Sistema de aire comprimido como alternativa energética

Permite emitir la integración de energías renovables, específicamente equilibrando la producción de energías que presenten variabilidad en su generación y así manteniendo la energía disponible para cuando sea requerida, y en donde dicho equilibrio supone una potencial reducción en los costos de energía (Silva, 2016).

Reservorio de Almacenamiento

El aire comprimido puede ser almacenado en tanques superficiales, cavernas a distintas profundidades, acuíferos y los últimamente propuestos reservorios artificiales sub-acuáticos. Sin embargo, los primeros mencionados presentan un alto riesgo de peligro y son mucho más costosos, y es por ello que se ha estudiado las diversas formaciones geológicas en las que es factible almacenar el aire a presión. (Zaugg, 1975, pág. 62)

Presión Constante

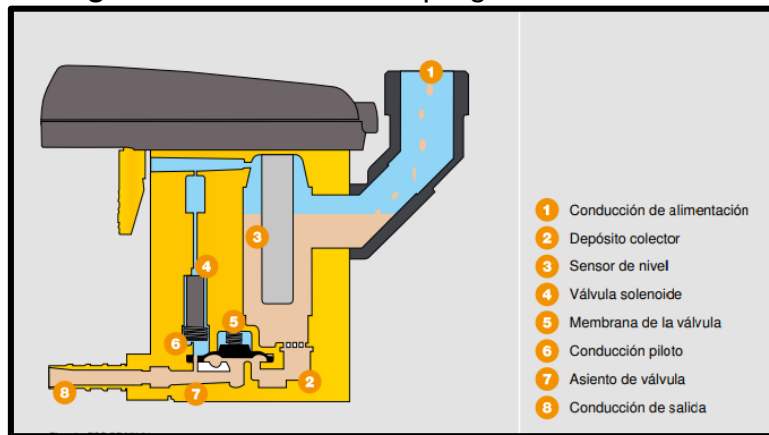
La operación de la tecnología CAES a presión constante, trabaja únicamente debido a la regulación volumétrica del reservorio de aire, por lo que la presión permanece constante favoreciendo al funcionamiento de la turbina (Zaugg, 1975).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Purgadores inteligentes

Su funcionamiento es automático y no se producen pérdidas de aire durante el ciclo de purga de condensados. Permiten la regulación del condensado producido en la producción de aire comprimido, el cual debe evacuarse de manera fiable para evitar averías, pérdida de eficiencia y problemas de corrosión (KAESER, 2018).

Figura 2. Características purgador condensado



Fuente: KAESER. (2018). Purgadores automáticos de condensado Serie ECO-DRAIN. España: Villanueva de gállego.

Principales beneficios

- Fácil descarga de condensados en toda la instalación de compresores de aire
- Menor desgaste de los equipos y red de distribución
- Disminución en las paradas de la producción

Funcionamiento

Cuando se abre vapor al sistema, el aire es expulsado junto al condensado frío por la válvula abierta, cuando el condensado alcance la temperatura de vapor, la mezcla de alcohol alcanzará la temperatura de ebullición dando lugar a la expansión de la parte y encerrando al condensado. Cuando el condensado se enfría la parte se contrae permitiendo de nuevo el paso, descargando el condensado y volviendo al inicio del ciclo. (KAESER, 2018, pág. 12)

El condensado ingresa mediante la conexión. El deposito recoge el líquido y la membrana (KAESER, 2018). Continúa con el orificio de la purga cerrado. Cuando el nivel del fluido incrementa, el flotador comienza a subir hasta alcanzar el nivel más alto, aquí la válvula solenoide controlada por el circuito electrónico se encarga de abrir la válvula piloto. El líquido se descarga y cuando alcanza el nivel mínimo, el diafragma cierra de nuevo el orificio de descarga sin dejar escapar el aire comprimido.

Figura 3. Características técnicas

Máxima presión de trabajo	Capacidad máxima compresor	Capacidad máxima secador	Capacidad máxima del filtro	Voltaje	Conexión	A	B	C	Peso
bar (psi)	mc/h	mc/h	mc/h	Volt / Hz. / Ph.	gas	mm.	mm.	mm.	Kg.
16 (232)	900	1800	9000	230/50-60/1	1 x 1/2" M BSP	132	132	164	0,7
16 (232)	1800	3600	18000			132	192,4	224	1,2
16 (232)	9500	19000	95000			132	208	239,6	2,8

Fuente: KAESER. (2018). Purgadores automáticos de condensado Serie ECO-DRAIN. España: Villanueva de gállego.

Formación de condensado

Dado que el aire aspirado contiene la humedad del ambiente, la compresión del aire en el compresor siempre se genera condensado. Las impurezas que ya están presentes en el aire ambiente como, por ejemplo, partículas de polvo y suciedad o aerosoles, se encuentran en forma concentrada en el condensado. También en los procesos siguientes del tratamiento del aire comprimido (filtración y secado) se vuelve a generar condensado. Con la tecnología de condensado, este producto de desecho, cargado de sustancias nocivas y dañino para el medio ambiente se recoge y trata, porque no se puede verter en la canalización. (KAESER, 2018, pág. 8)

Producción de aire comprimido

Los compresores elementos indispensables en la producción de aire comprimido. Son equipos impulsores de aire, gases o vapores, encargados de ejercer influencia sobre las condiciones de presión (Montalba & Benítez, 2014).

Figura 4. Condiciones de ambiente

Sobrepresión de servicio	Condiciones ambiente / de aspiración (temperatura veraniega /humedad relativa moderadas)									
	Compresor/Refrigerador final					Secador frigorífico				
	15 °C 40 %	20 °C 50 %	25 °C 60 %	30 °C 70 %	35 °C 80 %	15 °C 40 %	20 °C 50 %	25 °C 60 %	30 °C 70 %	35 °C 80 %
4 bar	16,5	3,4	1,5	0,8	0,5	2,6	1,8	1,3	1,0	0,7
6 bar	4,8	2,1	1,1	0,6	0,4	3,6	2,5	1,8	1,4	1,0
8 bar	3,4	1,7	0,9	0,6	0,4	4,7	3,3	2,4	1,8	1,3
10 bar	2,9	1,5	0,9	0,5	0,3	5,7	4,0	2,9	2,2	1,6
12 bar	2,6	1,4	0,8	0,5	0,3	6,8	4,7	3,4	2,6	1,9
14 bar	2,5	1,3	0,8	0,5	0,3	7,8	5,5	4,0	2,9	2,2
16 bar	2,4	1,3	0,8	0,5	0,3	8,9	6,2	4,5	3,3	2,5
25 bar	2,1	1,2	0,7	0,5	0,3	13,5	9,5	6,9	5,1	3,9
50 bar	1,9	1,1	0,7	0,4	0,3	26,6	18,6	13,5	10,0	7,6

Fuente: KAESER. (2018). Purgadores automáticos de condensado Serie ECO-DRAIN. España: Villanueva de gállego.

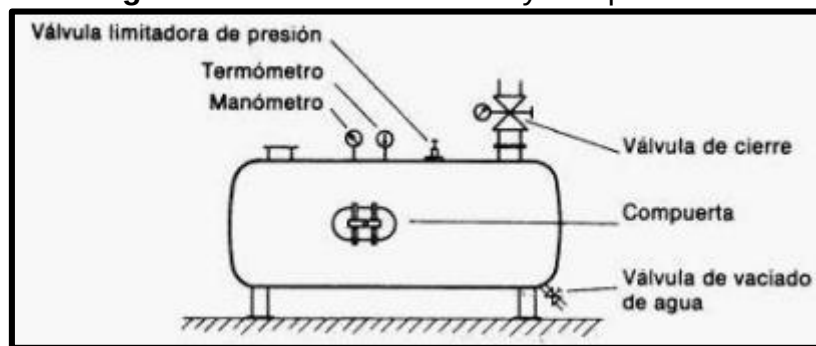
Filtro

Extraen del aire comprimido las impurezas y agua condensada (Montalba & Benítez, 2014).

Distribución de aire comprimido

Segun Montalba & Benítez (2014) es el conjunto de tuberías y accesorios unidas entre sí y transportan el aire comprimido a los puntos para los equipos consumidores. Los factores principales son la velocidad de circulación y caída de presión en las tuberías y accesorios.

Figura 5. Acumulador de aire y componentes.

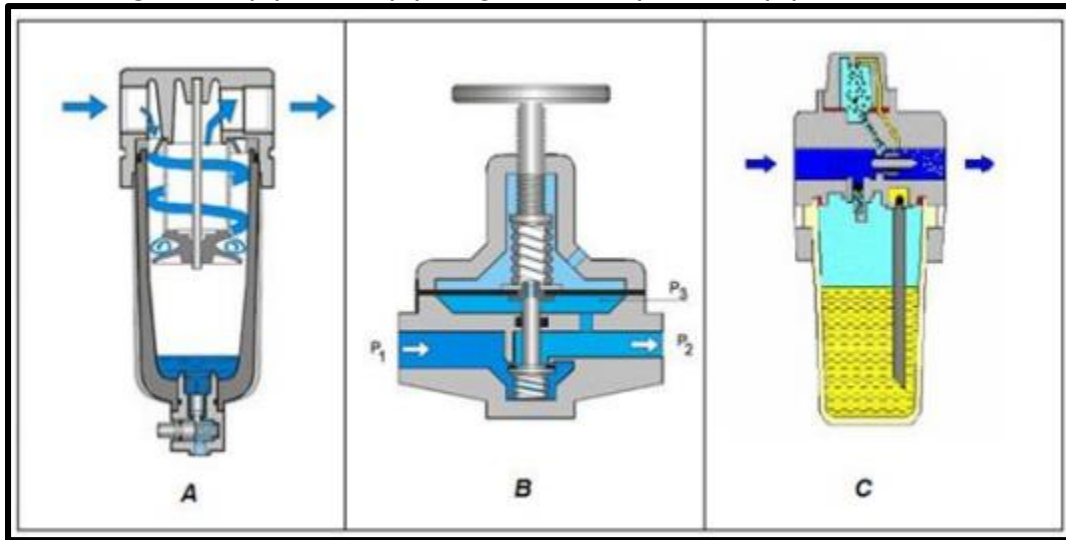


Fuente: MONTALBA, Diego. & BENÍTEZ, Cristian. Análisis de la Red de Aire Comprimido Planta de Harina Camanchaca S.A. Chile: Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica. 2014.p20.

Tratamiento en el punto de aplicación

Según Montalba & Benítez (2014) su función es eliminar las partículas sólidas que contenga aún el aire, regular la presión que necesita específicamente el equipo que se pretende alimentar y lubricar en caso de ser necesario.

Figura 8. (A) Filtro; (B) Regulador de presión; (C) Lubricador..



Fuente: MONTALBA, Diego. & Benítez, Cristian. Análisis de la Red de Aire Comprimido Planta de Harina Camanchaca S.A. Chile: Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica. 2014.p21.

Filtro

Elimina las partículas en suspensión del aire. Las partículas sólidas, originarias del exterior o interior de la red (Montalba & Benítez, 2014).

Regulador de presión

Montalba & Benítez (2014) refieren que el regulador reduce la presión en la red a una presión de trabajo adecuada a la máquina, equipo o herramienta utilizada. Además, minimiza las oscilaciones de presión que surgen en la red.

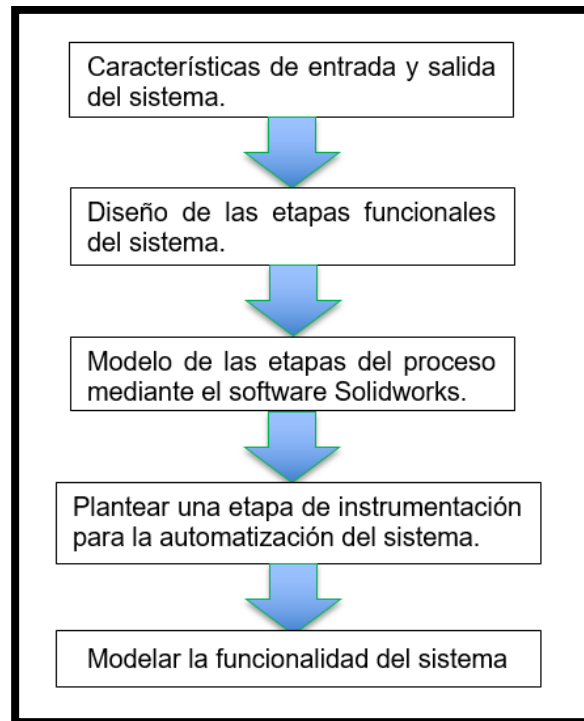
2.4. MARCO LEGAL

1. Las instalaciones, máquinas y equipos, incluidas las herramientas manuales, sean o no accionadas por motor, deberán (Ley número 52, 1993).

- Ser de buen diseño y construcción, habida cuenta, en la medida de lo posible, de los principios de la ergonomía
- Mantenerse en buen estado
- Utilizarse únicamente en los trabajos para los que hayan sido concebidos, a menos que una utilización para otros fines que los inicialmente previstos hayan sido objeto de una evaluación completa por una persona competente que haya concluido esa utilización no presenta riesgos
- Ser manejados por los trabajadores que hayan recibido una formación apropiada.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Figura 1. Diagrama de bloques



Fuente: Autor

La Figura 1 representa los pasos a seguir para el cumplimiento del proyecto titulado: diseño de una planta piloto para el estudio de purgadores inteligentes en líneas de aire comprimido. En primer lugar, se presentan las características de entrada y salida requeridas y la descripción de las generalidades del diseño, considerando las teorías y normativas mencionadas en el marco referencial. Posteriormente, el modelo de las etapas del proceso a través del software Solidworks permiten visualizar los equipos utilizados en el sistema. En último, se propone la instrumentación requerida para automatizar el proceso y se realiza el modelo, con el objetivo de verificar la correcta funcionalidad.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA Y DE SALIDA, ASÍ COMO ELEMENTOS DE INTERCONEXIÓN PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA.

Para el desarrollo del objetivo se tiene en cuenta los siguientes aspectos que son:

- Selección de equipos
- Características de entrada y salida
- Dimensiones
- Aspectos técnicos
- Operación
- Elementos de interconexión

Para poder llevar a cabo en su totalidad el diseño, se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento, el cual se basa en cuatro pasos, los cuales permiten caracterizar los elementos de entrada y salida requeridos en la planta piloto para el estudio de purgadores. Esto a su vez va a permitir tomar acciones precisas a través de una propuesta de automatización para el control de las actividades ejecutadas en el proceso, mejorando enormemente la productividad del conocimiento del alumnado, ya que podrán conocer más a fondo sobre sistemas de generación a partir de aire comprimido.

