



Diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para el consumo masivo en la región
Amazónica en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos 2023.

TESIS DOCTORAL

para obtener el Grado de Ph.D.

DOCTOR EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

PRESENTA

Roberto Francisco Arias Hinojosa

ASESOR

Julio Cesar Osorio Mendoza

México, (2025)

La presente Tesis Doctoral debe ser citada como:

Arias, Roberto (2025). *Diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para el consumo masivo en la región Amazónica en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos 2023*. [Tesis de Doctorado. Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX].



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Se permite la reproducción total o parcial y la comunicación pública de la obra con reconocimiento de la autoría y mención de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX.

No se permite el uso comercial ni la creación de obras derivadas.

Resumen.

Durante la crisis sanitaria del COVID-19, se evidenció en la zona amazónica del Ecuador que había problemas logísticos para garantizar un abastecimiento constante y que dependían de proveedores externos para obtener oxígeno medicinal e industrial. En este contexto, se planteó que la investigación tuviera como objetivo diseñar una planta de oxígeno con una capacidad de 5 m³/h. Su objetivo es un empleo a gran escala en Sucumbíos, Lago Agrio. El estudio se realizó con un enfoque de tipo cuantitativo, que no era experimental y tenía carácter explicativo. Los datos se adquirieron a través de encuestas en centros sanitarios; la matriz QFD fue la técnica que se empleó para examinar las exigencias técnicas. Con los datos obtenidos no sólo se pudo establecer indicadores y parámetros clave, sino también definir criterios específicos que caracterizan los componentes esenciales del sistema y la capacidad operativa necesaria. Se modificó el diseño y se dio como resultado un proceso de planificación proactivo para diseñar la estructura y el funcionamiento de la planta utilizando programas CAD como SOLIDWORKS ANSYS para evaluar su rendimiento en condiciones de funcionamiento reales. Determina que poner en marcha una planta de producción local es una opción viable para reducir la dependencia exterior, mejorar los costos y fortalecer la capacidad de respuesta del sistema sanitario en la región amazónica.

Palabras clave: *diseño de planta, oxígeno medicinal, PSA, simulación, matriz QFD.*

Abstract.

During the COVID-19 health crisis, it became evident in the Amazon area of Ecuador that there were logistical problems to guarantee a constant supply and that they depended on external suppliers to obtain medicinal and industrial oxygen. In this context, it was proposed that the research aimed to design an oxygen plant with a capacity of 5 m³/h. Its objective is a large-scale employment in Sucumbíos, Lago Agrio. The study was carried out with a quantitative approach, which was not experimental and had an explanatory character. The data were acquired through surveys in health centers; the QFD matrix was the technique used to examine the technical requirements. The information obtained allowed to establish the design parameters of the fundamental parts of the system and the required operational capacity. To model the structure and simulate the operation of the plant, computer-aided engineering instruments such as SOLIDWORKS and ANSYS were used; this made it possible to analyze the performance of the plant under operating conditions. The proposed design was approved as technically possible, ensuring an uninterrupted oxygen supply, with adequate levels of purity and efficiency in operation. He determines that starting up a local production plant is a viable option to reduce foreign dependence, improve costs and strengthen the response capacity of the health system in the Amazon region.

Keywords: plant design, medicinal oxygen, PSA, simulation, QFD matrix.

Agradecimiento.

Primero, a Dios por darme la oportunidad de alcanzar este instante tan significativo de mi vida. Por todo lo que he alcanzado, haber superado las adversidades y situaciones complicadas que me han enseñado a apreciar la vida y avanzar.

A mi hija y a mi madre, quienes son el pilar fundamental en mi vida, quienes han sabido impulsar en toda mi carrera profesional en cada paso.

Al Dr. Julio Cesar Osorio Mendoza, quien con su profunda vocación de docente puso en evidencia su amor a la investigación al guiarme en el proyecto de investigación.

Roberto

Dedicatoria.

El presente proyecto de investigación se lo dedico a mi hija Danna Arias, quien supo estar acompañándome en todo momento y darme fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar a pesar de los problemas que se presentaban, a mi madre Rita Hinojosa quien cada día me guía y enseña a no rendirme, me ayuda enfrentar las adversidades que se vayan suscitando sin desfallecer en el intento.

Roberto

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I. Proyección de la investigación.	19
1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio.....	19
1.2. Planteamiento del problema	20
1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación).....	21
1.4. Justificación.....	21
1.5. Objeto de estudio	23
1.6. Campo de acción	23
1.7. Objetivos.....	24
1.7.1. Objetivo General.....	24
1.7.2. Objetivos específicos.....	24
1.8. Hipótesis.....	24
1.9. Alcance temático.....	24
1.10. Delimitación Espacial y Temporal.....	25
Capítulo II. Fundamentos Teóricos Referenciales.....	26
2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual).....	27
2.2.1. Antecedentes internacionales.....	28
2.2.2. Antecedentes nacionales.....	29
2.2. Marco Teórico.....	31
2.2.1. Fundamentos teóricos del oxígeno	31
2.2.2. Demanda y necesidad de oxígeno medicinal.....	34
2.2.3. Costos y dinámica económica del oxígeno medicinal.....	35
2.2.4. Producción y actores principales en la industria del oxígeno.....	36
2.2.5. Transporte y distribución del oxígeno.....	38
2.2.6. Aire atmosférico como materia prima.....	39
2.2.7. Composición del aire atmosférico	40
2.2.8. Funcionamiento de las plantas de generación de oxígeno.....	42
2.2.9. Ventajas de la producción de oxígeno in situ frente al suministro tradicional	44
2.2.10. Fundamentos teóricos del diseño de plantas de generación de oxígeno a pequeña escala.....	46
2.3. Marco Conceptual.....	47
2.3.1. Capacidad instalada y flujo volumétrico	48
2.3.2. Pureza del oxígeno medicinal.....	48
2.3.3. Tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA)	49
2.3.4. Producción on-site y descentralización del suministro.....	49

2.3.5. Eficiencia operativa y confiabilidad del sistema	50
2.4. Marco Legal y Normativo.	50
2.4.1. Normas Internacionales:	50
2.4.2. Normas Ecuatorianas	54
Capítulo III. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.	58
3.1. Cuadro Operacionalización de variables	59
3.2. Matriz de consistencia.	61
3.3. Diseño metodológico.	66
3.3.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.	66
3.3.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos.....	68
3.3.3. Desarrollo de los instrumentos de obtención de datos.	70
3.3.4. Determinación de la muestra y su criterio de selección.....	80
3.4. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).....	83
3.4.1. Aplicación de los instrumentos.....	85
3.4.2. Procesamiento de la información.....	98
3.5. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.	101
3.5.1. TANQUE PRINCIPAL (De mezcla y acumulador).....	101
3.5.2. Mallado del tanque	102
3.5.3. Tanque Secundario (Catalizador)	102
3.5.4. Mallado del tanque	102
3.5.5. Ensamble generador de oxígeno.....	104
3.5.6. Tanques de compensación	106
3.5.7. Secador de succión de calor.....	112
3.5.8. Estación de llenado	121
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN	137
4.1. Fundamentación de la propuesta de transformación.....	137
4.2. Descripción de la propuesta de transformación.	139
4.2.1. Justificación del tipo de propuesta: Plan de diseño de una planta local de oxígeno	139
4.2.2. Impacto social y práctico de la propuesta.....	140
4.2.3. Fortalecimiento del Sistema de Salud	140
4.2.4. Impacto económico.....	141
4.2.5. Sostenibilidad y Eficiencia Operativa	141
4.3. Estructura de la propuesta de transformación.....	141
4.3.1. Fase I: Planificación y Diseño Detallado (Duración estimada: 3 meses).....	142
4.3.2. Fase II: Adquisición de Equipos y Construcción de Infraestructura (Duración estimada: 6 meses)	142
4.3.3. Fase III: Instalación, Puesta en Marcha y Capacitación (Duración estimada: 3 meses).....	143

4.3.4. Fase IV: Operación y Monitoreo Continuo (Fase Permanente).....	144
4.4. Valoración/ evaluación / validación de la propuesta de transformación.	145
4.4.1. Valoración de la propuesta	145
4.4.2. Evaluación de la efectividad de la propuesta.....	146
4.4.3. Validación de la propuesta de transformación.....	147
CONCLUSIONES.....	149
RECOMENDACIONES.....	151
BIBLIOGRAFÍA:.....	153
ANEXOS.....	155
Anexo 1. Capacitación para la realización de encuestas	155
Anexo 2. Realización de encuestas.....	155
Anexo 3. Charla para la realización de la matriz QFD.....	156
Anexo 4. Charla para la realización de la matriz QFD.....	156
Anexo 5. Toma de datos en campo	157
Anexo 6. Toma de datos en la localidad.....	158
Anexo 7. Presión interna en el estudio del tanque principal.....	159

Índice de figuras.

Figura 1. Cilindro de Gas: estación de llenado 1	78
Figura 2. Base para sujeción de válvulas: estación de llenado 2	78
Figura 3. Cuerpo de válvulas de llenado: estación de llenado 3	79
Figura 4. Estructura de soporte: estación de llenado 4	80
Figura 5. Base para cilindros: estación de llenado 5	81
Figura 6. Montaje de estación de llenado de oxígeno: estación de llenado 6	82
Figura 7. Tanque de presión: secador de succión 1	83
Figura 8. Montaje de tubos superior: secador de succión 2	84
Figura 9. Montaje de tubos inferior: secador de succión 3	85
Figura 10. Montaje final de tubos: secador de succión 4	86
Figura 11. Plataforma base para proceso	87
Figura 12. Tanques de compensación	88
Figura 13. Vista isométrica del generador de oxígeno	95
Figura 14. Vista frontal del generador de oxígeno.	95
Figura 15. Vista lateral del generador de oxígeno.	96
Figura 16. Vista superior del generador de oxígeno.	96
Figura 17. Presión interna de 12 bares en el estudio	97
Figura 18. Mallado del tanque para el estudio	97
Figura 19. Desplazamiento del tanque, desplazamiento máximo de 0.59mm	98

Figura 20. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57	99
Figura 21. Estudio de flujo y flujo de sistema a 10.13 bares	99
Figura 22. Estudio de flujo, temperatura máxima de 20.31°C	100
Figura 23. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 23.07m/s, velocidad de salida del fluido 24.05m/s	101
Figura 24. Presión interna en el estudio	102
Figura 25. Mallado del tanque para el estudio	102
Figura 26. Desplazamiento del sistema, desplazamiento máximo de 0.2mm	103
Figura 27. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57	103
Figura 28. Estudio de flujo y flujo de sistema a 10.13 bares	104
Figura 29. Estudio de flujo, temperatura máxima de 50.13°C	104
Figura 30. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 0.418m/s, velocidad de salida del fluido 3.361m/s	105
Figura 31. Vista frontal de tubería inferior	106
Figura 32. Vista isométrica de tubería inferior	106
Figura 33. Vista frontal de tubería superior	107
Figura 34. Vista isométrica de tubería superior	107
Figura 35. Vista frontal del ensamble del secador	108
Figura 36. Vista lateral del ensamble del secador	109
Figura 37. Vista superior del ensamble del secador	109
Figura 38. Vista isométrica del ensamble del secador	110
	10

Figura 39. Presión interna de 12 bares en el estudio	110
Figura 40. Mallado del cilindro de gas para el estudio	111
Figura 41. Desplazamiento del tanque, desplazamiento máximo de 0.041mm	111
Figura 42. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57	112
Figura 43. Estudio de flujo y flujo de sistema a 12 bares	113
Figura 44. Estudio de flujo, temperatura máxima de 20.12°C	113
Figura 45. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 11.682m/s, con una densidad máxima de 15.75 kg/	114
Figura 46. Ensamble de estación de llenado de tanques de gas	115
Figura 47. Vista isométrica de estructura soporte de la estación de llenado	115
Figura 48. Vista frontal de estructura soporte de la estación de llenado	116
Figura 49. Vista lateral de estructura soporte de la estación de llenado	116
Figura 50. Vista superior de estructura soporte de la estación de llenado	117
Figura 51. Vista isométrica de Base de Cilindros de Gas	117
Figura 52. Vista lateral de Base de Cilindros de Gas	118
Figura 53. Vista frontal de Base de Cilindros de Gas	118
Figura 54. Vista superior de Base de Cilindros de Gas	119
Figura 55. Vista isométrica del armado de la Estación de Llenado	120
Figura 56. Diseño final de la planta	121

Índice de gráficas

Gráfico 1. Generadores de Nitrógeno y Generadores de Oxígeno	39
Gráfico 2 . Recolección de datos	62
Gráfico 3. Tipos de gases	64
Gráfico 4. Oferentes del mercado	65
Gráfico 5. Modalidad de adquisición	66
Gráfico 6. Aspectos más relevantes	68
Gráfico 7 Frecuencia de pedidos	69
Gráfico 8. Áreas de suministro	70
Gráfico 9. Zona 1 Sucumbíos- Lago Agrio	73

Índice de tablas.

Tabla 1. Composición del aire atmosférico	37
Tabla 2. Composición del aire atmosférico	38
Tabla 3. Variables Independientes	54
Tabla 4. Variables Independientes	54
Tabla 5. Matriz de Consistencia	55
Tabla 6. Tipos de gases	63
Tabla 7. Oferentes en el mercado	65
Tabla 8. Modalidad de adquisición	66
Tabla 9. Aspectos más relevantes	67
Tabla 10. Frecuencia de pedido	69
Tabla 11. Áreas de suministro	70
Tabla 12. Materiales y Costos	90
Tabla 13. Equipos	91
Tabla 14. Servicios básicos	91
Tabla 15. Valores estándares de varios factores para tanques a presión	92

INTRODUCCIÓN

El acceso oportuno a oxígeno medicinal e industrial constituye un componente estratégico para los sistemas de salud y los sectores productivos, particularmente en territorios con limitaciones logísticas y geográficas. La crisis sanitaria de la pandemia de COVID-19 provocó que varios países informaran de escasez en sus cadenas de suministro de gases medicinales y destacaran la necesidad urgente de desarrollar infraestructuras locales para la producción y el almacenamiento (OMS, 2020). Se ha demostrado que las tecnologías basadas en la adsorción por cambio de presión (PSA) son una opción técnica y económicamente viable para reducir la dependencia de proveedores externos y mantener la continuidad operativa (Pan et al., 2022). Se ha demostrado que el uso de plantas de generación locales, especialmente aquellas basadas en tecnologías de adsorción por cambio de presión (PSA), es una solución técnica y económicamente viable para minimizar la dependencia de proveedores externos y asegurar la continuidad operativa (Pan et al., 2022).

Varios estudios recientes en los Estados Unidos han explorado el desarrollo y la mejora de los sistemas de producción de oxígeno utilizando tecnologías EPI, haciendo hincapié en eficiencia energética, fiabilidad operativa y aplicabilidad en muchos escenarios (Das, 2023). Estudios recientes en los Estados Unidos han explorado desarrollo y mejora de sistemas de producción de oxígeno utilizando tecnologías EPI, haciendo hincapié en su eficiencia energética, fiabilidad operativa y aplicabilidad en muchos escenarios (Das, 2023). Los estudios destacan la necesidad de utilizar modelos informáticos y simulaciones numéricas para validar los parámetros de diseño, analizar el comportamiento estructural de los componentes y optimizar el rendimiento del sistema antes de que comience la construcción.

La producción y distribución de oxígeno se realiza principalmente en instalaciones ubicadas en ciudades costeras y andinas, que abastecen al resto del país. La selva amazónica puede verse afectada por las condiciones climáticas, el estado de las carreteras y los disturbios civiles, lo que puede interrumpir el transporte y la cadena de suministro. La pandemia ha provocado un aumento de la demanda de oxígeno medicinal, lo que ha incrementado la presión sobre el mercado e influido directamente en los precios y los plazos de entrega.

En R&H distribuimos y suministramos cilindros de oxígeno tanto para uso Médico como Industrial. Pero nuestra la dependencia de fábricas en otras partes del país eleva los costos de transporte y reduce nuestra capacidad para responder a las demandas repentinas. Para ello, se hace necesario con urgencia contar con soluciones técnicas que garanticen un sistema de producción de oxígeno local, continuo y eficiente, acorde a las necesidades específicas de la región.

En este contexto, la investigación doctoral tiene como finalidad sugerir el diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para uso masivo en la ciudad de Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, apoyando la utilización del oxígeno disponible en el aire atmosférico mediante tecnología PSA. El trabajo actual se centra en la ingeniería, es decir, en el desarrollo de métodos para la mejora de los procesos industriales, así como en los aspectos medioambientales, de calidad y de seguridad relacionados con la planificación y gestión de proyectos sostenibles. Elaboración de una propuesta con bases técnicas sólidas, con criterios de eficiencia operativa, validación estructural mediante simulaciones y optimización del diseño, promoviendo la autosuficiencia regional y mitigando los riesgos en la cadena de suministro.

El trabajo se divide en cuatro partes. En primer lugar, tiene que ver con el análisis e incluye el problema, los objetivos, la hipótesis y el marco temático. En segundo lugar, se muestran las bases teóricas y conceptuales, y se analiza el estado del arte, el marco conceptual y los marcos regulatorios relacionados con el diseño de plantas de oxígeno. El tercer apartado explica la base metodológica, la operacionalización de las variables, el análisis de los resultados de la simulación y la validación del diseño. Finalmente, el cuarto capítulo expone la propuesta de transformación, detallando su fundamentación técnica, fases de implementación, recursos necesarios y criterios de validación, seguidos de las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

CAPÍTULO I. Proyección de la investigación.

Diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para el consumo masivo en la región Amazónica en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos 2023.

1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio.

El propósito de esta investigación doctoral es desarrollar soluciones técnicas aplicadas que optimicen el diseño, la operación y la eficacia de los sistemas de producción en diversos ámbitos industriales. Esta investigación está en concordancia con una línea de investigación del Doctorado en Ingeniería que se llama "*Desarrollo de metodologías orientadas a optimizar los procedimientos industriales*". En este contexto, el análisis aborda la creación de una planta de oxígeno con un rendimiento de 5 m³/h. Para ello, se emplean instrumentos informáticos de modelado y simulación, los cuales integran criterios para certificar la estructura, perfeccionar la eficacia operativa y optimizar los procesos.

El área de estudio es la ciudad de Lago Agrio, en la Amazonía ecuatoriana, que depende de proveedores externos para el suministro de oxígeno médico e industrial. En este sentido, la situación requiere de soluciones técnicas concretas que garanticen un suministro regular y eficiente, teniendo en cuenta las condiciones geográficas y logísticas de la región. cadena de suministro.

El estudio no solo proporciona un marco teórico, sino que también propone una solución proactiva mediante el desarrollo de un diseño técnico realista de una planta de generación de oxígeno basada en PSA, reproducible en contextos comparables. La contribución aporta a los procesos de ingeniería aplicada, junto con los objetivos de la metodología de investigación, con las técnicas de integración que permiten la verificación, el modelado y el diseño de soluciones industriales sostenibles.

La calidad, el medio ambiente y la prevención, especialmente en la elaboración y la gestión de proyectos sostenibles. Proponer una alternativa tecnológica más respetuosa con el medio ambiente como una opción industrial que contribuya al desarrollo sostenible de la Amazonia. En este contexto, se entiende por «diseño» las directrices para optimizar el uso de los recursos, mejorar

la eficiencia energética y disminuir los riesgos relacionados con el transporte y el almacenamiento. El objetivo es fortalecer la autonomía tecnológica y promover el desarrollo sostenible de la región amazónica.

1.2. Planteamiento del problema.

La producción de oxígeno para uso médico e industrial se da en las ciudades de Guayaquil y Quito. La región amazónica necesitará cadenas logísticas complejas para garantizar un suministro constante de este recurso vital. La disponibilidad de oxígeno depende de factores externos, como la infraestructura, el transporte y la gestión operativa.

En Lago Agrio provincia de Sucumbíos los distribuidores locales compran oxígeno a grandes fabricantes y lo venden. La empresa R&H, suministra semanalmente cilindros de oxígeno a las instalaciones industriales y médicas. No obstante, muestra una dependencia estructural de proveedores externos, lo cual pone en peligro al territorio porque se ve interrumpida la cadena de suministro, el costo del transporte va en aumento y las entregas sufren retrasos, particularmente si hay inestabilidad social o si las condiciones climáticas son adversas.

La demanda de oxígeno en este sector permanece constante debido a su utilización en las actividades productivas y en los centros de salud. Por ende, es indispensable que el gas sea constante de alta calidad y esté disponible. Sin embargo, no existe capacidad de producción a nivel local. Esto causa que no se pueda reaccionar con rapidez a un incremento en la demanda y genera una disparidad entre las condiciones de suministro actuales y las necesidades auténticas del territorio.