Primer paso

Para la realización de este paso, se tiene en cuenta las dimensiones y conexiones del banco, en este caso, el mismo está construido por dos partes; una de estas corresponde a una base hecha en lamina que actúa como plancha y así poder soportar los dispositivos y elementos que la componen. Además, se establece como

recomendación la implementación de Rodachines que soporten este peso, con un sistema de freno para dejar estable el sistema.

Segundo paso

En este paso se establece la distribución de la alimentación al módulo, ya que, como protección eléctrica, el módulo debe contener un Breakers principal, cable de conexión para el accionamiento del compresor, etc.

Tercer paso

De esta manera, en este paso se seleccionan los elementos que conforman la planta como lo son:

- Compresor
- Serpentín
- Valvula reguladora
- Purgador
- Turbina/Generador eléctrico
- Instrumentación para la interconexión (tubing y cableado eléctrico)

Asimismo, las variables teóricas identificadas están relacionadas con:

- Presión
- Caudal
- Área de sección transversal
- Longitud
- Velocidad de trabajo

- Tensión y corriente de entrada
- Tensión y corriente generada

Cuarto paso

Abarca la selección de las características de operación de los equipos

- Compresor 1.5 hp / 110 V / 182 lpm
- Tanque de agua 0.60 m x 0.20 m x 0.45 m
- Valvula que permita inducir en forma controlada condensación en la línea de salida
- Filtro
- Generador eléctrico

Las condiciones estuvieron seleccionadas con el fin de conformar una planta piloto a escala la cual permita el estudio de purgadores a partir de la inducción de forma controlada de condensación en la línea de salida.

3.2. DISEÑAR LAS ETAPAS MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL SISTEMA

3.2.1. Condiciones de diseño

Son aquellas que repercuten el dimensionamiento en las máquinas. Los parámetros necesarios son:

- Caudal de aire comprimido que debe suministrar el compresor, que debe circular por cada zona de trabajo.
- Presión de trabajo.
- Pérdida de presión, pérdida de energía que se origina ante los diferentes obstáculos.

También el conocer las condiciones ambientales para el dimensionamiento de los equipos. Los parámetros más importantes a conocer son la presión ambiental, humedad relativa y temperatura. Estos parámetros influyen en la generación de aire comprimido y en el trabajo de los compresores de distintas maneras:

- Presión: los compresores trabajan con presión manométrica, por lo que la relación de compresión será la misma que en las especificaciones de los catálogos. Por tanto, a mayor presión ambiental se necesitará menos trabajo del compresor, ya que trabaja con incrementos de presión, y a menor presión ambiental necesitará mayor trabajo.
- Humedad: donde más repercute la humedad es en el compresor. El aire contiene un porcentaje de humedad en él. Al comprimir se eleva la temperatura y la

presión, lo que al enfriarse posteriormente en el depósito y tuberías de distribución produce una condensación perjudicial para la instalación. Por lo que es necesario retirar parcial o totalmente esa humedad contenida después de comprimir el aire. La humedad retirada es aire que se ha comprimido y no se aprovecha. Este aire malgastado es energía desaprovechada del sistema.

- Temperatura: a mayor temperatura, más volumen ocupa un gas y mayor resistencia ofrecen las partículas al comprimirlas. Por lo que, a mayor temperatura, mayor trabajo se necesitará para la compresión.

Tabla 2. Condiciones ambientales

Presión ambiental	1.01325	Bar
Temperatura	28°	°C
Humedad relativa	87	%

Fuente: Cartas climáticas Barrancabermeja Santander.

Las condiciones ambientales nombradas anteriormente han de tenerse en cuenta para normalizar las cantidades de flujo que se desea en aire libre. Los catálogos proporcionan normalmente los valores de caudal en aire libre (Nm^3/min), que corresponde a un caudal en m^3/min en condiciones normales.

3.2.2. Caudal

Las necesidades de la línea de montajes son de 182 lpm.

$$Q_{teórico} = 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para calcular el caudal total que se debe producir se ha tener en cuenta las pérdidas de aire del sistema por fugas y los posibles futuros requerimientos.

González (2017) establece que las pérdidas por fuga, en la práctica no se pueden eliminar. Las pérdidas en instalaciones con grandes caudales, se valoran entre un 5-10 % del aire producido. Teniendo en cuenta que la instalación se deteriora con los años y cada vez habrá más fugas en la instalación, se escogerá un 10 % de pérdidas de aire por fugas para garantizar que sea necesario de la presente línea de montaje.

$$Q_{fugas} = 0,1 * Q_{teorico}$$

$$Q_f = 0,1 * 0.0027 = 0.0011 m^3/s$$

Los posibles futuros requerimientos que se han de tener en cuenta, pueden ser picos de demanda puntuales.

Se valorará como un 20% del caudal teórico solicitado:

$$Q_{requerimientos} = 0,2 * Q_{teorico}$$

$$Q_r = 0,2 * 0.011 = 0.0022 m^3/s$$

Por lo que el caudal total que tienen que aportar los compresores, sería la suma del caudal teórico, caudal de fugas y el caudal de requerimientos:

$$Q_{total} = Q_{fugas} + Q_{requerimientos} + Q_{teorico}$$

$$Q_t = 0.011 \frac{m^3}{s} + 0.0011 \frac{m^3}{s} + 0.0022 \frac{m^3}{s} = 0.0143 \frac{m^3}{s} = 51.48 m^3/h$$

3.2.3. Pérdidas de presión

La presión de salida del aire del compresor no igual que la del punto de aplicación. Esto se debe a que entre el compresor y el punto de aplicación se encuentran elementos que pierden presión en su proceso. Estos elementos que impiden conseguir toda la energía de presión producida dependen de los depósitos de aire instalados, las unidades de tratamiento de aire después de los compresores y la red de distribución.

Una instalación que no tenga en cuenta la pérdida de presión y por lo tanto llegue menos presión que la nominal del equipo neumático, desaprovechará potencia y por lo tanto tendrá una bajada de rendimiento de la herramienta (González, 2017).

El diseño actual que se está llevando a cabo, consta desde el compresor hasta la salida de la planta de máquinas. Por lo que no se puede considerar la instalación como una instalación completa de aire comprimido, ya que no se define hasta el punto de consumo. Esto supone un problema para el cálculo exacto de la instalación, pero se puede solucionar admitiendo unas pérdidas de carga que garanticen las presiones necesarias.

Se establecen unas pérdidas de presión de trabajo entre un 5-10 % de la presión de trabajo (González, 2017). Por otro lado, si se quiere alcanzar las presiones demandadas en los puntos de aplicación, se escogerá unas pérdidas de carga de un 7 % de la instalación para garantizar las presiones demandadas.

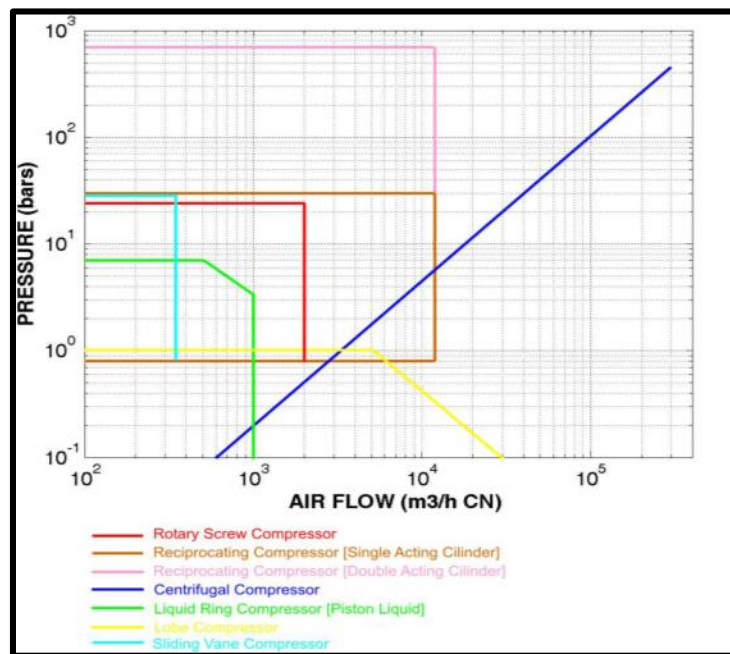
Por lo tanto, los compresores han de producir:

$$P_{\text{compresor}} = P_{\text{nominal}} + 7 \%$$

$$P_{\text{compresor}} = 9 + (9 * 0,07) = 9,63 \text{ bar}$$

Luego de conocer el consumo necesario y la presión demandada al compresor, se procede a elegir el tipo más adecuado para dicha aplicación. La figura 10 fija los límites de uso de los compresores.

Figura 10. Relación de presión y flujo de aire



Fuente: Autor

Tabla 3. Presión

1 bar	14.50 psi
9 bar	130.5 psi

Fuente: Autor

Tabla 4. Caudal

1 m3/h	0.58 cfm
51.4 m3/h	30.30 cfm

Fuente: Autor

Tabla 5. Selección del compresor

Compresor MPC	Modelo	Caudal	Potencia nominal hp.	Corriente
	66216	182 lpm	1.5 hp	12 A

Fuente: Autor

Para calcular el contenido de agua (López, 2014), puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$X = 0,622 \frac{W_{rel} * P_s}{P - (W_{rel} * P_s)} * 10^3, \text{ en g/Kg}$$

- P = Presión absoluta total en bar.

De acuerdo a la información dada por el fabricante del compresor, se calcula la presión absoluta, tomando la presión inicial o manométrica (190 psi) le sumamos la presión atmosférica referenciada al inicio del diseño (1.01325 bar). Se hace la conversión de (psi) a (bar) y se ejecuta la operación

Factor de conversión.

$$1 \text{ psi} \rightarrow 0.0689 \text{ bar}$$

$$190 \text{ psi} \rightarrow x \text{ bar} \quad x = \frac{190 \text{ psi} * 0.0689 \text{ bar}}{1 \text{ psi}} = 13.091 \text{ bar}$$

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{inicial}} + P_{\text{atmosferica}} P = 13.09 \text{ bar} + 1.01325 \text{ bar} = 14.10325 \text{ bar}$$

- P_s = Presión de saturación.

La presión p_s depende de la temperatura. Para el caso la temperatura media anual es (28°C) en Barrancabermeja, se determina la presión de saturación por tablas termodinámicas.

Figura 11. Cuadro de conversiones

Temperatura T en °C	p_s en mbar	Temperatura T en °C	p_s en mbar	Temperatura T en °C	p_s en mbar
- 20	1,029	+ 2	7,055	+ 24	29,82
- 18	1,247	+ 4	8,129	+ 26	33,60
- 16	1,504	+ 6	9,345	+ 28	37,78
- 14	1,809	+ 8	10,70	+ 30	42,41
- 12	2,169	+ 10	12,70	+ 32	47,53
- 10	2,594	+ 12	14,01	+ 34	53,18
- 8	3,094	+ 14	15,97	+ 36	59,40
- 6	4,681	+ 16	18,17	+ 38	66,24
- 4	4,368	+ 18	20,62		
- 2	5,172	+ 20	23,37		
0	6,108	+ 22	26,42		

Fuente: Autor

Se hace la conversión de (mbar) a (bar) ya que así lo requiere el cálculo, por lo

tanto, se realiza el procedimiento

$$33.60\text{mbar} = 0.0336\text{bar}$$

Una vez obtenido los datos, se reemplaza en la formula inicial para calcular el contenido de agua.

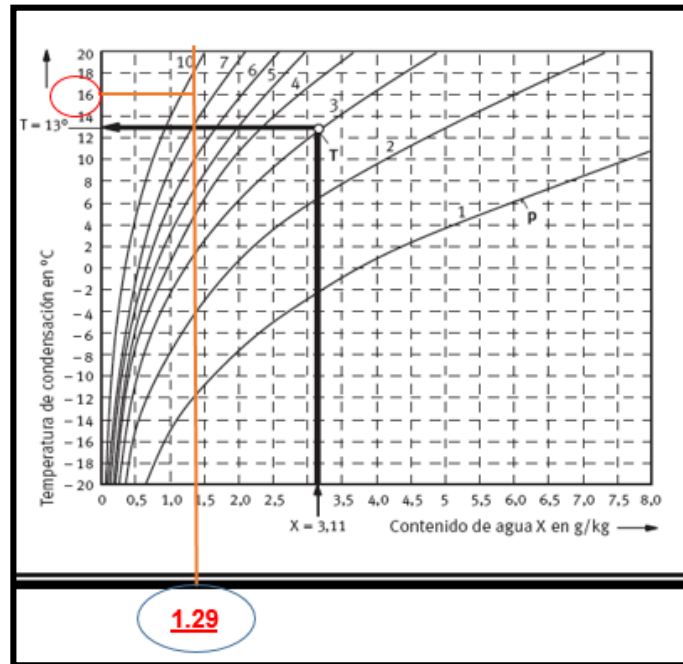
$$X = 0,622 \frac{0.87 * 0.0336}{14.10325 - (0.87 * 0.0336)} * 10^3 = 1.29 \text{ g/kg}$$

De acuerdo a Festo el valor de densidad está dado por 1.292 kg/m³, teniendo en cuenta que la temperatura promedio de Barrancabermeja es de 28° C se establece que la densidad del aire es 1.225 kg/m³. Por lo tanto:

$$\frac{1.29\text{g}}{\text{kg}} * \frac{1.225\text{kg}}{\text{m}^3} = 1.58 \text{ g/m}^3$$

Una vez calculado, se evalúa el diagrama de Mollier para determinar la temperatura del punto de condensación, es decir, es a esta temperatura donde el aire produce el condensado.

Figura 12. Presión de saturación y contenido de agua



Fuente: Autor

En el anterior diagrama se puede leer que las líneas que corresponden a Presión de saturación y contenido de agua, se entrecruzan en una temperatura de 18°C

El compresor, de acuerdo a la información suministrada por fabricante en su proceso de compresión del aire aumenta su presión de 190psi a 290psi o (13.09bar a 19.99bar), por ende, aumenta su temperatura y con ella el valor de contenido de agua. Primero se establece la temperatura incrementada para posteriormente hallar el valor de agua contenida en ese instante.

si a una presión de 13.09 bar

→ esta a 28°C de temperatura una presión de 19.99 bar

→ que temperatura obtendra

$$\frac{19.99 * 28}{13.09} = 39.70 \approx 40^{\circ}C$$

si a 28°C de temperatura → el contenido de agua es de 1.58 g/m³

40°C de temperatura → el contenido de agua es x g/m³

$$\frac{40 * 1.58}{28} = 2.70 \text{ g/m}^3$$

Se puede observar que para la presión final su temperatura es de 40°C, de esta forma el contenido de agua se incrementa a 2.70 g/m³. De acuerdo a el contenido inicial del agua el cual corresponde al 1.58 g/m³, se estima que la humedad relativa del aire en este instante de incremento será de un 10% aproximadamente, lo que quiere decir que para este momento estará seco, por lo tanto, no hay condensado.