En esta dirección, se presenta una situación complicada por la contradicción entre la necesidad de asegurar un suministro de oxígeno eficaz, seguro y estable en la zona amazónica y la dependencia de un sistema centralizado que no responde apropiadamente a lo que sucede en el lugar. Esta diferencia pone pensar la ausencia de soluciones técnicas orientadas a la generación local de oxígeno, lo que reduce la autonomía operativa del área y la hace más vulnerable frente a situaciones críticas.

1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación).

¿Cómo diseñar una planta de oxígeno de 5 m³/h, basada en tecnología PSA, que garantice el suministro continuo para consumo masivo en la ciudad de Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, en el año 2023?

1.4. Justificación.

El estudio investigó la necesidad de un suministro constante de oxígeno médico e industrial en la Amazonía ecuatoriana, especialmente en Lago Agrio. La dependencia de la ciudad de proveedores externos significa que este valioso recurso no está fácilmente disponible. La crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 puso en evidencia un débil suministro en la expedición de oxígeno local en la zona.

En lo que se refiere a la teoría, la investigación aporta a la creación de conocimiento en relación con el diseño y la optimización de plantas productoras de oxígeno mediante tecnologías para separar el aire, particularmente en situaciones geográficas con limitaciones logísticas. La investigación permite combinar los fundamentos de ingeniería de procesos, la simulación y el análisis estructural. Esto colabora con el establecimiento de principios conceptuales que son aplicables en sistemas industriales para producir gases médicos.

La investigación está bien fundamentada, ya que se ha establecido un procedimiento y se ha desarrollado para la validación de sistemas de oxígeno a pequeña escala. Este enfoque de trabajo es adaptable y puede utilizarse en estudios o proyectos similares, especialmente en los casos en que se necesiten soluciones técnicas adecuadas. El proceso incluye el análisis de necesidades, la priorización mediante la matriz QFD y la verificación del diseño mediante modelado y simulación por computadora. La metodología aquí presentada es transferible y puede utilizarse en estudios o proyectos similares, especialmente si se requieren soluciones técnicas adecuadas.

El estudio indica una alternativa efectiva que puede ser utilizada en R & H Lago Agrio, que por el momento se basa en proveedores externos para conseguir oxígeno. Contar con nuestra fábrica propia nos ayudaría a reducir los costes de adquisición y transporte, el riesgo de interrupciones logísticas y a mejorar la eficiencia operativa del sistema. Esto nos ayudaría a controlar mejor los picos de demanda.

La contribución social del estudio está relacionada con los habitantes de la región amazónica y los centros de salud, ya que existe un suministro continuo de oxígeno medicinal. Un recurso esencial para enfermedades respiratorias y emergencias. Contribuye al crecimiento económico de la región mediante la creación de empleo y el aumento de la autosuficiencia local en recursos básicos.

El objetivo de este trabajo es diseñar plantas industriales productoras de oxígeno a partir de tecnologías de separación de aire, en el área de la ingeniería aplicada, asunto resulta de especial relevancia en áreas geográficamente aisladas, donde la inestabilidad logística y la dependencia de recursos externos son factores importantes, consideren aspectos como la capacidad volumétrica, los requisitos locales, el rendimiento del sistema a nivel estructural y los parámetros operativos. La delimitación del área de operación está basada en el diseño técnico y verificación de una planta generadora de oxígeno para Lago Agrio con capacidad de 5 m³/h. como la capacidad volumétrica, los requerimientos locales, el desempeño del sistema a nivel estructural y los parámetros operativos. La delimitación que se ha llevado a cabo permite establecer una relación lógica entre la problemática detectada y el propósito general del estudio.

1.5. Objeto de estudio

El propósito de esta investigación es el diseño de sistemas que producen gases mediante tecnologías que separan el aire, en el ámbito de la ingeniería de procesos industriales. Esta disciplina se encarga de examinar, crear y mejorar sistemas industriales que tengan como objetivo la producción, el almacenamiento y la distribución de gases, incluyendo estándares de rendimiento técnico, eficiencia operacional y sostenibilidad.

El problema de la investigación en este contexto es que las soluciones técnicas para la producción local de oxígeno sólo se pueden aplicar con carácter limitado en zonas geográficamente remotas, en las que predominan los modelos de abastecimiento centralizado, lo que genera dependencias logísticas y escasez de recursos. Los análisis pretenden investigar los procesos de diseño y de validación de los sistemas industriales, que permiten una producción eficiente del oxígeno, de acuerdo con las condiciones de la región amazónica.

1.6. Campo de acción

El propósito de esta investigación es diseñar y validar de manera técnica sistemas que producen oxígeno a través de la tecnología PSA (adsorción por cambio de presión), enfocándose en plantas a pequeña escala con un consumo máximo de 5 m³/h. Esta zona en concreto se ocupa de determinar los parámetros operativos, elegir y calcular las dimensiones de los componentes, y examinar la operación funcional y estructural del sistema a través de instrumentos informáticos de modelado y simulación.

La solución técnica para la ciudad de Lago Agrio, en la provincia de Sucumbíos, considerando las condiciones logísticas, las características geográficas y las necesidades de la localidad. El problema de la baja producción local de oxígeno en esta zona se resolverá mediante el desarrollo de un sistema eficiente que proporcione un suministro sostenible y satisfaga las necesidades de la región amazónica. Este proyecto resuelve este problema mediante el desarrollo de un sistema eficiente que garantiza un suministro sostenible y satisface las necesidades de la región amazónica.

1.7. Objetivos.

1.7.1. *Objetivo General.*

Diseñar una planta de oxígeno de 5 m³/h para el consumo masivo contribuyendo al aprovechamiento máximo del oxígeno existente en la región amazónica de la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos, 2023.

1.7.2. *Objetivos específicos.*

- Determinar los fundamentos teóricos referenciales sobre el diseño y validación de plantas de generación de oxígeno mediante tecnologías de separación de aire, considerando criterios de eficiencia operativa y sostenibilidad.
- Caracterizar la demanda y establecer los parámetros técnicos requeridos para el diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos, en función de las condiciones locales de operación.

- Elaborar mediante modelado y simulación computacional la propuesta técnica de una planta de oxígeno de 5 m³/h orientada al consumo masivo en la región amazónica.

1.8. Hipótesis.

Si se diseña una planta de oxígeno de 5 m³/h para el consumo masivo, se puede contribuir al aprovechamiento máximo del oxígeno existente en la región amazónica de la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos, 2023.

1.9. Alcance temático.

El alcance del estudio abarca el diseño, análisis y simulación de los parámetros óptimos de funcionamiento de una planta de oxígeno de 5 m³/h en la región amazónica, en la ciudad de Lago Agrio, Sucumbíos. La investigación se enfocará en examinar y entender los elementos requeridos para el diseño y operación de la planta de oxígeno, así como evaluar los distintos componentes que la integran mediante software especializado.

El alcance abarcará así mismo la utilización de software para verificar la eficacia de los elementos de planta de oxígeno de 5 m³/h, lo cual facilitará la evaluación y optimización de su rendimiento en relación al consumo y producción de recursos. Así mismo, se analizará los diferentes métodos de extracción de oxígeno del aire, con el fin de identificar el método más eficiente respecto a la planta de oxígeno en la región amazónica.

1.10. Delimitación Espacial y Temporal.

El estudio se desarrolla en una planta de oxígeno de 5 m³/h en la región amazónica, Lago Agrio, Sucumbíos. No se abordan las cuestiones relativas a la distribución, venta y leyes y reglamentos aplicables al oxígeno médico- industrial. La accesibilidad es una llave punto para un análisis adecuado, la falta de datos o la información incierta afecta la precisión de dimensionamiento y consecuentemente las simulaciones.

El procedimiento se llevó a cabo con la ayuda de herramientas como CAD y FLUIDSIM, que permiten dimensionar los componentes del sistema que conforman la planta de suministro de oxígeno. Es importante indicar que los resultados obtenidos son directamente dependientes de las

limitaciones del programa utilizado. Es importante tener en cuenta que la eficacia y la precisión de los resultados obtenidos pueden variar según las capacidades y limitaciones del software utilizado. Además , es fundamental soportartener en cuenta que el equipo que realizó las simulaciones pudo haber tenido limitaciones técnicas y de recursos , por lo que ciertas variables o factores importantes pudieron haber sido omitidos debido a las limitaciones entiempo y recursos .Tenga en cuenta que el equipo que realizó las simulaciones pudo haber tenido limitaciones técnicas y de recursos , por lo que ciertas variables o factores importantes pueden haber sido omitidos debido a las limitaciones de tiempo y recursos .

Capítulo II. Fundamentos Teóricos Referenciales.

El presente capítulo tiene como finalidad ofrecer sustento teórico a la investigación, mediante el análisis, estudio y sistematización de los planteamientos más relevantes, tanto desde el punto de vista conceptual, normativo como científico, relacionados con el diseño y la operación de las plantas productoras de oxígeno. En esta línea se abordan las teorías fundamentales de cómo el aire actúa en la atmósfera, los métodos de separación de gases y las tecnologías empleadas para generar oxígeno, principalmente mediante PSA (adsorción por cambio de presión). De igual manera, se agregan los componentes conceptuales y normativos que coadyuvan a establecer una base lógica para el desarrollo del estudio, asegurando la conexión entre el método empleado, el marco teórico y la propuesta técnica presentada, en concordancia con las circunstancias y demandas del entorno amazónico.

2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual).

El oxígeno es la base de la vida en la Tierra y su aporte terapéutico es imprescindible en el área de la medicina. El oxígeno se usa mucho, sobre todo cuando hay falta de aire, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y otras enfermedades por las que el paciente necesita recibir oxígeno por mucho tiempo (Hancock, 2022).

El oxígeno comenzó a ser utilizado con fines médicos en el siglo XVIII. En aquel tiempo los investigadores descubrieron que el oxígeno era indispensable para la existencia. El químico británico Joseph Priestley y el científico sueco Car Von Linde descubrieron el oxígeno y señalaron su importancia en los procesos vitales.

Por aquel entonces, los equipos para la oxigenoterapia eran muy rudimentarios y estaban constituidos básicamente por los recipientes donde se almacenaba el oxígeno (Minuogas., 2025). Así operaron los cilindros de oxígeno líquido que permiten almacenar grandes cantidades de oxígeno en estado líquido y suministrárselo a los pacientes.