Luego de ingresar al calderín, este aire entre en pos-enfriado, el cual disminuye su temperatura pasando por su (la estimada en el punto de condensación), en este instante no se podrá contener más de 1.58 g/m³ de agua, por lo que el restante de los 2.43 g/m³, será el condensado separado, el cual será de 0,85 g/m³. Este valor condensado se convierte a g/L, luego se calcula la cantidad de condensado que producirá.

$$0,85 \frac{g}{m^3} * \frac{1m^3}{1000L} = 0.00085 \frac{g}{L}$$

$$0.00085L * 60 = 0.051L/min$$

De lo anterior de evidencia que el sistema produce 0.051 Litros de condensado en un minuto, para lo cual se selección un purgador electrónico de condensado con la siguiente referencia, teniendo en cuenta la información anteriormente calculada.

Tabla 6. Características del purgador

Purgador	Modelo	Caudal máximo M3/min	Capacidad de filtrado máximo m3/min	Alimentación eléctrica
Purgador automático de condensado	Serie ECO- DRAIN 13	30	300	220 V monofásico / 1 Ph / 60 Hz

3.3. MODELAR EN EL SOFTWARE SOLIDWORKS EL DISEÑO DE CADA UNA DE LAS ETAPAS DEL PROCESO E INTEGRARLAS EN UNA PLANTA PILOTO, DE TAL FORMA QUE SIRVA COMO GUÍA PARA SU CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA EN UNA ETAPA POSTERIOR.

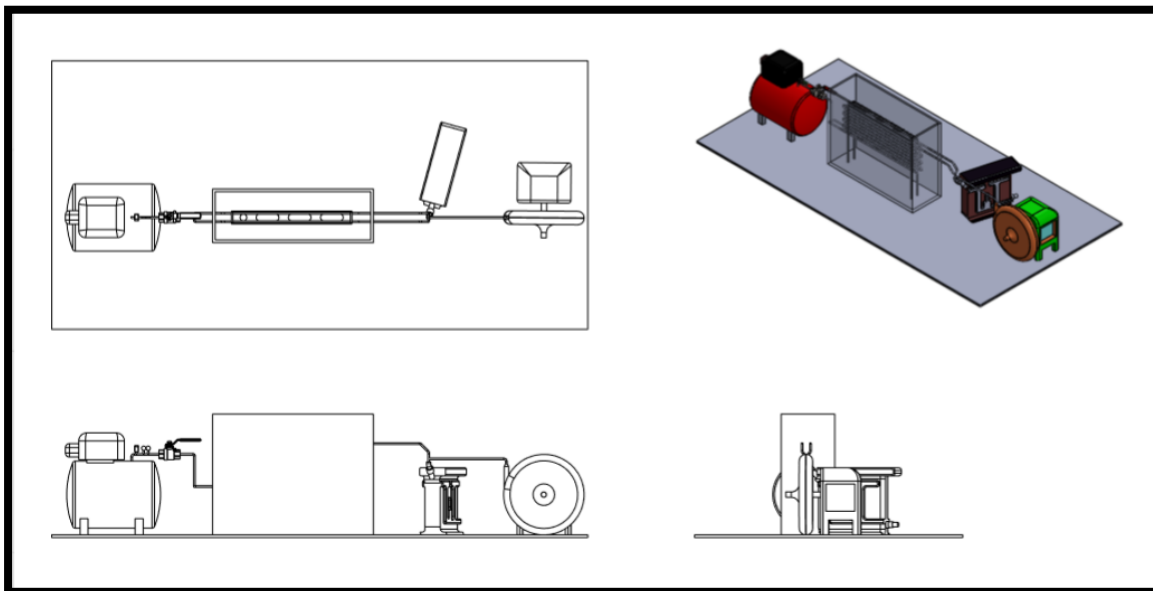
El software SolidWorks permite modelar piezas que sirven como prototipo de visualización de un sistema establecido, para su posterior desarrollo o ejecución, teniendo en cuenta esto, se utiliza el software para modelar un prototipo de una planta piloto de aire comprimido, la cual engloba, cada una de las etapas de diseño, como las variables, cálculos y demás empleadas a este proceso, con el fin, de contar con parámetros claros que evidencien una modelación del sistema y poder emplearlo en el momento que se requiera la puesta en marcha de su ejecución.

Para el desarrollo del sistema en el software, se hace necesario cumplir con varios procesos propios de la herramienta de dibujo, como lo son la modelación individual y consecutiva de cada pieza dispuesta para este, todo esto siguiendo los parámetros de diseño y disposiciones a escala reales, como también siguiendo las pautas establecidas a la hora de realizar un dibujo en el software SolidWorks,

aspecto fundamental, ya que, el no seguir esto, significa cambios significativos que aunque visualmente no sean evidentes, estructuralmente si hacen una notable variación.

En el desarrollo de cada pieza, se establecen pautas como cotas, plano de dibujo, vista de desarrollo, ensambles entre otros, fundamentales en la modelación del diseño, debido a que, cada una de estas, deben ser consecuentes para que el desarrollo del producto final, el cual deriva en la modelación del sistema, es el adecuado para una futura ejecución. A partir del anexo 1 se logra evidenciar los planos de la planta piloto.

Figura 13. Planta piloto

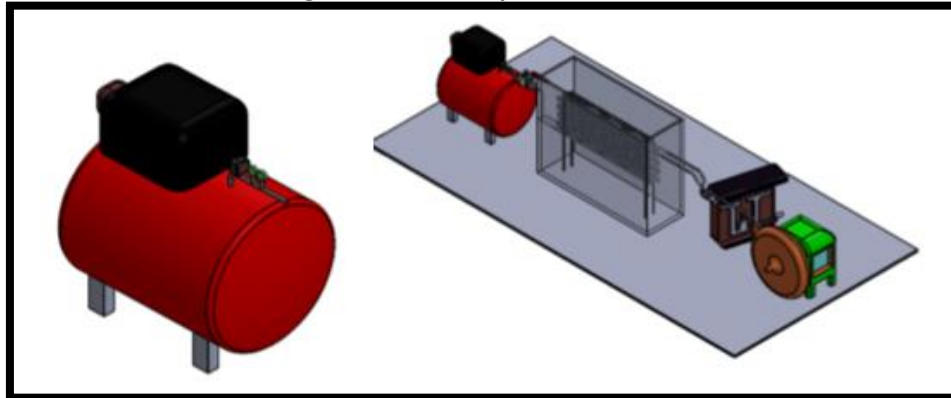


Fuente: autor

En la figura 13 se muestra la imagen renderizada de la planta piloto con cada una de sus piezas estructurales, donde se presenta la adecuación de distintos equipos

dispuestos para el sistema. En la figura se puede visualizar elementos tales como el compresor de aire, el serpentín sumergido en agua, el elemento de filtración de condensado o purgador y los accesorios los cuales hace referencia a las tuberías, reducciones, niples y demás. Este se presenta con un dimensionamiento a escalas reales y correlacionales en cada una de sus partes, para obtener una correcta cohesión entre ellas arrojando como resultado la presentación del modelo completo.

Figura 14. Compresor de aire

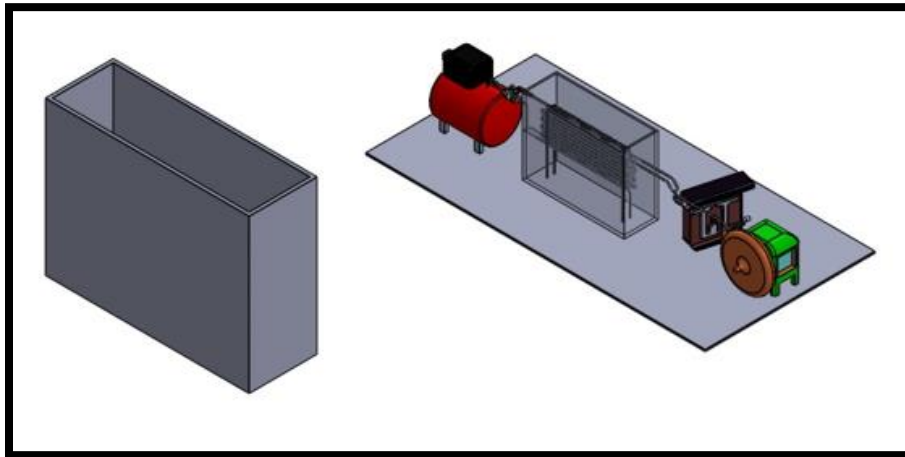


Fuente: autor

En la figura 14 se evidencia una imagen renderizada del compresor de aire que tiene como función recoger aire del ambiente para posteriormente ser distribuido a través de las tuberías dispuestas para el sistema. Este componente se modela de acuerdo a los cálculos de diseño indispensables en la selección del tipo de compresor empleado, estos parámetros aducen a presión, caudal, potencia del motor eléctrico, los cuales, son fundamentales debido a que, de estos, se desarrolla la modelación de la pieza siguiendo la estructura establecida del tipo de compresor escogido.

De acuerdo a la figura se establece un compresor, con un caudal de 182 lpm, con una potencia nominal del motor eléctrico de 1.5 hp (horsepower, caballo de potencia), esto debido a que, cumple con los datos arrojados por los cálculos de diseño.

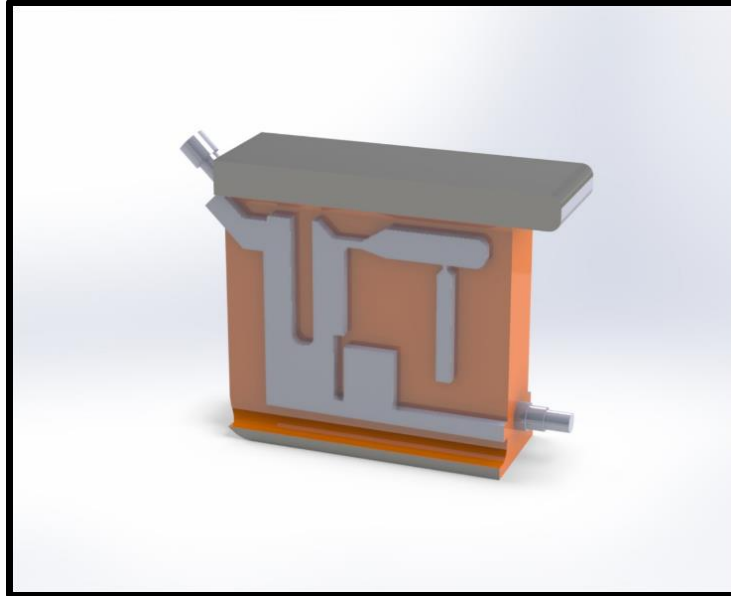
Figura 15. Serpentín sumergido en tanque de agua



Fuente: autor

La figura 15 ilustra el serpentín, el cual recibe el aire comprimido generado por el compresor mediante la tubería dispuesta para la conducción de este. De acuerdo a esto se dispone de un volumen de 0.054 m³ elaborado con aleación de acero al carbono con revestimiento galvanizado para alargar su vida útil y así cumplir la necesidad demandada por el sistema.

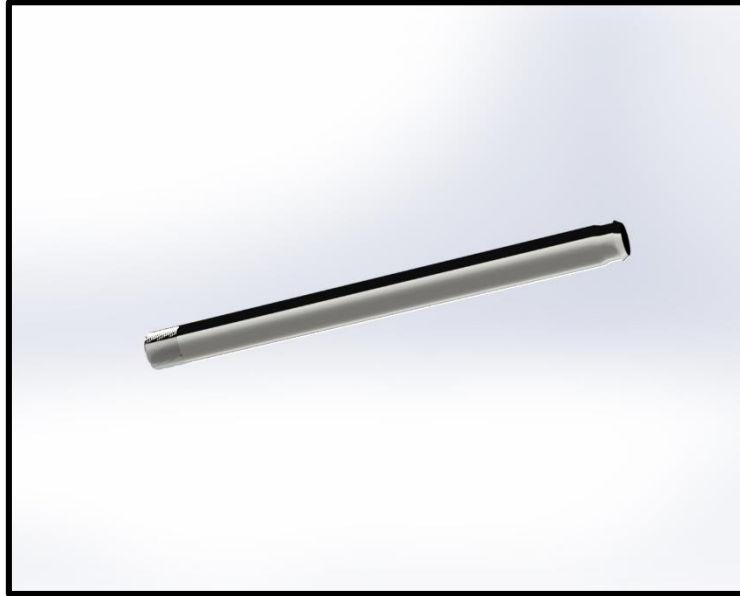
Figura 16. Purgador



Fuente: autor

En la figura 16 se evidencia el renderizado de la pieza dispositivo purgador de condensado electrónico, con el fin de purgar el condensado que se pueda producir en las líneas de tuberías dispuestas para la distribución de aire. Este dispositivo se escoge, de acuerdo a los cálculos realizados en el diseño y su estimación de producción de condensado en el sistema, a partir de este se modela un dispositivo con un caudal mínimo de 30 m³/min y con una capacidad de filtrado de hasta 300 m³/min, esto por ser electrónico se alimentará de una fuente eléctrica de 220V y cuenta con una potencia de 1 hp.

Figura 17. Tubería 2



Fuente: autor

En la figura 17, se puede evidenciar el renderizado de la pieza tubería 2, la cual conecta al compresor con serpentín y desde este con la red de distribución, esta tubería es con materia de aluminio con un diámetro interno de 1/2 pulgada y una longitud de 1.2 m desde la salida del compresor hasta la entrada del purgador, posee en un extremo una parte roscada y en su otro extremo un chaflán con sello donde se le adapta una rosca hexagonal para asegurar a otro tramo de tubería o dispositivos finales.

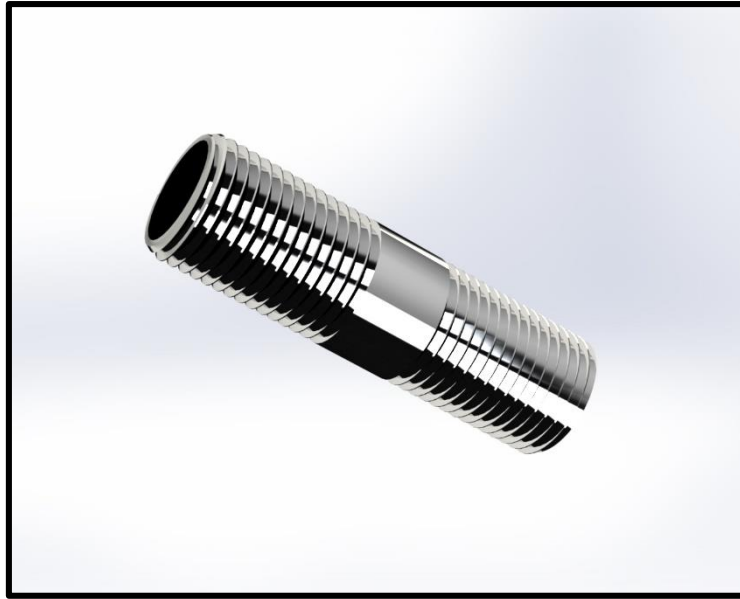
Figura 18. Rosca de tubería



Fuente: autor

En la figura 18, evidenciamos el renderizado de la pieza rosca de tubería, la cual va acoplada a la tubería llamada “tubería 2”, la cual cumple como función asegurar la tubería a su destino ya sea algún dispositivo u otro tramo de la línea.

Figura 19. Niple de purgador



Fuente: autor

En la figura 19, se presenta la pieza renderizada de “niple de purgador”, ubicada en la parte inferior del tanque de almacenamiento de aire, cumpliendo con la función de unir el dispositivo de purgador al tanque de almacenamiento, para a través de estos conductos se desplace el condensado producido por el sistema en ese punto. La pieza cuenta con un diámetro interno de $\frac{1}{2}$ pulgada, tiene longitud de 5,5 cm y en sus extremos en la parte exterior lleva zonas de roscas para acoplar correctamente en los dispositivos.

Figura 20. Tubería u



Fuente: autor

En la figura 20, se presenta la pieza renderizada llamada “Tubería U”, la cual se encuentra ubicada en la parte superior de las líneas de distribución, esta pieza tiene la función unir esta red de distribución con la tubería que lleva el aire al equipo receptor y posee esta forma con el objetivo de no permitir el paso del condensado que se llegara a producir en la red de distribución a los equipos receptores. Esta tubería cuenta con un diámetro interno de 1 pulgada, con longitud de 26 cm y una curvatura de 180 grados, en los extremos de esta tubería se le adaptan las piezas llamadas “rosca de tubería” con el fin de acoplarla a las demás tuberías.

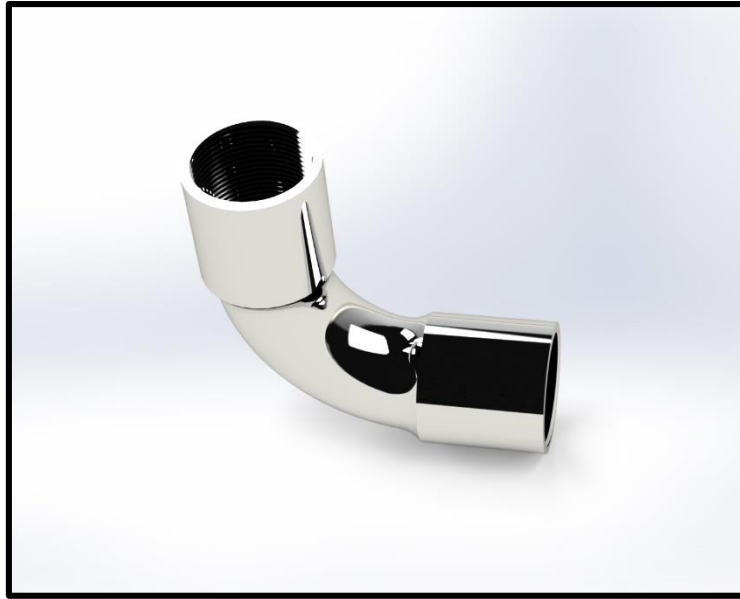
Figura 21. Unión T



Fuente: autor

En la figura 21, se presenta el renderizado de la pieza llamada “Unión T”, quien tiene como función la unión de las tuberías dispuestas en la red de distribución de aire. Esta pieza cuenta con un diámetro interno de 1 pulgada, con una longitud de 10 cm, en sus tres aberturas cuenta con partes roscadas para permitir el correcto acoplamiento de las tuberías dispuestas para estos tramos.

Figura 22. Codo 90°



Fuente: autor

En la figura 22, se presenta la pieza renderizada llamada “codo 90°”, el cual se utiliza para la unión de las tuberías dispuestas en la red de distribución en las zonas de curvas o esquinas, según se representa en la figura 13. Esta pieza cuenta con un diámetro interno de 1 pulgada, con una longitud de 16 cm, esta pieza tiene una curvatura de 90 grados y en sus extremos posee roscar internas con el objetivo de acoplar adecuadamente las tuberías dispuestas para estos tramos de la red.

Figura 23. Codo 45°



Fuente: autor

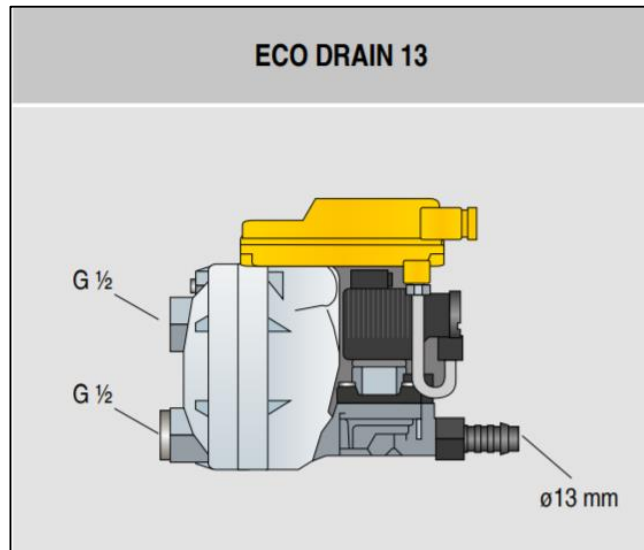
En la figura 23, se muestra la pieza renderizada llamada “Codo 45°”, se utiliza básicamente para unir las tuberías o niples al dispositivo purgador de condensado en las zonas donde sea necesario dar una inclinación o curva. Esta pieza tiene un diámetro interno de ½ pulgada, con longitud de 16 cm, cuenta con una curvatura de 45 grados o 135 grados, esto dependiendo del punto cero que se tome y en sus extremos posee roscas internas para acoplar la tubería o niples dispuestos para esta sección.

3.3.1. Análisis para la generación de energía eléctrica salida del purgador

Para el análisis de generación eléctrica a partir del condensado producido se tiene en cuenta el modelo seleccionado ECO DRAIN 13. El cual cuenta con las siguientes características:

Tabla 7. Características modelo de filtro seleccionado

Presión min/max (Bar)	Dimensiones Anch*Prof*Alt	Peso (Kg)	Alimentación eléctrica	Capacidad del filtro max (m ³ /min)	Campos de aplicación condensado
1/16	212x93x162	2	220 V / 60Hz	300	Condensado de un compresor refrigerado por aceite



Fuente: KAESER COMPRESORES. Drenajes electrónicos de condensado serie Eco Drain.

De acuerdo a lo anterior y partiendo de los cálculos de diseño realizados se establece que el caudal generado por compresor es de 0.00303 m³/s, el cual puede ser inducido de forma regulada mediante la válvula de control a un determinado

porcentaje de apertura. La regulación del porcentaje de apertura influye en el área de sección transversal de salida por lo tanto se aumenta o disminuye la velocidad (López, 2014).

Con base al modelo seleccionado el diámetro de salida del ducto es de $1/2'' = 0.0127$ m como se observa en la Tabla 7.

$$A = \frac{\pi(\theta)^2}{4}$$

$$\frac{\pi(0.0127m)^2}{4} = 1.266 \times 10^{-4} m^2$$

Reemplazando la formula se tiene que:

$$V = \frac{0.0030 \text{ m}^3/\text{s}}{1.266 \times 10^{-4} m^2} = 23,69 \text{ m/s}$$

La densidad es de 1.26 kg/m^3

$$\rho = \frac{\text{masa } (m)}{\text{volumen } (v)}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.00303 \text{ m}^3$$

$$m = 3.78 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

- **Fuerza**

$$F = masa * gravedad$$

$$F = 3.78 \times 10^{-3} Kg * 9.81 m/s^2$$

$$F = 0.037 N$$

- **Torque del fluido de acuerdo al radio de salida al generador**

$$T = Fuerza * radio salida$$

$$T = 0.037 N * 0.00635 m$$

$$T = 2.35 \times 10^{-4} Nm$$

- **Velocidad angular**

$$w = \frac{Velocidad lineal}{Radio de salida}$$

$$w = \frac{23.69 m/s}{0.00635 m}$$

$$w = 3730 \frac{rad}{s} =$$

- **Potencia mecánica**

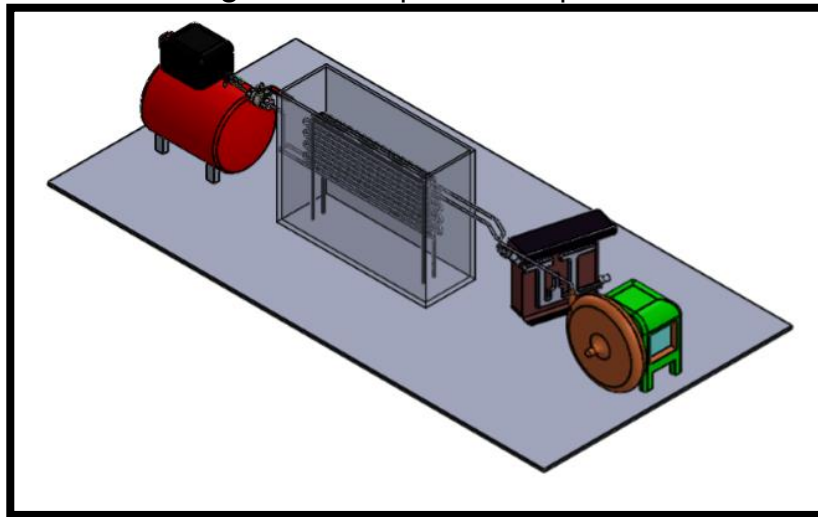
$$Pmec = T * w$$

$$Pmec = 2.35 \times 10^{-4} Nm * 3730 \frac{rad}{s}$$

$$Pmec = 0.87$$

Para el cálculo de la potencia eléctrica obtenida por el generador se considera el resultado obtenido de la potencia mecánica. Se establece un factor de seguridad de 1,4 para un trabajo constante.

Figura 24. Etapas Planta piloto



Fuente: Autor

- **Potencia eléctrica generador**

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\text{Factor de seguridad}}$$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{0.87}{1.4} = 0.62 \text{ W}$$

De acuerdo a la potencia mecánica producida, se considera que la generación eléctrica producida en el sistema abarca un promedio de 0.62 W.

3.3.2 ANÁLISIS GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE CONDENSADO

Para el análisis de generación electrica a partir del condensado producido se tiene en cuenta el modelo seleccionado ECO DRAIN 13 (Ver Tabla 7). De acuerdo a lo anterior y partiendo de los cálculos de diseño realizados se establece que el caudal generado es de 0.0033 m³/s.

Entonces para conocer la velocidad de salida se considera que:

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde,

$$Q = \text{Caudal}$$

$$A = \text{Area de seccion transversal}$$

$$V = \text{Velocidad}$$

Con base al modelo seleccionado (Ver Tabla 7) el diámetro de salida del ducto de condensado es de 13 mm.

$$\theta = 13 \text{ mm} = 0.013 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * (0.013 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 1.327 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Santizo (2014) señala que en los sistemas de baja presión el condensado producido representa aproximadamente el 10% respecto al caudal generado.

Teniendo en cuenta que el caudal producido es de : $Q = 0.0030 \frac{m^3}{s}$

$$\text{El } 10\% \times 0.0030 \frac{m^3}{s} = 0.00030 \frac{m^3}{s}$$

Reemplazando en la formula de velocidad la formula se tiene que:

$$V = \frac{0.00030}{1.327 \times 10^{-4} m^2} = 2.26 m/s$$

La densidad es de 1.26 kg/m^3

$$\rho = \frac{\text{masa } (m)}{\text{volumen } (v)}$$

$$m = \rho * v$$

$$m = 1.26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.000303 m^3$$

$$m = 3.81 \times 10^{-4} Kg$$

● Fuerza

$$\begin{aligned} F &= \text{masa} * \text{gravedad} \\ F &= 3.81 \times 10^{-4} Kg * 9.81 m/s^2 \\ F &= 0.0037 N \end{aligned}$$

- **Fuerza**

$$F = masa * gravedad$$

$$F = 3.81 \times 10^{-4} \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 3.737 \times 10^{-3} \text{ N}$$

- **Torque**

$$T = Fuerza * radio salida$$

$$T = 3.737 \times 10^{-3} \text{ N} * 6.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$T = 2.42 \times 10^{-5} \text{ Nm}$$

- **Velocidad angular**

$$w = \frac{\text{Velocidad lineal}}{\text{Radio de salida}}$$

$$w = \frac{2.26 \text{ m/s}}{6.5 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$w = 347.69 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- **Potencia mecánica**

$$P_{mec} = T * w$$

$$P_{mec} = 2.42 \times 10^{-5} \text{ Nm} * 347.69 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{mec} = 0.0084 \text{ W}$$

Para el cálculo de la potencia eléctrica obtenida producida a partir del condensado se establece un factor de seguridad de 1,4 para un trabajo constante.

- **Potencia electrica**

$$Pelectrica = \frac{Pmec}{Factor\ de\ seguridad}$$

$$Pelectrica = \frac{0.0084\ W}{1.4} = 0.0060W$$

De acuerdo a la potencia mecánica producida, se considera que la generación electrica a partir del condensado abarca un promedio de 0.0060 W.

3.4. PROPONER UNA ETAPA DE INSTRUMENTACIÓN

Con el fin de obtener un mayor control sobre el sistema, se propone ciertos aspectos a tener en cuenta para la obtención de un control automatizado, que facilite la medición de ciertos parámetros, ayudando en la determinación de datos fundamentales para la eficiencia del sistema. Este consta de una serie de instrumentos, que pueden ser utilizados en esta finalidad. A continuación, se puntualizan algunos de estos elementos claves e idóneos para el desarrollo.

3.4.1. Control por Ordenador

Para ellos se emplean mini ordenadores, con interfaces concretas para el sistema a controlar.

3.4.2. Termómetro

Se utiliza este instrumento para poder estar al tanto de la temperatura en la que se encuentra el interior del sistema.

3.4.3. Manómetro

Este instrumento de medición será utilizado para medir la presión del aire contenido en el sistema, la medición se da en unidades de libra de fuerza por pulgada cuadrada (psi) y se encuentra en la tubería de salida del compresor.