La invención de los concentradores de oxígeno siglo XX

En los años cincuenta, la demanda de oxigenoterapia fue en aumento y con ella los concentradores de oxígeno, resolvían el inconveniente del transporte de las voluminosas botellas de oxígeno líquido. Los concentradores de oxígeno se valen de la tecnología de adsorción por oscilación de presión (AOP o PSA, por sus siglas en inglés) para obtener oxígeno en alta concentración mediante la separación del nitrógeno del aire mediante la separación del nitrógeno. Ya no depende de bombas externas de oxígeno, sino que filtran el aire, lo concentran y lo suministran directamente a los pacientes (Minnuogas., 2025).

Plantas generadoras de oxígeno medicinal

El oxígeno medicinal es crucial para la vida y se ha convertido en un recurso vital, cuya demanda se disparó durante la pandemia de COVID-19, evidenciando la necesidad de mejorar la infraestructura de producción, transporte y almacenamiento para garantizar su disponibilidad (Hancock, 2022). El aumento en la demanda mundial ha puesto de relieve las ineficiencias logísticas, desde la generación hasta la entrega al paciente, y la importancia de invertir en plantas de oxígeno y sus sistemas de distribución.

En la dura segunda ola de COVID -19, una de las mayores dificultades del sistema sanitario es poder cubrir la demanda de oxígeno medicinal que requieren los pacientes graves. “El consumo de oxígeno es el principal problema. Por ello, el diseño modular de las plantas generadoras de oxígeno presenta tres capacidades distintas: 5, 10 y 20 metros cúbicos (m³) por hora. Esto le permite adaptarse a las necesidades específicas del establecimiento de salud (Minnuogas., 2025).

2.2.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional, el estudio de la producción y suministro de oxígeno medicinal ha adquirido especial relevancia, particularmente a partir de la pandemia por COVID-19, que evidenció deficiencias estructurales en los sistemas de abastecimiento a nivel global. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera el suministro de oxígeno como un sistema integral que incluye la producción, el almacenamiento, la distribución y el control de calidad, necesidad de soluciones que sean apropiadas a las necesidades locales y a la infraestructura existente (OMS, 2020).

Se ha demostrado que los parámetros de operación en los sistemas de equipos de protección personal (EPP) aumentan significativamente la eficiencia del proceso y el rendimiento energético, lo cual es fundamental para el diseño de sistemas a pequeña escala (Gizicki Banaszkiwicz, 2020). En este contexto, la adsorción por cambio de presión (PSA, por sus siglas en inglés) es una opción técnicamente viable para la producción in situ de oxígeno medicinal. Las directrices técnicas de la OMS señalan requisitos de rendimiento, pureza y seguridad, por lo que esta tecnología se convierte en un referente para los hospitales, sobre todo en zonas con limitaciones logísticas (OMS, 2020). Como demostraron Gizicki y Banaszkiwicz (2020), la optimización de los parámetros operativos de los sistemas PSA da como resultado un aumento significativo en la eficiencia energética y el rendimiento del proceso, lo cual es importante para el diseño de sistemas pequeños.

Como destacan Bikkina et al (2021) y Bhat et (2023) destacan la situación en la India demuestra que el mayor desafío no es la capacidad de producir, sino la coordinación de la producción, la logística y la distribución. Los intérpretes indican que el uso de sistemas de suministro centralizado es una dependencia muy fuerte, por lo que la solución más factible es un sistema descentralizado.

Se ha demostrado que la generación local de oxígeno puede ser más eficiente y sostenible que los modelos de transporte a larga distancia, reduciendo tanto los costes operativos como el impacto ambiental. En los últimos años, el modelado y la optimización de los sistemas de PSA han sido objeto de estudio y se ha demostrado que factores como la presión de adsorción, la duración de ciclo y el flujo de salida tienen un impacto directo en la pureza y la eficiencia del sistema (Jiang y Huang, 2024; Benkirane et al., 2024).

Investigaciones afines, como la realizada por Zhang et Alabama (2023), se ha enfocado en los sistemas de generación de oxígenos a condiciones geográficas específicas, tales como las presentes en regiones de gran altitud. Se demostrado que los factores ambientales afectan la eficiencia del proceso. En diferentes situaciones se debe incorporar condiciones ambientales al diseño de ingeniería.

La implementación de soluciones apropiadas en lugares con limitaciones logísticas, por lo cual, apoya la necesidad de realizar estudios centrados en el diseño de plantas adaptadas a condiciones particulares.

2.2.2. *Antecedentes nacionales*

En el contexto ecuatoriano, el oxígeno medicinal ha sido reconocido como un insumo terapéutico fundamental para el tratamiento de diversas patologías respiratorias, así como para procedimientos médicos críticos como anestesia, cuidados intensivos y reanimación. Su importancia se hizo especialmente visible durante la crisis sanitaria, ya que la demanda de oxígeno aumentó, poniendo a prueba el sistema de suministro (Flores Erazo, 2022).

La centralización se considera una de las mayores debilidades del sistema, ya que crea dependencias logísticas, aumenta los costes de transporte y supone una amenaza de escasez de suministros en las zonas periféricas, especialmente durante crisis como el cierre de carreteras o condiciones meteorológicas extremas.

Durante la pandemia, se promovió el uso de tecnologías de generación de oxígeno in situ, en particular mediante sistemas de EPI que alcanzan niveles de pureza cercanos al 93 % y son adecuados para aplicaciones médicas. Los sistemas han demostrado ser técnicamente viables en los centros de salud, reduciendo así la dependencia de proveedores externos y fortaleciendo la capacidad para satisfacer la creciente demanda (Ministerio de Salud Pública de Ecuador, 2021).

A pesar de los avances tecnológicos, hasta la fecha no se ha construido ninguna planta de oxígeno en el país. La literatura técnica y los informes indican que la integración del desarrollo tecnológico y su implementación aún no son suficientes en áreas con condiciones geográficas complejas como la Amazonía. La distribución y las condiciones ambientales afectan directamente la rentabilidad de los sistemas de producción.

En este contexto, existe una disparidad entre la disponibilidad de tecnologías para la producción de oxígeno y su uso efectivo sobre el terreno. Esto limita las posibilidades de autonomía regional y aumenta la dependencia de los sistemas centralizados. Concluyendo que para este análisis es necesario considerar un diseño de planta de oxígeno acorde a las necesidades que se plantean en dicha área, integrando diferentes criterios técnicos, operativos y contextuales para garantizar el correcto suministro de oxígeno y que esto sea eficiente y continuo.

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. *Fundamentos teóricos del oxígeno*

El oxígeno (O_2) es un elemento gaseoso que carece de color, olor y sabor. Posee un número atómico de 8 y una masa atómica de 15.999 g/mol. El oxígeno, junto con otros componentes, es uno de los elementos vitales que conforman la atmósfera del planeta Tierra. Su presencia, que se traduce en cerca del 20.95 % del volumen de aire seco, lo convierte en un elemento fundamental para mantener la vida y progresar en diversos procesos industriales (Perry y Green, 2019; Lide, 2023). Desde una perspectiva química, el oxígeno es altamente reactivo y se encuentra en las reacciones de oxidación. Esto justifica su papel esencial en los procesos metabólicos de los organismos vivos, así como en la combustión y transformación de materiales (Atkins y de Paula, 2018).

Para la respiración celular aeróbica, que es un proceso biológico en el que las células generan energía como adenosín trifosfato (ATP), el oxígeno es crucial. Esta función lo transforma en un elemento fundamental para la supervivencia de los organismos multicelulares, sobre todo en sistemas fisiológicos donde el intercambio de gases es vital, como es el caso del sistema respiratorio humano. En esta línea, la disponibilidad y concentración adecuadas de oxígeno son cruciales para el funcionamiento de los órganos vitales. Esto explica su importancia en el campo médico y el hecho de que organismos internacionales lo cataloguen como un medicamento esencial (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Desde un punto de vista fisicoquímico, el oxígeno posee propiedades que impactan su desempeño en sistemas de producción y almacenamiento. Es soluble en agua y su densidad es superior a la del aire. Aunque no es inflamable, tiene la capacidad de actuar como un agente comburente que propicia la combustión de otros componentes. Su punto de ebullición es $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su punto de fusión, $-218.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; por lo tanto, existe la posibilidad de que se vuelva líquido en condiciones criogénicas, lo cual es la base de los procedimientos industriales para separar el aire (Perry y Green, 2019). Para garantizar la seguridad en la manipulación del oxígeno, es necesario que los sistemas de generación, almacenamiento y transporte, cuenten con estas características, dado que implican condiciones particulares de temperatura y presión.

En el sector industrial, el oxígeno se produce principalmente mediante dos métodos: la destilación criogénica y la adsorción por cambio de presión (PSA), utilizando esencialmente aire atmosférico. La destilación criogénica se emplea en aplicaciones a gran escala y produce oxígeno con un elevado nivel de pureza (superior al 99 %). La tecnología PSA, por otra parte, produce oxígeno con purezas cercanas al 93 % mediante la adsorción selectiva de nitrógeno usando materiales zeolíticos. Esto es particularmente adecuado para sistemas de producción descentralizados y aplicaciones médicas (Towler y Sinnott, 2021). Esta última tecnología ha adquirido relevancia en casos donde se requiere autonomía para el abastecimiento, por ejemplo, en hospitales ubicados en regiones remotas.

El oxígeno industrial cumple una función fundamental en diversas áreas de producción. En la industria química, participa en reacciones de oxidación controlada; en la metalúrgica, se utiliza para aumentar la eficiencia de los métodos de refinado y combustión; además, se combina con gases combustibles en procesos como el de soldar o cortar metales para producir altas temperaturas que favorecen el cambio de materiales (Towler y Sinnott, 2021). Las aplicaciones de oxígeno requieren un control estricto de parámetros como la pureza, el caudal y la presión, lo que pone de manifiesto la necesidad de sistemas de generación tecnológicamente avanzados.

Gas terapéutico esencial, cuya función principal es corregir la hipoxia y asegurar una correcta oxigenación de los tejidos. Según la OMS (2020), el oxígeno es un elemento fundamental en el tratamiento de las enfermedades respiratorias agudas y crónicas, así como en la anestesia, la reanimación y los cuidados intensivos. Por ello, se convierte en un elemento esencial en los sistemas de salud. Para su uso terapéutico es importante que se respeten estrictas normas de pureza, calidad y seguridad, lo que implica la implantación de regulaciones técnicas y sanitarias en su producción y distribución.