3.4.4. Válvula de cierre

Las válvulas de cierre sirven como interruptores de seguridad, ya que esta válvula se usa para regular el flujo de aire en las tuberías mediante la apertura y el cierre, estas se encuentran ubicadas primordialmente en la salida del tanque.

3.4.5. Purgador

Se instala principalmente en el tanque y un tramo de la tubería de aire comprimido.

3.4.6. Válvula limitadora de Presión

Limita la presión en el sistema. Cuando el sistema se sobrecarga la válvula limitadora de presión se abre y el flujo condensado se descarga directamente al depósito destinado.

3.4.7. Sensores

Se utilizarán para que produzcan una señal, usualmente eléctrica que renos indicará como está trabajando el proyecto. Se encuentran en el interior diferentes dispositivos, los cuales pueden ser el purgador, el manómetro, en las tuberías, etc.

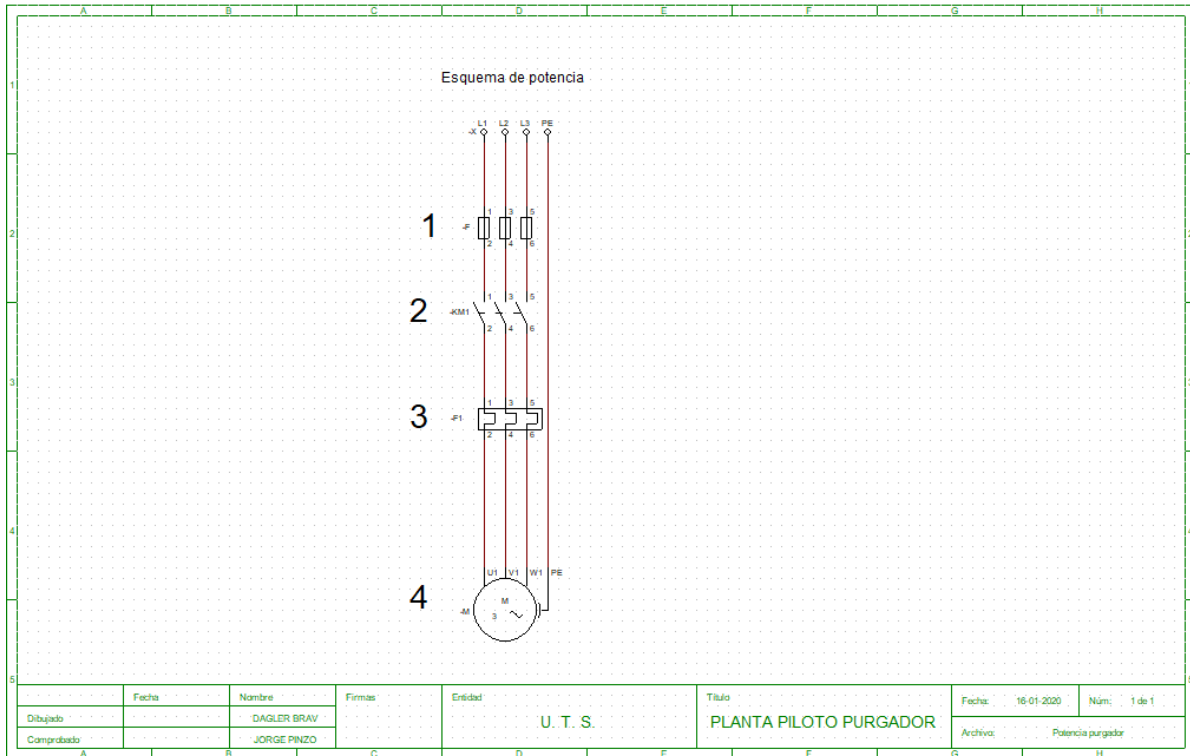
3.4.8. Sensor de caudal

Se emplea el uso de un sensor en el sistema para el análisis de caudal del aire, también se utiliza para determinar el caudal en la salida del compresor. Este tipo de sensor trabaja con la unidad de medida de m^3/min y se encuentra principalmente en un tramo de la tubería de salida del compresor.

3.4.9. Motor de inducción en compresor.

Teniendo en cuenta los sensores ya mencionados, se añade al motor para estar informados de parámetros su funcionamiento. Este hace parte de la unidad compresora de aire. Para la maniobra de encendido y apagado de este equipo, se es posible utilizar elementos de control como contactores, relé térmico de sobreprotección, breakers entre otro.

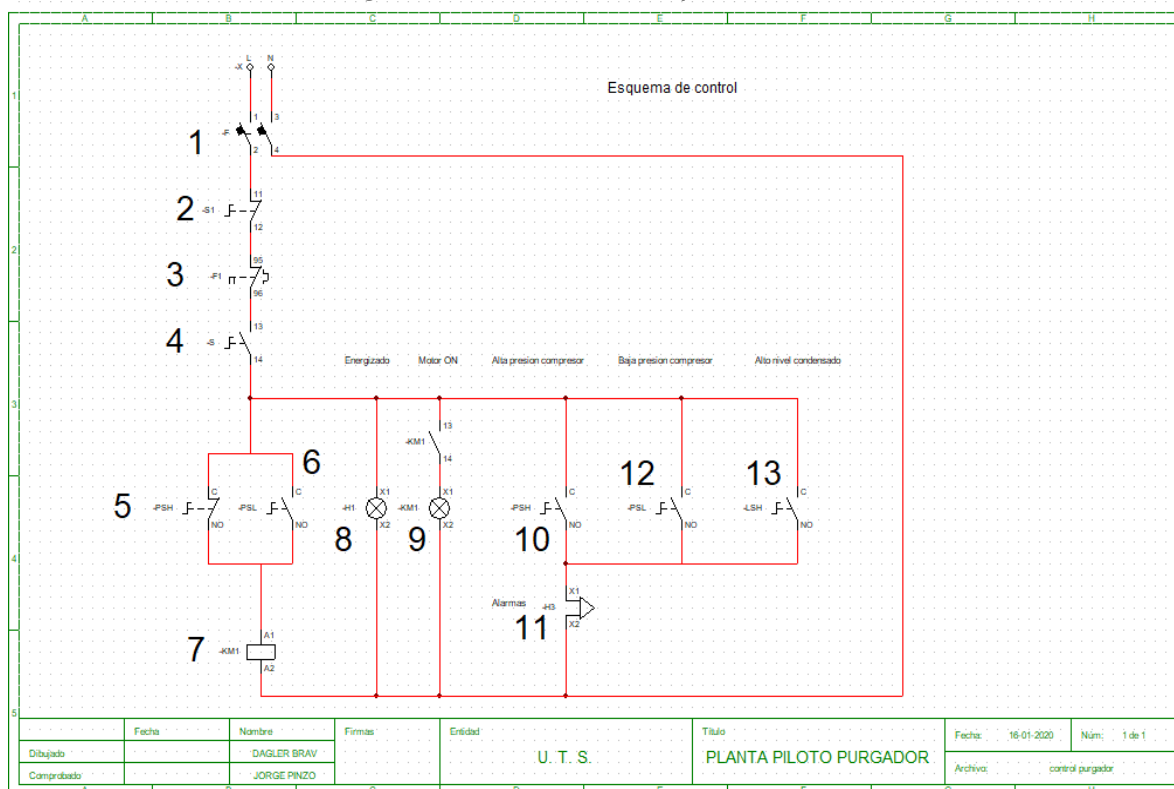
Figura 25. Etapa de potencia



En la imagen anterior se puede evidenciar el esquema de potencia eléctrica de la planta piloto para purgador inteligente, el cual, para este caso, va direccionado hacia el motor del compresor (4).

Para este esquema se tienen en cuenta distintos elementos eléctricos y de automatización utilizados en el esquema de control, el cual complementan con el de potencia, para este esquema se utilizaron elementos tales como la alimentación eléctrica, fusibles de protección (1), protección térmica (2), contactor del motor (3) y por último se encuentra la simbología del motor eléctrico (4).

Figura 26. Conexión etapa de control



Fuente: Autor

La imagen anterior, se presenta el esquema unifilar realizado en CadeSimu del sistema de control eléctrico propuesto para el acondicionamiento en la planta piloto para el estudio del purgador inteligente. En este esquema se emplea un circuito el cual consta de distintos elementos de automatización e instrumentación, necesarios para el correcto control lógico requerido en las acciones implementadas dentro del sistema.

Como se evidencia en la ilustración, se insertan las simbologías de cada elemento para una correcta interpretación del esquema. En el diagrama se encuentran distintos elementos como fuente de alimentación eléctrica, brekers de protección (1)

en caso de una sobre carga del sistema, un pulsador de para de emergencia (2), un accionamiento térmico (3), un interruptor tipo ON-OFF (4), un sensor que indica alta presión PSH (5-10) el cual va conectado a la bobina del contactor del motor (7) y a su vez, a la alarma (11), esto con la intención de indicar la presión de la planta piloto este en un rango superior al estimado, que para este serian de 9 bares.

El sensor utilizado detecta y envía la señal de corte de energía por medio de sus contactos NC (normalmente cerrado) el cual cambiara de posición y abrirá, restringiendo el paso de energía eléctrica al contactor del motor (7), de igual forma este sensor (5-10) por medio de su contacto NA (normalmente abierto) quien cambiara de posición y cerrara, envía una señal al elemento de alarma (11); del mismo modo encontramos el sensor de baja presión PSL (6-12) quien conecta al contactor del motor (7) y al elemento de alarma (11), este sensor detecta la baja presión en el sistema y por medio de su contacto NA (normalmente abierto) quien cambiara su posición y cerrara, permitiendo el paso de energía eléctrica al contactor del motor (7), igualmente lo hará en el momento de enviar la señal eléctrica al elemento de alarma (11); también se adecua un sensor de alto nivel de condensado LSH, quien me indicara el instante en el que el purgador se encuentre con alto nivel de condensa y enviara la señal a este para su evacuación.

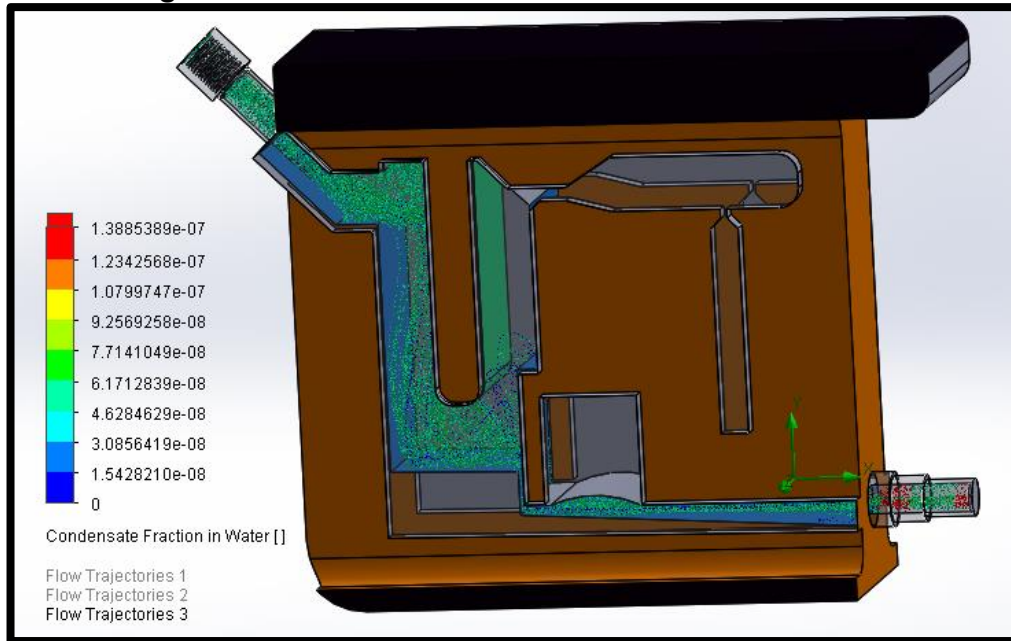
3.5. MODELAR LA FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA

Como se puede evidenciar en las consignas anteriores, se tiene en cuenta el software SolidWorks para la modelación del diseño del sistema, cumpliendo y teniendo en cuenta los parámetros establecidos tanto por los cálculos de diseño como también por los aspectos de dibujo pertinentes en el momento de emplear el software.

En el paso de modelación de la funcionalidad del sistema, se sigue contando con la ayuda del software, a través de su complemento llamado SolidWorks Flow simulation, el cual tiene como función recrear de forma animada y específica, los estudios requeridos de una pieza o ensamble desarrollado en la herramienta, arrojando así, datos con cierta precisión de acuerdo al requerimiento deseado y las especificaciones dadas, para que, este precise su análisis, aportando resultados muy fundamentales en el momento de hacer comparación o comprobación de funcionalidad.

De acuerdo a la operatividad del complemento SolidWorks Flow simulation, se ingresan los datos necesarios obtenidos en la etapa de diseño, se realiza la configuración en el software, teniendo en cuenta el tipo de sistema y la finalidad que se desea, el cual para este, se trabajó con flujo de aire, posteriormente a esto, se ejecuta la opción simulación, donde el software adquiere los datos suministrados e interactúa con estos arrojando unos parámetros, luego se hace necesario manejar el software desde su configuración, con el fin de observar el resultado requerido (esto teniendo en cuenta lo que suministra la simulación) y analizar su comportamiento.

Figura 27. Simulación 1, condensate fraction in wáter.



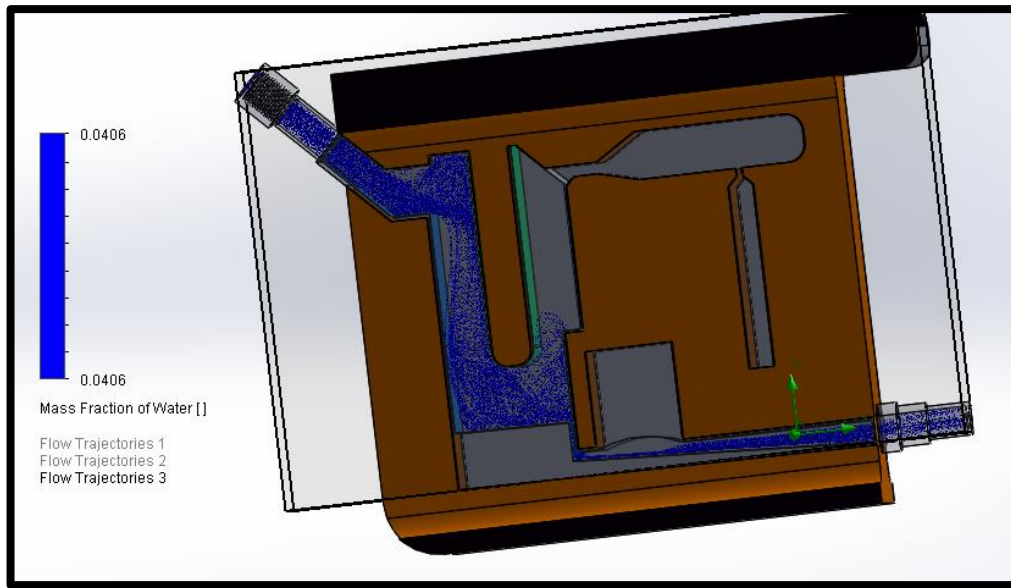
Fuente: autor

En la imagen anterior, se puede evidenciar la interfaz del software con su respectiva simulación en el complemento Flow simulation, para este caso se obtuvo los datos de “condensate fraction in wáter” fracción de condensado en agua, el cual es un valor fundamental en el análisis del sistema. En él, se observa el dispositivo purgador y su conducto interno, los puntos referenciados dentro de este, modelan las partículas de aire, su color hace referencia a los valores obtenidos de la simulación para este punto.