El oxígeno terapéutico tiene diversas formas de almacenamiento y distribución, adaptadas a las necesidades operativas de los establecimientos de salud. El oxígeno líquido se almacena en depósitos criogénicos a temperaturas bajas, permitiendo el almacenamiento de grandes volúmenes en lugares compactos. Esto beneficia a hospitales con alta demanda. En cilindros a elevada presión (habitualmente entre 150 y 200 bares) se guarda el oxígeno en estado gaseoso, lo que hace más sencillo su transporte y utilización en circunstancias de emergencia o en aplicaciones móviles (Perry y Green, 2019).

Sin embargo, los sistemas de suministro tradicionales, que se basan en cilindros o en la logística desde las plantas centralizadas, tienen restricciones logísticas, particularmente en áreas remotas o de difícil acceso. Las instalaciones para la generación de oxígeno en el lugar usando tecnología PSA representan una opción estratégica en este contexto, dado que facilita la producción del gas en el mismo lugar de consumo. Esto disminuye los gastos de transporte, mejora la accesibilidad y fortalece la capacidad del sistema de salud para manejar situaciones con gran demanda (Organización Mundial de la Salud, 2020).

La generación de oxígeno medicinal, desde una perspectiva normativa, está regulada por normas internacionales que aseguran su calidad y seguridad. Estos estándares establecen el grado de pureza del gas, los límites aceptables de impurezas, las condiciones para su almacenamiento y las maneras de controlar la calidad. Se ha confirmado, desde un punto de vista clínico, que una pureza del $93 \% \pm 3 \%$ es apropiada para muchas aplicaciones terapéuticas (World Health Organization, 2020), por lo que es aceptada en sistemas PSA.

Es un recurso esencial que debe estudiarse desde diversas áreas del conocimiento, como la ingeniería, la química, la medicina y la normativa técnica. Es necesario comprender completamente los sistemas tecnológicos involucrados y sus propiedades fisicoquímicas para la producción, almacenamiento y distribución de oxígeno. Permite el diseño de instalaciones de generación adaptadas a condiciones específicas. En este contexto, el estudio del oxígeno no se limita a una función puramente descriptiva, sino que también sienta las bases técnicas y científicas para desarrollar soluciones que garanticen la calidad, la eficiencia y la disponibilidad del oxígeno en zonas desatendidas.

2.2.2. Demanda y necesidad de oxígeno medicinal

Las entidades internacionales han admitido que el oxígeno médico es un componente esencial de los sistemas de salud. La Organización Mundial de la Salud lo agregó a su lista de medicamentos esenciales en 2017, debido a su importancia en el manejo de emergencias médicas, cuidados intensivos y enfermedades respiratorias (World Health Organization, 2020). Esta categorización revela que es de carácter estratégico y que se necesita garantizar su disponibilidad permanente, especialmente en circunstancias en las cuales la demanda sanitaria es elevada.

Durante la pandemia de COVID-19, el mundo necesitó más oxígeno terapéutico y esto puso al descubierto debilidades estructurales en los sistemas de fabricación y suministro. La necesidad diaria de oxígeno en los países de ingresos bajos y medios, se calculó que hasta abril de 2021 fue de alrededor de 25,5 millones de metros cúbicos, según la Organización Mundial de la Salud (2021). Esto significó un impacto económico anual de casi \$5.600 millones. Este incremento puso de manifiesto la existencia de una brecha entre la capacidad productiva instalada y las necesidades reales de los sistemas de salud.

En muchos países del mundo se han registrado aumentos importantes en la demanda. En la India, por ejemplo, se necesitaban diariamente 11,8 millones de metros cúbicos durante los picos de la pandemia, lo que desencadenó una crisis de salud relacionada con la escasez de suministros. De igual forma, países como Brasil, Perú, México, Egipto y Nigeria sufrieron fuertes tensiones en sus cadenas de suministros. Esto evidenció la debilidad de las cadenas logísticas y la dependencia de los sistemas centralizados para llevar a cabo la producción (Ranney et al., 2020).

En Brasil, en algunos lapsos de tiempo la demanda superó los tres millones de metros cúbicos diarios; en otras naciones, las variaciones fueron significativas, dependiendo del desarrollo epidemiológico. La variabilidad de estos datos indica que la demanda de oxígeno no es invariable, sino que está sujeta a factores como la prevalencia de enfermedades respiratorias, las condiciones demográficas y geográficas de cada área y la capacidad hospitalaria (OMS, 2021).

Dentro de este contexto, la demanda cada vez mayor de oxígeno medicinal ha impulsado la elaboración de planes orientados a impulsar la producción local y descentralizada. Según Dondorp y otros (2021) se considera una opción técnica viable contar con plantas generadoras de oxígeno in situ, especialmente con tecnología PSA, para garantizar un suministro constante, disminuir los costos logísticos y optimizar la capacidad de reacción ante emergencias.

En síntesis, el análisis de la demanda de oxígeno medicinal revela lo esencial que es para los sistemas sanitarios y la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que aseguren su disponibilidad. Es por esta circunstancia que se crean plantas productivas locales, especialmente en regiones con acceso restringido, como estrategia para reducir la dependencia de proveedores externos y fortalecer la resiliencia sanitaria.

2.2.3. *Costos y dinámica económica del oxígeno medicinal*

El precio del oxígeno medicinal ha sido directamente afectado por la relación entre la oferta y la demanda, especialmente en momentos de crisis sanitaria. En el marco de la pandemia por COVID-19, la demanda se incrementó de manera abrupta, lo que generó alteraciones en el mercado y aumentos significativos en los precios, además de revelar cuán frágiles son las cadenas de suministro a nivel global (Access to Medicine Foundation, 2023). Los países con infraestructura de producción local escasa fueron los que más sufrieron las consecuencias de esta situación, en la que los costos finales para los consumidores se elevaron a causa de depender de proveedores foráneos.

A escala mundial, los precios del oxígeno sufrieron alteraciones importantes. En países del sur de Asia, incluida India, el costo de un cilindro de oxígeno alcanzó precios de entre 330 y 2.500 dólares estadounidenses en los momentos más complicados. En Perú, en algunos períodos, el precio por cilindro excedió los mil dólares. Esto evidenció un problema estructural relacionado con la escasez y la intermediación en la cadena de distribución. Por otra parte, en países europeos con sistemas de producción más desarrollados, como Alemania, los precios fueron relativamente estables, alrededor de 20 euros por cilindros de menor capacidad y aproximadamente 2.6 euros por litro (Access to Medicine Foundation, 2023).

Las diferencias están influenciadas por factores relacionados con la capacidad de producción instalada, la regulación del mercado, la eficiencia logística y el nivel de desarrollo tecnológico. En los sistemas de producción concentrada que dependen del transporte a larga distancia los costos suelen ser más altos por los gastos de gestión, almacenamiento y distribución. Por otro lado, los sistemas locales de generación de energía a partir de centrales eléctricas ofrecen importantes reducciones de costes, eliminando intermediarios y optimizando la cadena de suministro.

En esta situación, la capacidad de producción se convierte en un factor importante a considerar para la viabilidad económica del suministro de oxígeno terapéutico. El establecimiento de instalaciones de producción locales reduce los costes operativos y aumenta la seguridad del suministro, especialmente en zonas remotas. La falta de oxígeno medicinal pone de manifiesto la

necesidad de aprender de crear soluciones tecnológicas nacionales que puedan hacer frente a las vulnerabilidades del sistema y garantizar un acceso justo a este recurso vital.

2.2.4. Producción y actores principales en la industria del oxígeno

A nivel global, la generación de oxígeno esta denominado por un pequeño grupo de compañías multinacionales que agrupan gran parte de la capacidad instalada y la distribución de gas para fines industriales y medicinales. Entre las compañías líderes se encuentran Air Liquide, con sede en Francia, y Linde, con presencia global y sede en Alemania, las cuales lideran el mercado internacional mediante la operación de grandes plantas de separación de aire y redes de distribución altamente tecnificadas (Lide, 2023).

Las empresas cuentan con plantas a gran escala, basadas principalmente en la destilación a baja temperatura, lo que permite la producción de oxígeno de alta pureza en grandes cantidades. Un ejemplo llamativo es la planta de Oberhausen, que con una capacidad de más de 2400 toneladas de oxígeno al día es una de las más grandes del mundo. nivel regional y nacional.

A pesar de la magnitud de la producción global, el oxígeno medicinal representa únicamente entre el 5 % y el 10 % del total del oxígeno producido, lo que refleja que su disponibilidad está condicionada por la priorización industrial y la capacidad de adaptación de las plantas existentes (International Energy Agency, 2021). Esta proporción evidencia una limitación estructural, ya que en situaciones de emergencia sanitaria la demanda médica puede incrementarse de manera abrupta, superando la capacidad de respuesta de los sistemas tradicionales de producción.

En países en vías de desarrollo, la provisión de oxígeno suele estar a cargo de estas grandes compañías, resultando en una notable concentración del mercado y una considerable dependencia de infraestructuras centralizadas. Esta circunstancia puede provocar desigualdades en el acceso, sobre todo en áreas periféricas o de difícil acceso, donde los gastos de transporte y las restricciones logísticas impactan la disponibilidad del recurso.

Ante esta situación, la producción descentralizada mediante plantas de generación de oxígeno de pequeño y mediano tamaño se está convirtiendo en una opción estratégica. Estas soluciones respaldan la producción industrial tradicional, aumentan la autonomía local y mejoran

la resiliencia de los sistemas de salud. la diversificación del suministro y proporcionan un suministro constante y eficiente.

2.2.5. *Transporte y distribución del oxígeno*

La infraestructura con la que ya se cuenta para almacenar y distribuir oxígeno medicinal e industrial, así como su estado físico, determinan el transporte de este. El oxígeno se obtiene mediante la licuefacción del aire en sistemas de gran tamaño. Este proceso consiste en enfriar el aire hasta convertirlo en líquido con temperaturas criogénicas de aproximadamente $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$. En esta forma, el oxígeno puede ser almacenado en tanques criogénicos y transportado en camiones cisterna que han sido diseñados para mantener condiciones de temperatura baja y presión alta (Perry y Green, 2019).