De acuerdo a los resultados, se puede ver la escala de valores discriminados por color, donde el color azul viene siendo el valor más bajo y el color rojo el valor más alto, el cual, si se mira el sistema, se puede analizar que en las partículas de aire que circulan por los conductos internos del purgador, tienen una considerable cantidad de valor en condensado, es decir, en este instante se presenta el ciclo de

condensación del aire, promediando un valor de $7.7E-8$ arrojado por el software, del cual se deduce que por cada partícula de aire, se condensa este valor.

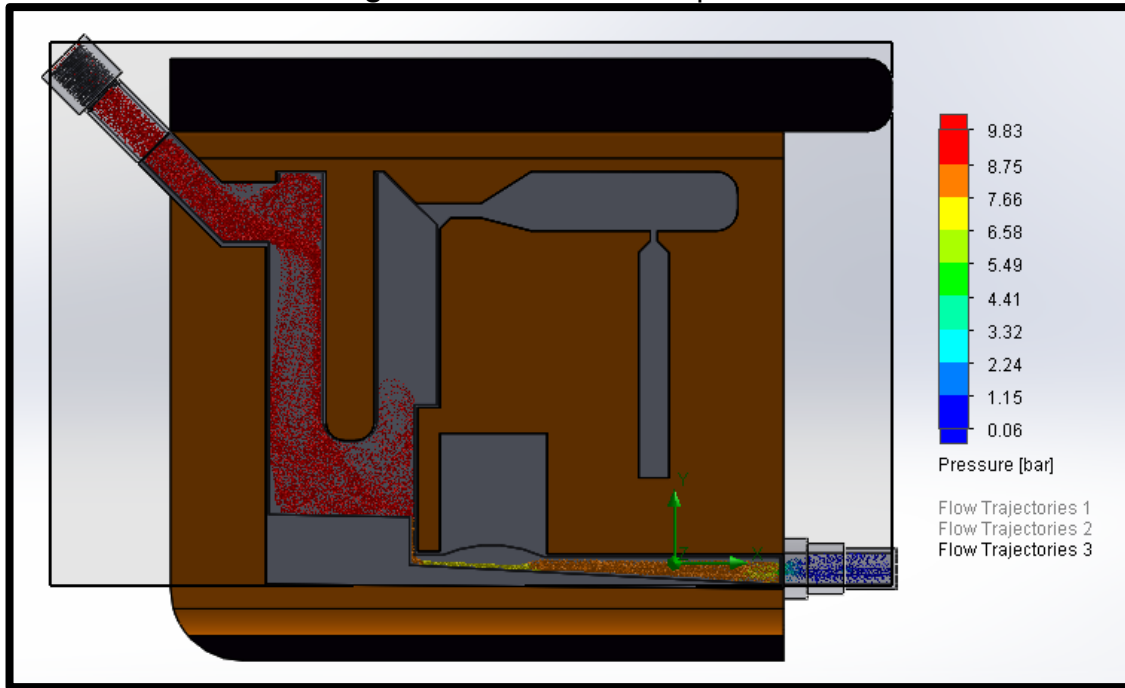
Figura 28. Simulación 1, Mass fraction of wáter.



Fuente: autor

En la anterior imagen, se presenta la interfaz de SolidWorks Flow simulation, proporcionando como resultado de la simulación el valor de “Mass fraction of wáter” fracción masa de agua, este valor, a diferencia del anterior, se muestra en una tabla de un solo color, esto simboliza que se obtuvo un solo valor, el cual nos dice, que en el instante que llegan las partículas de aire presurizado al purgador, estas traen consigo una masa molecular de agua que para este caso equivale a 0.046, que luego, este valor es el desprendido del aire para formar el líquido, que coloca en servicio la operación del dispositivo purgador, este valor analizado, hace gran semejanza al hallado en el diseño, en el aparte que se refiere a la producción de líquido condensado, comprobando de esta manera el desarrollo del dispositivo.

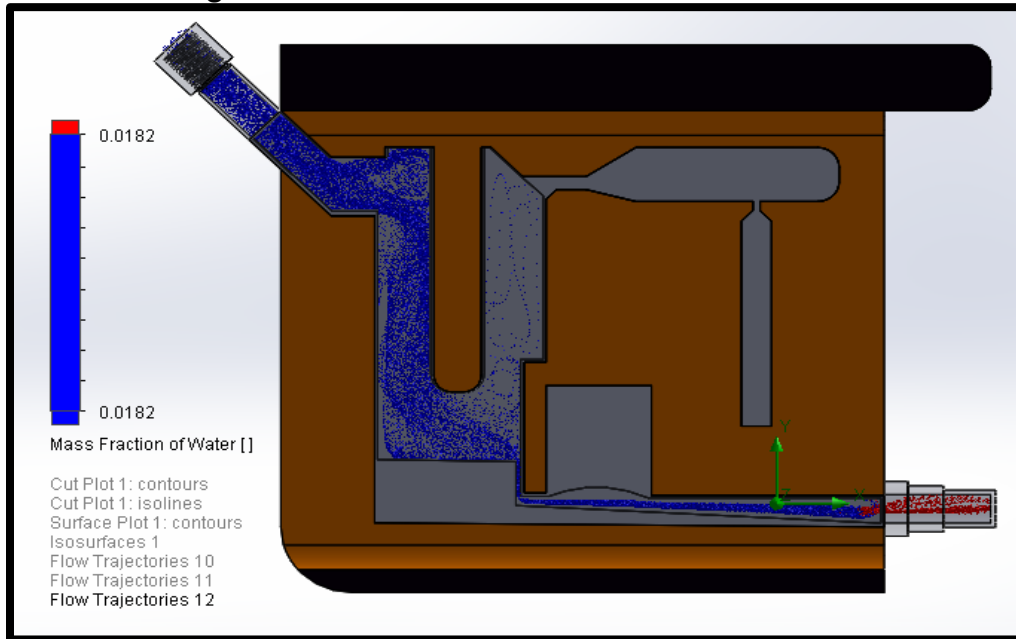
Figura 29. Simulación 1, presure



Fuente: autor

En la anterior imagen encontramos la simulación mediante el complemento de SolidWorks Flow simulation, donde se analiza el resultado aportado por dicha simulación tomando los datos de “pressure” presión, este muestra, a través de su tabla de colores, el comportamiento de las partículas de aire respecto a la presión en el sistema, lo cual se deduce, que lo hallado en el cálculo de diseño como el resultado de simulación aportada por el software, tienen relación, pues arroja un valor de presión de entrada al dispositivo purgador equivalente al orden aproximado de los 9 bares, teniendo en cuenta el funcionamiento del purgador, se ve la disminución de presión en el instante que estas partículas pasan a la parte inferior del dispositivo, donde al final, la presión del aire se aproxima a cero, garantizado una descompresión del sistema y por ende la correcta evacuación del líquido producido por la etapa de condensación del aire.

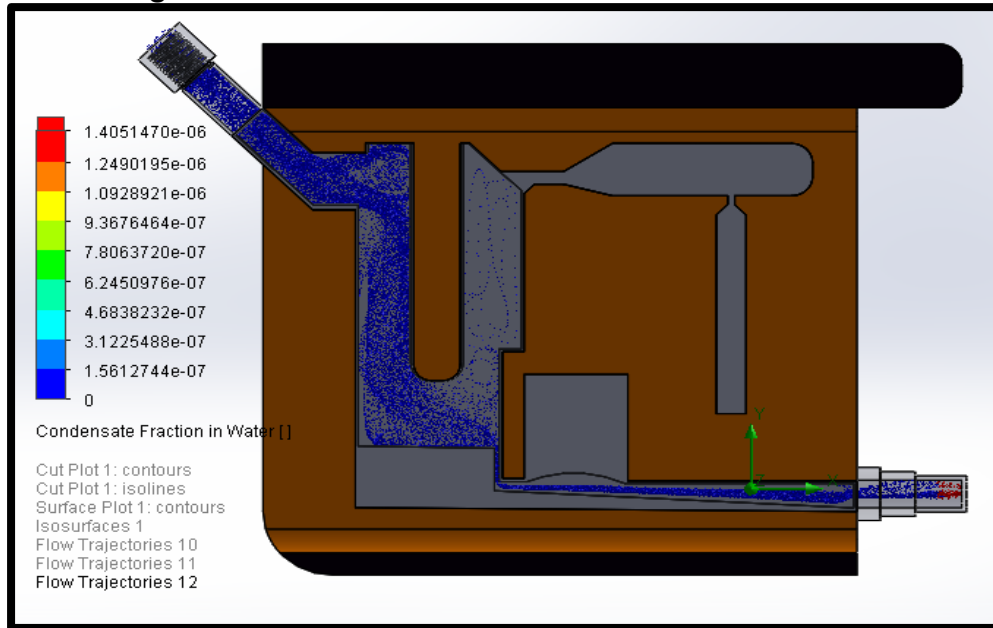
Figura 30. Simulación 2, Mass fraction of wáter.



Fuente: autor

En la figura 30, se muestra la imagen del dispositivo purgador donde se le realiza su simulación mediante el complemento del software SolidWorks Flow simulation, para este caso se le ha dado una variación en los datos suministrador con el fin del comportamiento del fluido en relación de su proceso de condensación, en esta simulación se la varia la temperatura en el dispositivo, se denota que al disminuir el valor de este parámetro, se evidencia un cambio en la fracción masa de agua, la cual disminuye, esto deduce que por cada partícula de aire existe un menor valor de agua con respecto a la simulación anterior.

Figura 31. Simulación 2, condensate fraction in wáter.



Fuente: autor

Teniendo en cuenta la variación realizada, la cual se especifica en el párrafo anterior, se presenta la figura 31, donde la simulación con el software arroja el resultado de fracción de condensado en agua, evidenciando que para este caso, el valor promedio es de $1.56\text{E}-7$, de esto se deduce, que al disminuirle la temperatura aumenta este valor en relación con la simulación anterior, es decir, para este punto, por cada partícula de aire, se hará el proceso de condensado cada vez más.

4. RESULTADOS

El proyecto abarco en primer lugar la investigación de antecedentes los cuales permitan crear una idea clara de que teorías y conceptos incluye la selección de modelos de purgadores existentes en las industrias, con el fin de identificas los parámetros operacionales requeridos en el diseño del sistema. La información recolectada brinda variables de diseño como longitud, descripción geométrica, modo de uso, fallas comunes y demás aspectos requeridos para el diseño de un purgador inteligente.

Se realiza un proyecto de simulación con el fin que los estudiantes desarrollen un proceso de manipulación fácil y dinámico de aprendizaje mediante la herramienta SolidWorks la cual permite el diseño asistido por computadora 3D para modelar piezas, ensamblajes y planos en 2D de cada una de las etapas del proceso de la planta piloto de purgadores inteligentes en líneas de aire comprimido se podrá efectuar dicho proceso de simulación

Con base en lo anterior, se realizará el diseño de representaciones graficas de un sistema de purgador inteligente, en el que se ilustra cada de sus piezas, los componentes e interconexión. De igual forma se plantean planos y especificaciones técnicas de la instrumentación mediante diagramas esquemáticos.

Se plantea múltiples componentes para la funcionalidad y desempeño del sistema, se realizarán análisis de los resultados y poder determinar los diseños que realmente aportan avance al proyecto, los cuales permitan corroborar el correcto desarrollo del programa.

5. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una investigación de tipo cuantitativo y cualitativo, para determinar las características de entrada y de salida con las cuales se tendrán presente las etapas de evolución para cada uno de los lapsos del sistema, así como de sus elementos de interconexión ya que son los encargados de centralizar todo el cableado de una red bien sea en estrella o en árbol, requeridas para el diseño de un sistema. Para poder llevar a cabo este proyecto se planteó de manera detallada cada una de las etapas aplicando los diferentes principios de ingeniería, para determinar las especificaciones técnicas mecánicas, eléctricas y funcionales del sistema, para estandarizar y considerar como referencias principales.

Se realizaron cursos de modelado y simulado para el software SolidWorks de manera virtual, con enfoque en el diseño de piezas para cada una de las etapas del proceso, de esta manera poder integrarlas en una planta piloto, se ejecuta de esta forma con la intención de utilizarla como guía para su edificación y puesta en marcha en una etapa posterior. Adherido a esto se propuso una etapa de instrumentación con el fin de optimizar los recursos utilizados en esta, con la cual se automatizó la planta piloto, se realizaron mediciones de los parámetros y se determinó la eficiencia del sistema.

Para finalizar se llevó a cabo el modelado de la funcionalidad del sistema con base a la experiencia adquirida en los cursos virtuales, se realizó el análisis de resultados puesto que la información obtenida permitió establecer las conclusiones del sistema, con la finalidad de poder corroborar el correcto desarrollo.

6. RECOMENDACIONES

Es indispensable seguir de manera precisa y correcta los procesos de mantenimiento y marcha del sistema, con el fin de asegurar el correcto desempeño del equipo. Con esto se garantiza una vida rentable más extendida con menos interrupciones. Resultaría de gran utilidad que seguido de la instalación hacer la calibración, seguido de esto realizar las pruebas necesarias y cumplir con el procedimiento de inspección para certificar la operación del sistema.

Para disminuir la acumulación de impurezas se recomienda drenar el condensado constantemente según procedimiento de mantenimiento. El personal que este encargado de realizar el mantenimiento y gestión de la operación del sistema debe informar sobre cualquier irregularidad presentada.

Se recomienda leer detalladamente el manual antes de utilizar cualquier herramienta neumática, y suministrar la presión sugerida por el fabricante a través del uso del regulador de presión de cada estación de trabajo.

De acuerdo a los cálculos realizados para una etapa de generación de energía se establece que el sistema no presenta viabilidad ya que el caudal y presión de salida son bajos. Por lo que se requiere de altas horas de generación para potencias mínimas, como lo es la alimentación de un bombillo el cual necesita de casi dos horas y medias para encender.