Una vez que el oxígeno líquido ha sido transportado a los lugares de consumo, como hospitales o fábricas, se convierte nuevamente en estado gaseoso mediante procesos de vaporización. Luego, el gas se distribuye a través de redes internas de tuberías que permiten su suministro ininterrumpido en los puntos de utilización, garantizando condiciones controladas de pureza, presión y caudal (OMS, 2020). Este sistema es efectivo para las entidades que tienen una alta demanda, ya que permite un suministro ininterrumpido.

El oxígeno se conserva y transporta en cilindros a presurizados, que comúnmente presentan una presión de 150 y 200 bares, cuando no existe infraestructura criogénica. De acuerdo con Atkins & de Paula (2018), este enfoque proporciona una mayor flexibilidad en su operación, ya que los cilindros son fáciles de mover y pueden ser empleados en diferentes contextos, como hospitales más reducidos, centros de atención primaria e incluso en hogares. No obstante, este sistema presenta dificultades logísticas, tales como el elevado costo de transporte, los peligros que surgen de la manipulación y la frecuencia con la cual se requieren recargas.

Desde un enfoque operativo y técnico, los sistemas centralizados o la producción en el lugar son más efectivos que el transporte basado en cilindros, sobre todo en zonas remotas o de geografía complicada. En estos casos, el establecimiento de fábricas que produzcan oxígeno en la localidad hace posible disminuir significativamente la dependencia de los sistemas de transporte, mejorar el uso del recurso y aumentar la continuidad de la provisión. Por lo tanto, el análisis de los sistemas

de distribución y transporte subraya la importancia de soluciones descentralizadas que se ocupen de las necesidades específicas del entorno territorial.

2.2.6. *Aire atmosférico como materia prima*

El aire atmosférico constituye la materia prima fundamental para la producción de oxígeno mediante procesos de separación de gases. Se trata de una mezcla homogénea de gases que conforman la atmósfera terrestre y que se mantiene alrededor del planeta debido a la acción de la gravedad. Desde una perspectiva química, el aire tiene una composición bastante uniforme en la troposfera, aunque puede sufrir pequeñas variaciones debido a elementos como la altitud, la temperatura y la humedad del entorno (Atkins y de Paula, 2018).

En un ambiente de aire seco, su composición volumétrica se encuentra principalmente compuesta por nitrógeno (78.08 %), seguido del oxígeno (20.95 %) y el argón (0.93 %), junto con mínimas proporciones de dióxido de carbono y otros gases traza (Perry y Green, 2019). A estos elementos se incorporan vapor de agua cuya concentración puede variar entre 0 % y 4 % dependiendo de las condiciones climáticas. Desde el punto de vista de la ingeniería de procesos, son fundamentales las propiedades fisicoquímicas del aire para el diseño de los sistemas de producción de oxígeno. Esta variabilidad añade un elemento extra en los procesos de tratamiento del aire, pues el contenido de humedad debe ser regulado antes de la separación de los gases.

La ingeniería de procesos considera las propiedades fisicoquímicas del aire son fundamentales para el diseño de sistemas de producción de oxígeno, las propiedades fisicoquímicas del aire son fundamentales para el diseño de sistemas de producción de oxígeno. particular, la concentración inicial de oxígeno determina el dimensionamiento de los equipos, la eficiencia del proceso y la capacidad de producción. adsorción por cambio de presión (PSA), el aire comprimido pasa por procesos de filtración, secado y adsorción selectiva, separando el nitrógeno mediante materiales adsorbentes, lo cual permite obtener oxígeno con niveles de pureza adecuados para aplicaciones médicas (Towler y Sinnott, 2021).

El aire no solo es un recurso natural disponible, sino también un factor clave para la viabilidad tecnológica de las instalaciones generadoras de oxígeno. Debido a su disponibilidad y composición relativamente estable, son fáciles de usar para construir sistemas industriales

autosuficientes, especialmente en lugares con acceso limitado a fuentes externas de oxígeno. Es necesario estudiar el aire ambiente como materia prima para justificar el diseño y el funcionamiento de dispositivos locales generadores de oxígeno.

2.2.7. Composición del aire atmosférico

El aire atmosférico es una mezcla de gases en la que, al contemplar el aire seco, su composición volumétrica es más o menos constante en la troposfera. La mayor parte de su componente corresponde al nitrógeno molecular, seguido por el oxígeno; otros gases están presentes en cantidades traza. El entendimiento minucioso de esta composición es crucial para diseñar sistemas de separación de gases, pues la concentración inicial de oxígeno establece el dimensionamiento y la eficacia de procesos como la adsorción por cambio de presión (PSA), que es una tecnología usada en la producción de oxígeno medicinal.

La Tabla 1 muestra la composición media en volumen del aire seco bajo condiciones normales, teniendo en cuenta los principales gases que lo componen.

Tabla 1. Composición del aire atmosférico

Gas	Volumen (%)
Nitrógeno (N ₂)	78,084
Oxígeno (O ₂)	20,946
Argón (Ar)	0,9340
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,035
Neón (Ne)	0,001818
Helio (He)	0,000524
Metano (CH ₄)	0,000179
Kriptón (Kr)	0,000114

Hidrógeno (H₂)

0,000055

Fuente: Adaptado de Perry & Green (2019); Lide (2023).

Los valores anteriores se refieren a aire seco y no consideran el vapor de agua, cuya es concentración variable. No obstante, el aire contiene compuestos en concentraciones muy reducidas, además de los gases predominantes, que pueden influir en los procesos de separación y purificación.

La Tabla 2 presenta la variabilidad del vapor de agua y los componentes traza adicionales que se encuentran en el aire atmosférico.

Tabla 2. Composición del aire atmosférico

Gas	Volumen (%)
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,00003
Monóxido de carbono (CO)	0,00001
Xenón (Xe)	0,000009
Ozono (O ₃)	0 a 7×10^{-6}
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0,000002
Yodo (I ₂)	0,000001
Amoníaco (NH ₃)	0,0003
No incluido en aire seco:	
Vapor de agua (H ₂ O)	~0,40 % en capas altas de la atmósfera; normalmente 1 a 4 % en la superficie.

Fuente: Adaptado de Lide (2023); Seinfeld & Pandis (2016).

El vapor de agua y el dióxido de carbono revisten especial interés en el diseño de plantas generadoras de oxígeno, ya que estos componentes deben eliminarse antes de que el aire entre en el generador PSA, utilizando sistemas de secado y adsorción. El conocimiento exacto de la composición del aire no solo es descriptivo, sino que también constituye una base técnica para el dimensionamiento de los filtros, secadores y lechos de adsorción de la planta proyectada.

2.2.8. *Funcionamiento de las plantas de generación de oxígeno*

Las plantas de generación de oxígeno constituyen sistemas industriales diseñados para separar el oxígeno del aire atmosférico mediante procesos físicos y fisicoquímicos. En la actualidad, las tecnologías más utilizadas son la destilación criogénica y la adsorción por cambio de presión (Pressure Swing Adsorption, PSA), siendo esta última la más adecuada para aplicaciones de pequeña y mediana escala, como el suministro de oxígeno medicinal en instalaciones de salud o sistemas descentralizados (Towler y Sinnott, 2021).

El funcionamiento general de una planta de generación de oxígeno mediante tecnología PSA se ilustra en la Gráfico 1, donde se representa el flujo del proceso desde la captación del aire atmosférico hasta la obtención del oxígeno en condiciones aptas para su uso.

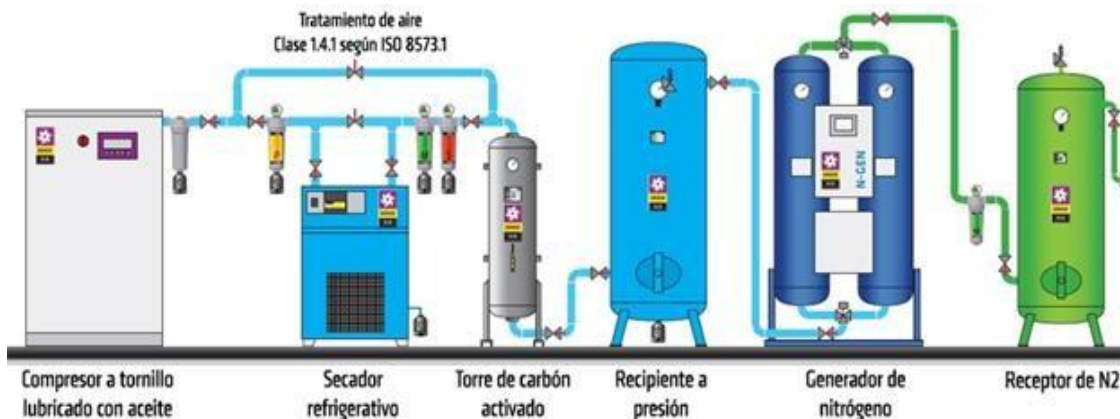


Gráfico 1. Generadores de Nitrógeno y Generadores de Oxígeno

Fuente: Adaptado de RPP (2021).

En este sistema, el proceso inicia con la captación del aire ambiente mediante un compresor, el cual eleva la presión del aire a niveles operativos. Posteriormente, el aire comprimido es conducido a través de un sistema de filtración que elimina partículas sólidas, aceites y contaminantes, seguido de un sistema de secado que reduce significativamente el contenido de humedad. Estas fases de tratamiento son esenciales para asegurar la efectividad del proceso y resguardar los elementos del sistema.

Una vez procesado, el aire se guarda en un tanque reservorio que controla su circulación hacia el generador PSA. En esta unidad, el aire comprimido pasa por columnas con tamices moleculares, generalmente zeolitas, que adsorben de forma selectiva el nitrógeno y permiten el flujo del oxígeno. Este principio de adsorción selectiva permite obtener oxígeno con una pureza cercana del 93 %, apta para usos medicinales según los estándares internacionales (World Health Organization, 2020).

El sistema PSA funciona a través de ciclos alternos de adsorción y regeneración en dos o más torres. Mientras una columna está en fase de separación, la otra se despresuriza para permitir la liberación del nitrógeno acumulado, asegurando así un funcionamiento continuo del sistema. Este ciclo operativo es fundamental para la tecnología PSA y posibilita mejorar el rendimiento del sistema (Zhou et al., 2022).

El oxígeno generado se transporta a un tanque de almacenamiento, desde el cual puede ser enviado directamente a la red de consumo o llevado a un compresor de alta presión, denominado “booster”, para el llenado de cilindros. Este procedimiento se lleva a cabo mediante un sistema llamado “manifold”, que facilita la distribución controlada del gas a varios contenedores, garantizando condiciones seguras de funcionamiento.