BIBLIOGRAFÍA

Cruz, L. B. (2011). Automatización del sistema de aire comprimido para ahorro de energía . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería.

FESTO. (2014). Acumulador de aire comprimido. sd: FESTO.

Fuster, J. Z. (2013). Diseño e instalación de un sistema de aire comprimido para una planta de ciclo combinado. Madrid : Escuela técnica superior de ingeniería (ICAI).

García, L. T. (2006). Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T7. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería .

Jacareí, S. (2003). Tecnología Neumática Industrial. Brasil: Parker Training.

KAESER. (2018). Purgadores automáticos de condensado Serie ECO-DRAIN. España: Villanueva de Gállego.

Ley número 52, d. (1993). El congreso de la república de Colombia. Colombia: República de Colombia.

Martín, G. (2016). Sistemas de almacenamiento de energía. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Mendoza, D. (2017). Rediseño de aire comprimido para evitar residuos de aceite en la empresa Camposol S.A. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo facultad de ingeniería escuela académico-Profesional de ingeniería mecánica.

Montalba, D. A., & Benítez, C. J. (2014). Análisis de la Red de Aire Comprimido Planta de Harina Camanchaca S.A. Chile: Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Mecánica .

Morfín, N. R. (2010). Evolución del saber, desde las creencias hasta la ciencia. Mexico: IMEP.

Nieto, G., Sierra, K., Galvis, J., Rios, M., Roldan, J., & Duque, J. (2016). Diseño e instrumentación de una línea de aire comprimido para un laboratorio académico. Barranquilla: Universidad tecnologica de pereira.

Resolución NO. de, 2. (1987). Proyecto de Reglamento Técnico de Calderas Para Colombia. Colombia: Ministerio de la proteccion social Ministerio de minas y energia.

Silva, C. (2016). Sistemas de almacenamiento de energia mediante aire comprimido dentro de formaciones geologicas en Chile. Chile: Universidad de Chile.

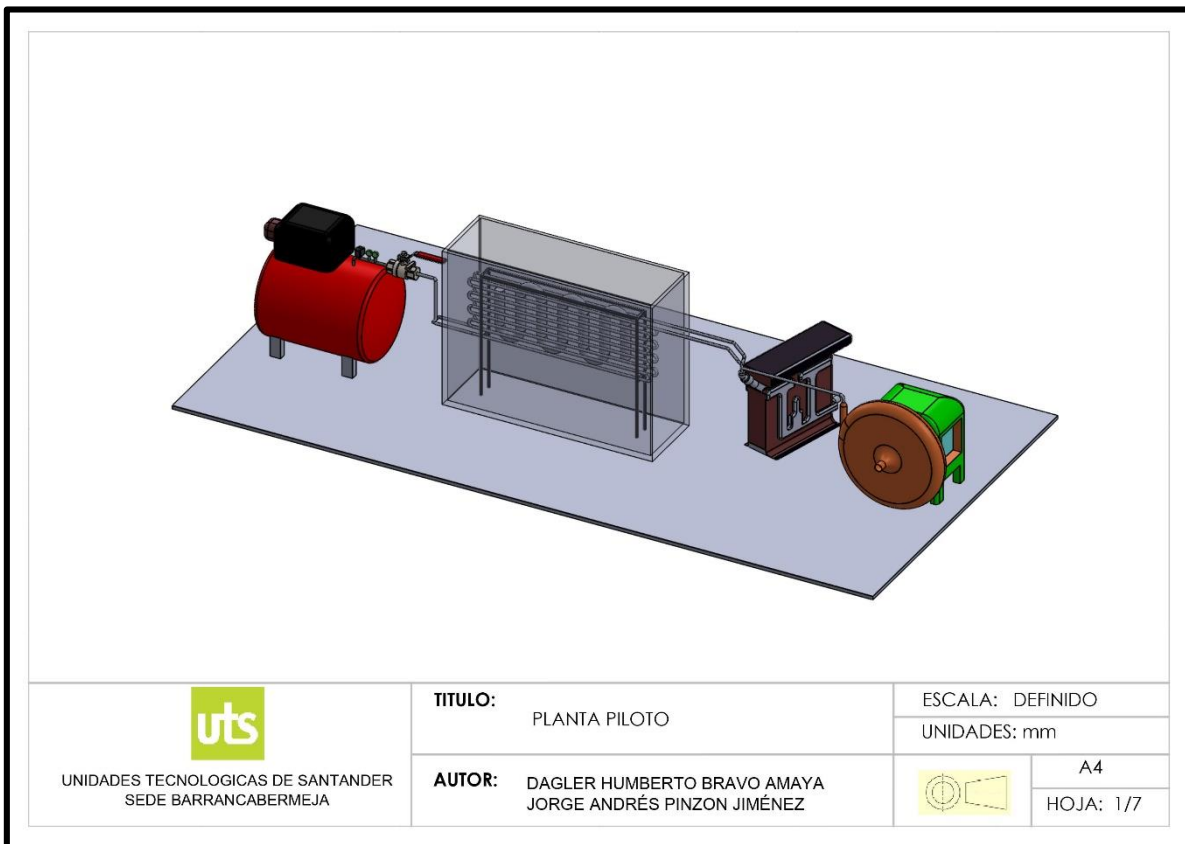
VAPOR PARA LA INDUSTRIA. (2013). Tipos de purgadores de vapor para eliminar condensado. sd: Spirax Sarco. Obtenido de <https://vaporparalaindustria.com/tipos-de-purgadores-de-vapor-eliminar-condensado/>

Vergara, G. N., Sierra, K. M., Villero, J. G., Bertel, M. R., Mckinley, J. R., & Duque, J. (2016). Diseño e instrumentación de una línea de aire. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira Colombia.

Zaugg. (1975). Air storage power generating plants. sd: Brown boveri review.