Así mismo, las plantas utilizan sistemas de respaldo que aseguran la continuidad del suministro ante fallos, junto con reguladores de presión que mantienen estables las condiciones del gas antes de su uso. En conjunto, estos posibilitan la conversión del aire atmosférico en oxígeno aprovechable de manera eficiente, segura y continua (Cerrada, 2017).

2.2.9. Ventajas de la producción de oxígeno in situ frente al suministro tradicional

La producción de oxígeno in situ mediante tecnologías como la adsorción por cambio de presión (PSA) representa una alternativa eficiente frente a los modelos tradicionales basados en el suministro externo mediante cilindros o tanques criogénicos. Este enfoque ha adquirido relevancia en los últimos años, especialmente en contextos donde la continuidad del abastecimiento y la reducción de costos operativos constituyen factores críticos para el funcionamiento de los sistemas de salud (Hospitecna, 2020).

Desde la perspectiva económica, una de las mayores ventajas de la producción local de oxígeno se encuentra en la notable disminución de los costos relacionados con el abastecimiento. Varios estudios muestran que la instalación de plantas generadoras puede reducir hasta en un 30 % los costos asociados con la compra y el transporte de gases medicinales. Esto se debe a la eliminación de mediadores, la mejora de la cadena de distribución y la capacidad de producir el recurso directamente en el lugar de uso, lo que disminuye los gastos periódicos de aprovisionamiento (Hospitecnia, 2020).

Un suministro continuo de oxígeno independientemente de las condiciones externas de transporte y distribución. Esto es especialmente cierto en zonas con topografía difícil o infraestructura vial deficiente, donde el suministro convencional puede verse obstaculizado por factores climáticos, sociológicos o logísticos. La producción de oxígeno exactamente donde se necesita aumenta la independencia operativa. Aumenta la independencia operativa de las instituciones de garantiza el acceso continuo a este recurso crucial. instituciones y garantiza el acceso continuo a este recurso crucial.

Las plantas de producción de oxígeno producción PSA alcanzan concentraciones de pureza de entre el 93 y el 95%, según las normas internacionales para aplicaciones mecánicas. Los sistemas cuentan con mecanismos de monitorización continua para gestionar la calidad del gas en tiempo real y garantizar un suministro seguro. Los sistemas de protección se activan cuando se superan los parámetros preestablecidos.

Una ventaja destacada es la disminución de los riesgos relacionados con el almacenamiento y manejo de grandes cantidades de oxígeno en estado líquido o comprimido. Al generar el gas de forma continua y según demanda, se reduce la necesidad de almacenamiento extenso, lo que ayuda a mejorar las condiciones de seguridad en las instalaciones. En igual medida, la conservación de estos sistemas es base fácil, ya que partes como los filtros pueden sustituirse en breves intervalos sin impactar de manera considerable el funcionamiento del sistema.

Desde el punto de vista de la administración, el hecho de producir el oxígeno en el lugar facilita la planificación financiera hoy que implica costos de operación más estables y predecibles que los que implica el modelo tradicional, que depende del mercado.

Se ha demostrado que la producción en serie es una solución ventajosa desde el punto de vista técnico, económico y operativo. Mayor eficiencia en el suministro, menor dependencia de proveedores externos y mayor capacidad de respuesta de los sistemas de salud. La producción propia ha demostrado ser una solución técnica, económica y operativa que mejora la eficiencia del suministro, disminuye la dependencia de proveedores externos y aumenta la capacidad de respuesta de los sistemas de salud. Estas ventajas justifican su implementación en contextos donde el acceso al oxígeno es limitado, como estrategia para garantizar un suministro continuo, seguro y sostenible (Hospitecnia, 2020).

2.2.10. Fundamentos teóricos del diseño de plantas de generación de oxígeno a pequeña escala

La concepción de plantas para la producción de oxígeno en pequeña escala se basa en principios de ingeniería de procesos que buscan asegurar la estabilidad operativa, la pureza del producto, la seguridad del sistema y la capacidad de producción. Desde el punto de vista metodológico, la fase inicial del diseño comienza con definir la capacidad necesaria, que está relacionada con la demanda proyectada y con la continuidad del abastecimiento esperada. Esta información luego se convierte en caudales de operación y balances de material que facilitan el dimensionamiento de equipos y subsistemas. Esta perspectiva coincide con la lógica del diseño de procesos y plantas, en la que se establecen el caudal objetivo, se escoge un esquema de proceso y se dimensiona preliminarmente para fortalecer una propuesta que sea viable desde el punto de vista técnico (Towler y Sinnott, 2021).

La OMS, en el caso de plantas que funcionan con adsorción por cambio de presión, define especificaciones técnicas para las plantas PSA que tienen como objetivo generar oxígeno medicinal a partir del aire ambiente con una concentración meta de $93\% \pm 3$. Esto significa que el diseño tiene que garantizar no solo el caudal volumétrico, sino también la permanencia en la calidad del gas durante su operación (OMS, 2020). La Farmacopea Internacional, de manera consistente, acepta el oxígeno 93 % como una opción apta para la utilización respiratoria, con rangos de aceptación entre el 90,0 % y el 96,0 % v/v. Necesidad de que el diseño del sistema garantice la pureza dentro de estos límites, teniendo en cuenta las fluctuaciones intrínsecas del ciclo de adsorción, las condiciones ambientales y la estabilidad del régimen operativo (OMS, 2021).

Desde la perspectiva de la ingeniería de procesos, la eficiencia y el rendimiento de un sistema PSA están determinados por la interacción entre la presión de operación, el tiempo de ciclo, las fases de purga y ecualización, y el material adsorbente. Estas variables determinan tanto el consumo energético como la producción de oxígeno. La literatura científica más reciente subraya que la simulación de ciclos PSA y la modelación numérica posibilitan el análisis del impacto de estos parámetros y optimizan la toma de decisiones en diseño, sobre todo cuando se pretende mejorar el rendimiento a pequeña o mediana escala en situaciones operativas desafiantes (Zhou et al., 2022). Además, las investigaciones experimentales comparativas en sistemas PSA y VPSA orientados a la producción médica evidencian que el ajuste de los tiempos de adsorción y fases del ciclo influye directamente en el rendimiento. Es necesario basar tanto el dimensionamiento como los parámetros operativos en criterios técnicos verificables, y no solo en estimaciones teóricas (Zhang et al., 2023).

En este contexto, el diseño de un sistema de 5 m³ /h debe coordinar el dimensionamiento del sistema de purificación de aire, la unidad PSA y el sistema de almacenamiento y control. El objetivo es mantener un flujo de oxígeno constante y su pureza dentro del rango permitido del 93%. El diseño se basa teóricamente en la lógica del proceso, las normas internacionales para el oxígeno medicinal producido por PSA y el conocimiento científico actual sobre el comportamiento del ciclo de adsorción. a la coherencia entre los principios conceptuales y el alcance técnico de la investigación propuesta.

2.3. Marco Conceptual.

Este trabajo se basa en los principios básicos que sustentan los diseño principios de un que sustentan el diseño de una planta de oxígeno para la producción de 5 m³/h destinada a la región amazónica. El marco conceptual comprende categorías técnicas, operativas y funcionales que permiten comprender el fenómeno desde una perspectiva aplicada. Los Entre los factores que vinculan estos conceptos se incluyen la pureza del gas, la capacidad de producción, la tecnología de separación y la eficiencia operativa .la tecnología Estos conceptos y la eficiencia operativa. Estos conceptos proporcionan el marco teórico del estudio. Proporcionar el marco teórico del estudio.

2.3.1. Capacidad instalada y flujo volumétrico

La capacidad instalada es la cantidad máxima de producción que un sistema es capaz de producir en condiciones normales de funcionamiento a lo largo de un periodo específico. En la industria oxígeno de las plantas de generación, esta capacidad se suele especificar en metros cúbicos por hora (m^3/h). Esto se refiere a la consistencia volumétrica que el sistema logra proporcionar.

El caudal volumétrico es una medida de la cantidad de gas producida durante un período de tiempo determinado y es un parámetro importante para el dimensionamiento de la planta, sobre todo para los compresores, las columnas de adsorción y los tanques de almacenamiento. El control del caudal volumétrico garantiza que la capacidad instalada sea suficiente para satisfacer la demanda especificada y evita cuellos de botella y excesos de capacidad que aumentarían innecesariamente los costes operativos

En este estudio, se utiliza una capacidad de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ como elemento de diseño básico, relacionando así directamente el cálculo de la demanda con el tamaño estructural y operativo de la planta.

2.3.2. Pureza del oxígeno medicinal

El porcentaje volumétrico de oxígeno que está presente en el flujo gaseoso generado por el sistema es lo que se conoce como pureza del oxígeno. La pureza estándar para uso medicinal, en plantas basadas en la tecnología de adsorción por cambio de presión, está alrededor del 93%, lo que se encuentra dentro de los márgenes admitidos según las regulaciones internacionales para el oxígeno (93%).

La eficacia terapéutica del gas suministrado y en el cumplimiento de los requisitos legales. Por regla general, la pureza está determinada por el material adsorbente utilizado, pero también por los parámetros operativos del proceso de separación, como la presión, el tiempo de adsorción y la eficacia del proceso de regeneración. En el diseño sugerido, se considera la pureza como un criterio para el rendimiento técnico que determina la elección de tecnología y la validación del sistema.

2.3.3. *Tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA)*

La adsorción por cambio de presión se basa en la habilidad selectiva de algunos materiales para captar nitrógeno cuando se dan determinadas condiciones de presión, lo que posibilita que el oxígeno se concentre en la corriente de salida. El procedimiento funciona a través de ciclos alternos de presurización y despresurización, los cuales hacen posible que el aire atmosférico se divida en sus componentes básicos.

El sistema PSA es un proceso de separación no criogénico, diseñado para aplicaciones de pequeña y mediana escala. Se caracteriza por una eficiencia energética moderada, modularidad y capacidad de funcionamiento continuo. La tecnología resulta especialmente útil cuando la reducción de las dependencias logísticas y la descentralización de la producción son objetivos estratégicos. La tecnología constituye la piedra angular del diseño y proporciona el marco conceptual para los cálculos de capacidad, las simulaciones y la validación estructural.