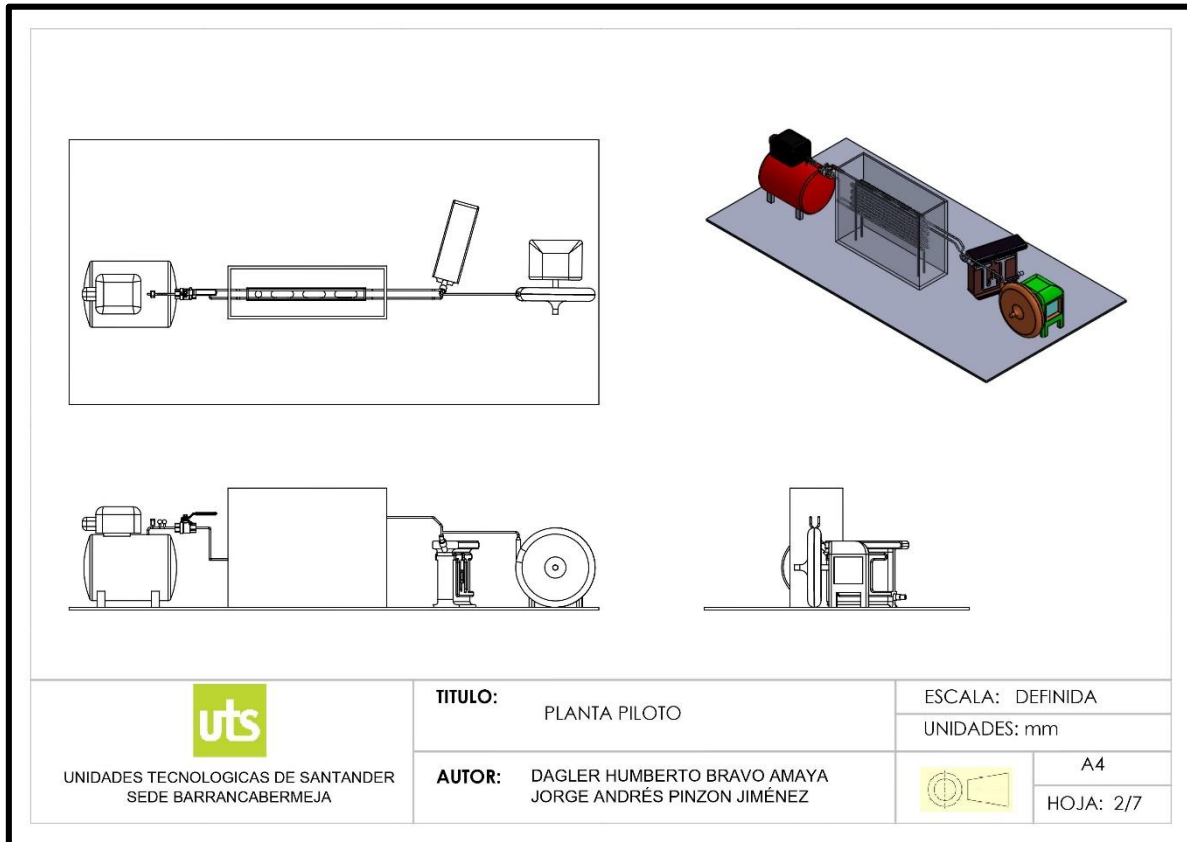
ANEXOS

Anexo 1. Planta piloto



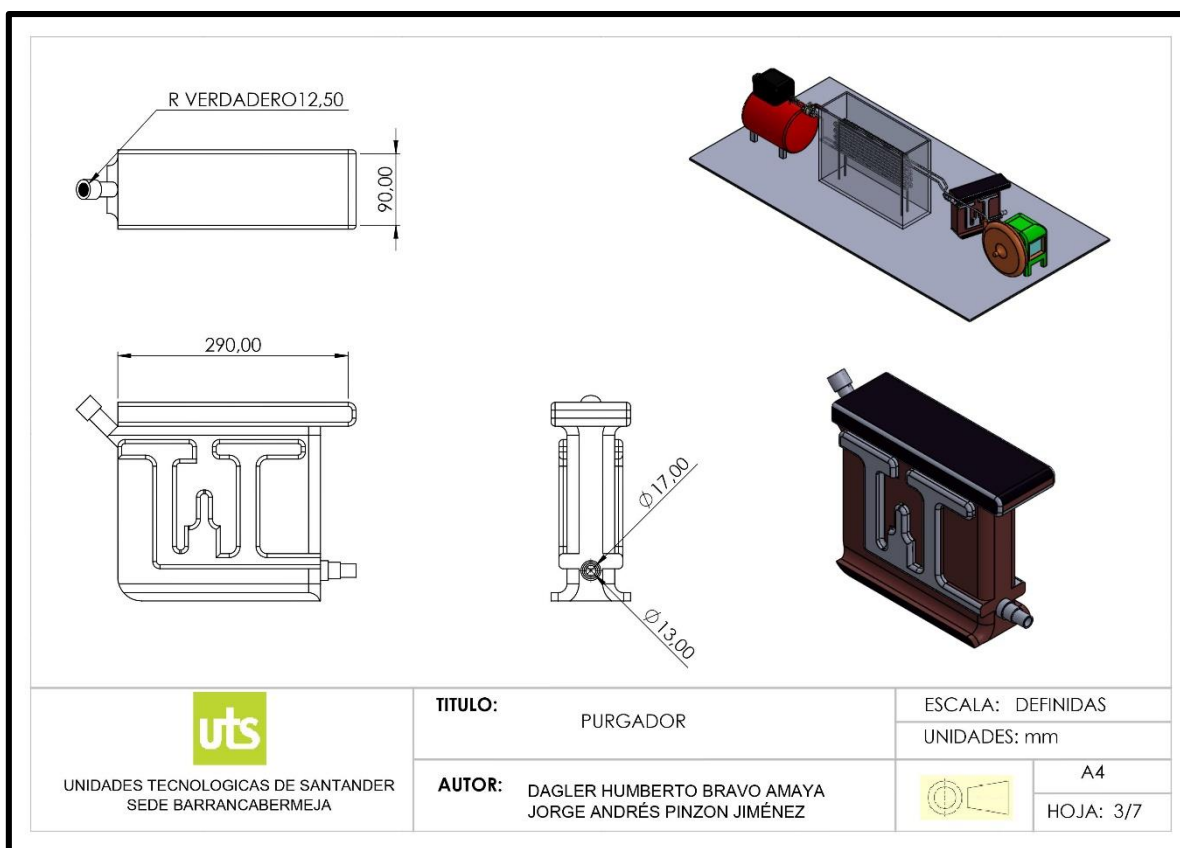
Fuente: Autor

Anexo 2. Vista lateral superior y frontal



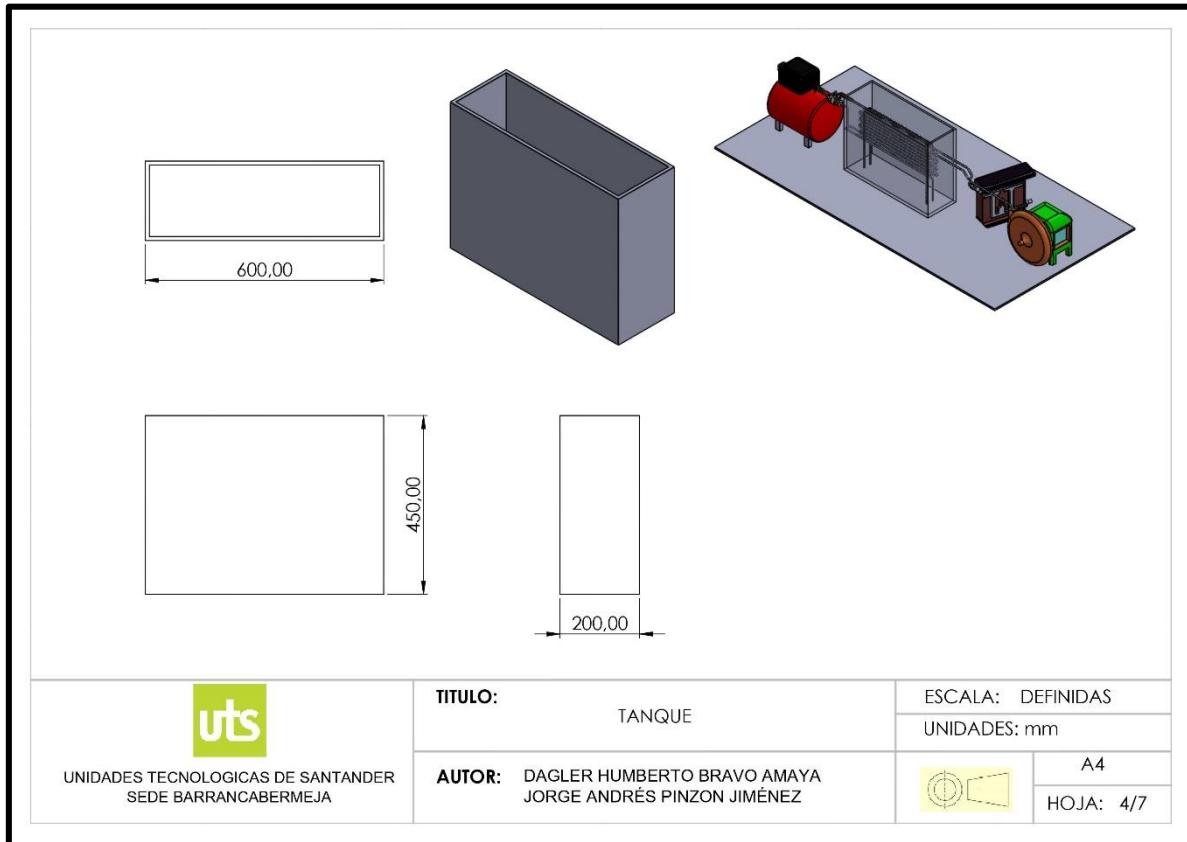
Fuente: Autor

Anexo 3. Purgador



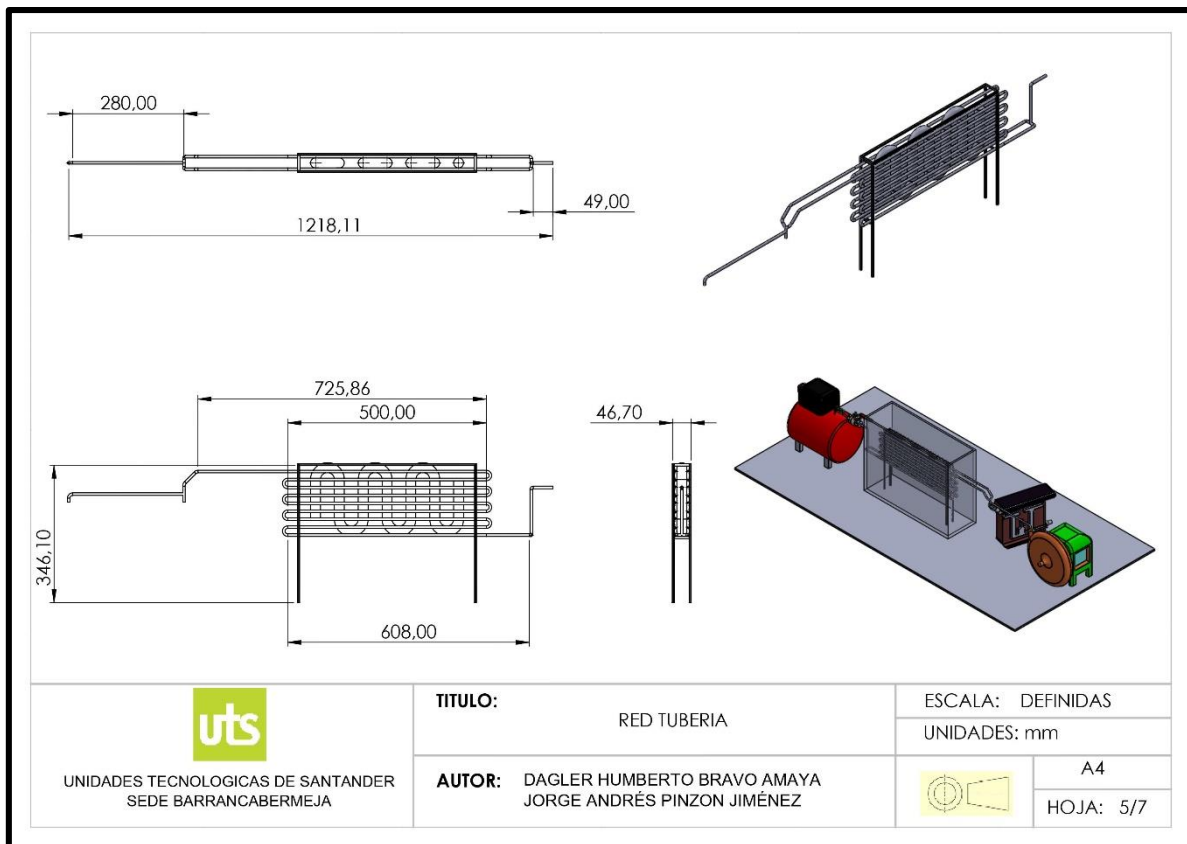
Fuente: Autor

Anexo 4. Tanque



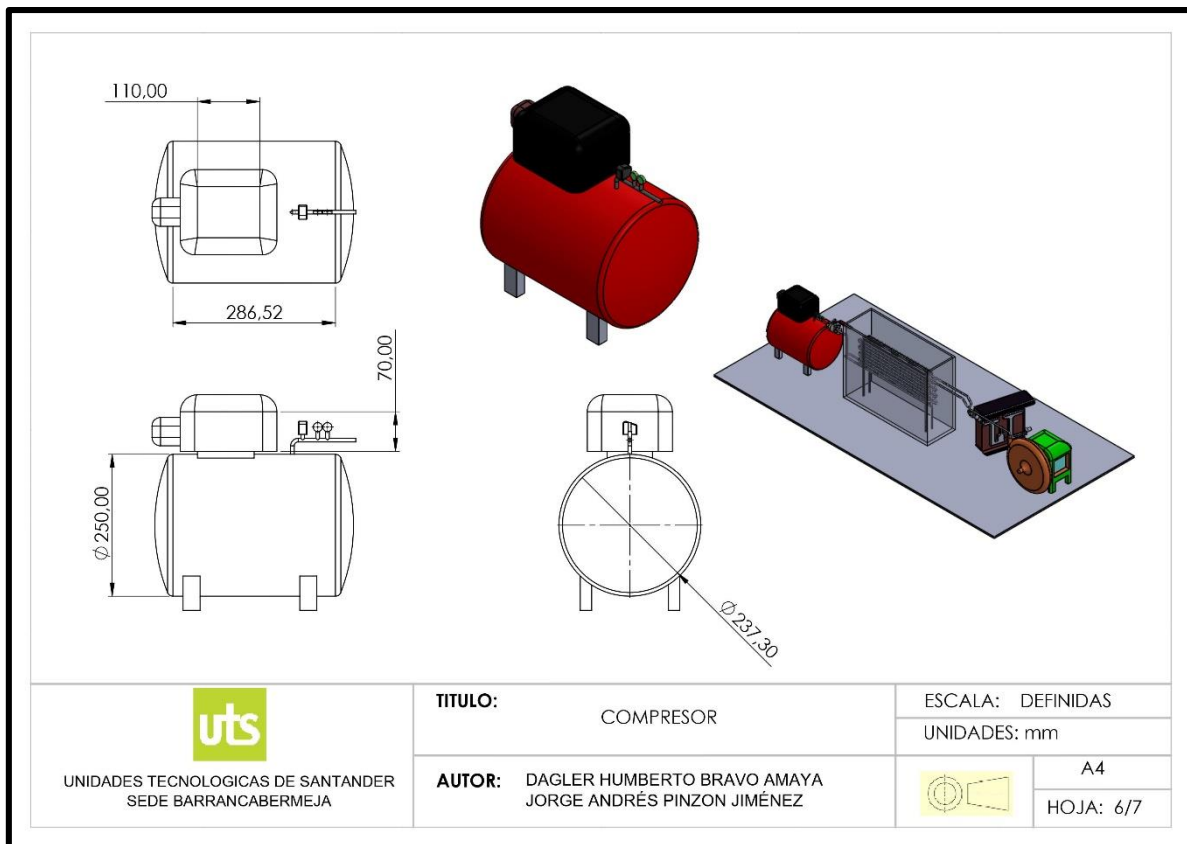
Fuente: Autor

Anexo 5. Red tubería



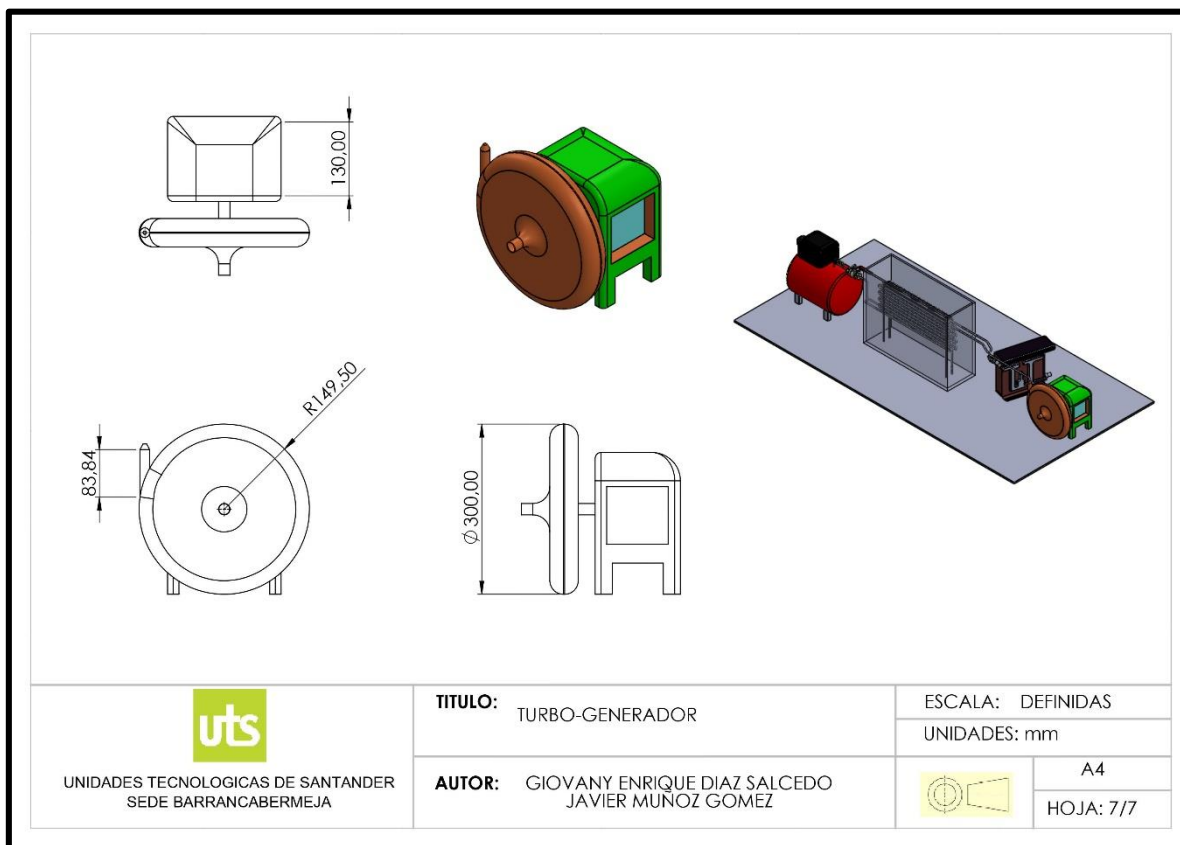
Fuente: Autor

Anexo 6. Compresor



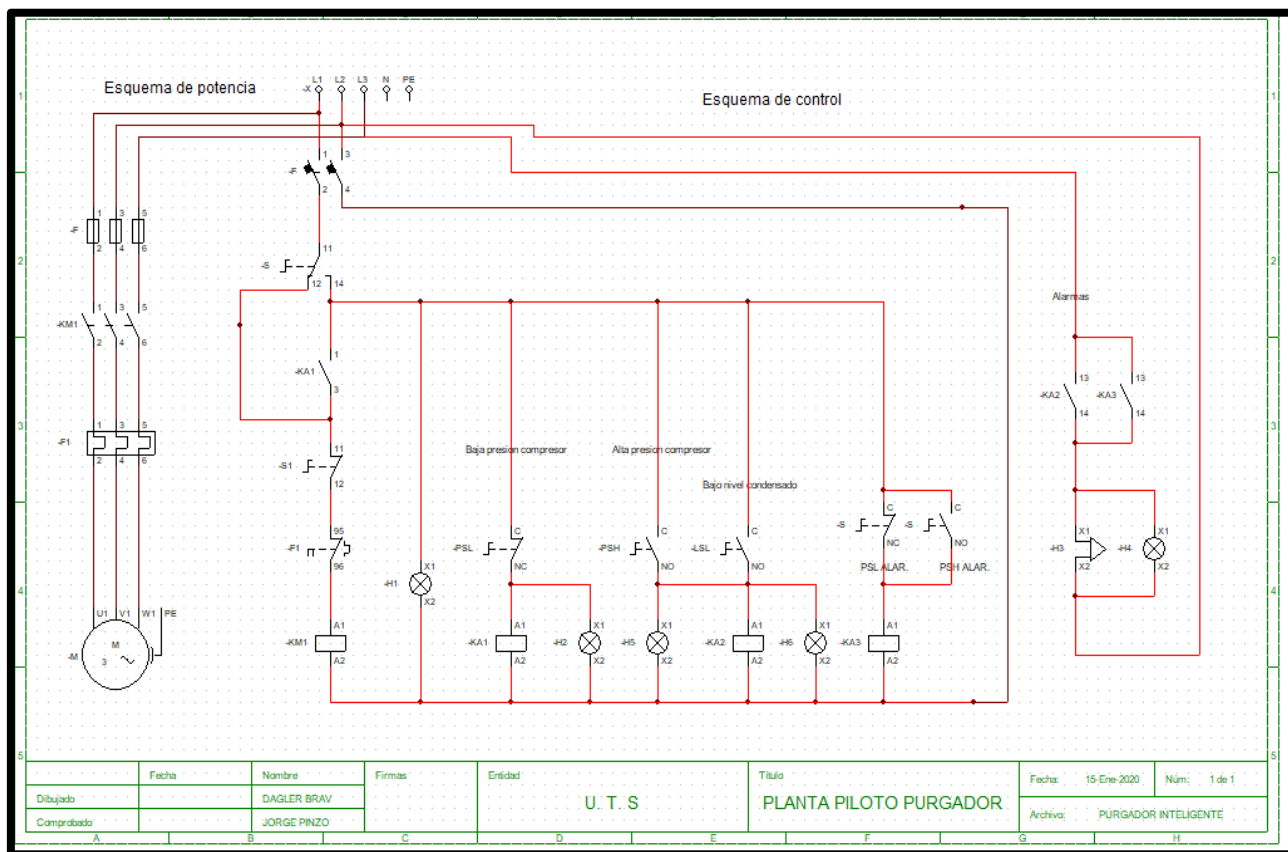
Fuente: Autor

Anexo 7. Turbi generador



Fuente: Autor

Anexo 8. Automatización y sistema de control del purgador



Fuente: Autor