2.3.4. *Producción on-site y descentralización del suministro*

Se entiende por producción on-site a la creación de gas en el sitio donde se va a consumir, lo que evita la necesidad de un transporte largo desde las plantas centrales. Este modelo de producción está asociado a principios de autonomía en la operación, disminución de los riesgos logísticos y capacidad para resistir en el suministro.

En términos conceptuales, la descentralización de la producción hace posible disminuir las vulnerabilidades vinculadas a interrupciones en la cadena de suministro, cambios en el costo del transporte y restricciones geográficas. La producción local se vuelve estratégica en áreas remotas o con condiciones logísticas complicadas, ya que asegura que el recurso esté disponible y se mantenga constantemente.

La producción in situ es el marco conceptual de este estudio, que dirige la propuesta hacia una solución adaptada al contexto amazónico.

2.3.5. *Eficiencia operativa y confiabilidad del sistema*

La eficiencia operativa se refiere a la habilidad del sistema para generar la cantidad necesaria de oxígeno con el mínimo consumo de energía posible, manteniendo consistencia en sus

parámetros operacionales. Por otro lado, se trata de un abastecimiento constante sin grandes interrupciones, con pureza y presión dentro de unos límites aceptables.

Los conceptos están relacionados con la validación mediante herramientas de simulación y el diseño, ya que el análisis de las propiedades funcionales y mecánicas de los componentes permite predecir posibles fallos y optimizar el funcionamiento general del sistema. Los conceptos se centran en el diseño y la validación mediante el uso de herramientas de simulación.

2.4. Marco Legal y Normativo.

Un grupo de regulaciones, tanto a nivel nacional como internacional, que establecen estándares en cuanto a calidad, seguridad, infraestructura y control sanitario, rige la producción, almacenamiento y distribución del oxígeno medicinal. Esta investigación no solo incluye este marco regulatorio como un ejercicio descriptivo, sino porque es necesario asegurar que el diseño de una planta generadora de oxígeno de 5 m³/h cumpla con las normativas técnicas y sanitarias actuales, para garantizar la conformidad desde el momento en que se concibe el sistema.

2.4.1. Normas Internacionales:

En el ámbito internacional existen múltiples regulaciones técnicas que controlan la gestión, almacenamiento y uso seguro de gases criogénicos y comprimidos. La norma NFPA 55 abarca el diseño, la ventilación, los sistemas de protección contra incendios y las distancias de seguridad necesarias para la manipulación y el almacenamiento de gases comprimidos y líquidos criogénicos en contenedores fijos y móviles, incluyendo el diseño, la ventilación, los sistemas de protección contra incendios y las distancias de seguridad, constituyen una referencia esencial para el diseño seguro de instalaciones para la producción y el almacenamiento de oxígeno. Estas directrices constituyen una referencia importante para el diseño seguro de las instalaciones de producción y almacenamiento de oxígeno.

Además, la norma NFPA 99 incluye requisitos de rendimiento para los sistemas de gases medicinales en centros sanitarios, utilizando un enfoque de gestión de riesgos. Este enfoque es especialmente esencial, ya que considera los riesgos del sistema para los pacientes y el personal, y establece requisitos de seguridad. Tiene una influencia directa en el diseño de las redes de distribución, los sistemas alternativos y los estándares de pureza.

Las regulaciones de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE.UU. (OSHA) requiere que los trabajadores se capaciten en el manejo de gases comprimidos, trabajen en condiciones seguras y tomen las precauciones necesarias para evitar riesgos. Se trata de una normativa estadounidense, pero se incluye porque es una norma técnica internacional en materia de seguridad laboral.

Las normas NTP 51 (almacenamiento de oxígeno) y NTC 2880 (transporte terrestre de materiales peligrosos de Clase II) establecen requisitos técnicos para las condiciones del transporte, tuberías, contenedores y válvulas. Las presentes normas establecen requisitos esenciales de seguridad logística y estructural para la posterior distribución del gas generado establecen requisitos esenciales de seguridad logística y estructural para la posterior distribución del gas.

Estas normas internacionales no sólo sirven como base para el diseño de la planta, sino que además establecen los requisitos mínimos de almacenamiento, de manipulación y de seguridad estructural que deben tenerse en cuenta en el dimensionamiento y en la elección de los materiales a utilizar.

A continuación, se presentan las principales normativas a nivel internacional:

NFPA 55 – Norma para el almacenamiento, uso y manipulación de gases comprimidos y líquidos criogénicos en contenedores portátiles y fijos, cilindros y tanques (NFPA, 2005).

El Congreso de los Estados Unidos estableció la OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) en 1970, durante la administración de Nixon, para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores estadounidenses mediante el establecimiento y la aplicación de normas, la provisión de programas de capacitación, divulgación, educación y asistencia a empleadores y trabajadores (OSHA, 1970).

NFPA 99: Esta norma estadounidense de 1896 para gases medicinales, regula la utilización de los recipientes criogénicos para gases medicinales. Establece metas de desempeño para los centros de salud que siguen un enfoque basado en riesgo. Las directrices de seguridad se determinan por el riesgo para el paciente y el personal, no por el tipo de edificio (NFPA, 2018).

NTP 51. Almacén de oxígeno. Esta norma se basa esencialmente en los códigos NFPA 50 y 51. Solo se aplica a las instalaciones de oxígeno (centros de almacenamiento y distribución) con capacidad superior a 12 litros. Habla de otras condiciones de seguridad como tanques, válvulas, tubos, etc. (Villanueva Muñoz, 2004).

NTC 2880 del 2005 – Transporte de mercancías peligrosas por clase 2. Condiciones para el transporte terrestre y requisitos para el transporte terrestre y la manipulación de cilindros que contienen mercancías peligrosas de la Clase 2, como gases a presión, gases licuados (excepto el gas licuado de petróleo), gases disueltos a presión y líquidos criogénicos (Departamento de Transporte, 2005).

Resolución 4410 de 2009 – Tiene por objeto establecer los reglamentos técnicos, incluido el manual de Buenas Prácticas de Fabricación (BPF). En el presente manual se establecen los requisitos que deben cumplir los gases medicinales en la fabricación, el control de calidad y la comercialización por parte de la industria y los centros de salud a fin de proteger la vida y la salud (Departamento de Seguridad Social, 2009).

Resolución de 25 de abril de 2011 2011012580. La norma se refiere a las directrices de inspección de Buenas Prácticas de Fabricación (BPF) de gases medicinales en los procesos de fabricación, llenado, control de calidad, distribución y comercialización de conformidad con la Resolución 4410 de 2009 (Invima, 2011).

Norma NTC 5198 de 2013 Limpieza de equipos de suministro de oxígeno. En esta norma se establecen los procedimientos de limpieza de los equipos empleados en la fabricación, almacenamiento, distribución y uso del oxígeno líquido y gaseoso. Ejemplos de estos equipos son: tanques de almacenamiento fijos, camiones tanque, tanques criogénicos, así como válvulas, componentes e instrumentos (Icontec, 2013).

Resolución 2876 de 2013 - Norma técnica que regula la información que debe llevar el sello original, el marcado y el aspecto de los cilindros transportables de alta presión, sin soldadura o sin costura, para gases industriales y medicinales, importados para su venta o uso en Colombia o fabricados en el país. Su El objetivo es evitar que se lleven a cabo prácticas engañosas hacia los

consumidores o usuarios y asegurar la seguridad de estos productos (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2013).

Resolución 1066 de 2020. Por medio de la cual se establecen requisitos sanitarios temporales para la venta, distribución, dispensación, suministro no declarado, almacenamiento y transporte de productos farmacéuticos, fitoterapia, dispositivos médicos, equipos médicos y 30 diagnósticos in vitro, y se autoriza la producción de gases medicinales en centros de salud. (Ministerio de Salud, 2020).

Artículo 5.- Autorización para la producción de gases medicinales en los centros de salud (PGF) gases medicinales en los centros de salud (PGF). En el presente artículo se describe la documentación que deben presentar los centros de salud que deseen producir gases medicinales in situ para solicitar la autorización ante el INVIMA. La Documentación e información que ha de aportarse son, entre otras cosas, una descripción y fotografías de la planta de producción de gases medicinales, pruebas de fugas y contaminación cruzada .de la red de distribución hospitalaria, así como una guía de auto evaluación firmada por el representante legal del centro de salud que acredita el cumplimiento de los requisitos establecidos.

2.4.2. Normas Ecuatorianas

En el ámbito nacional, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece requisitos técnicos específicos para el manejo y transporte de oxígeno mediante la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2343:2004, la cual regula aspectos relacionados con envasado en cilindros, inspecciones, métodos de ensayo, marcación y etiquetado. Esta norma incide directamente en el diseño del sistema de llenado y almacenamiento de cilindros, así como en los controles de calidad que deben implementarse.

El Reglamento de Buenas Prácticas de Fabricación (BPF) para la fabricación, llenado, almacenamiento y distribución de gases medicinales, es un instrumento normativo clave que establece los requisitos obligatorios para la producción y distribución de estos gases. El artículo 2 prevé la creación una estructura organizativa bien definida para garantizar la calidad, la seguridad y la cantidad del producto. Estructura organizativa definida para garantizar la calidad, seguridad y

cantidad del producto. El diseño de las instalaciones debe contar con procesos documentados, responsabilidades asignadas y controles de calidad integrados.

El artículo 22 exige que las áreas de fabricación, envasado, almacenamiento y distribución se diseñen para evitar confusiones y contaminación cruzada. Tiene una influencia directa en la ubicación de los equipos y materiales en las instalaciones proyectadas. El artículo 44 también exige la revisión periódica de los cilindros de gas y la revisión de las pruebas hidrostáticas de acuerdo con la norma NTE INEN 2049 que afecta al diseño del sistema de almacenamiento y llenado.

El artículo 84 dispone que los sistemas de concentración de oxígeno y los equipos mismos deberán cumplir con las normas nacionales e internacionales aplicables, incluida la norma ISO 10083. Esto pone de Alivia la necesidad de diseñar el sistema de 5 m³/h de acuerdo con las normas reconocidas para la producción de oxígeno medicinal in situ. El Artículo 122 Restringe que los cilindros de oxígeno estén expuestos a temperaturas superiores a 52 °C, lo cual tiene consecuencias sobre la disposición de los espacios de almacenamiento y de ventilación.

El gobierno es responsable del suministro de oxígeno y del cumplimiento de las normas de higiene, y debe tenerse en cuenta durante la implementación del sistema, en conjunto con la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) en lo que respecta al monitoreo del suministro de oxígeno.

El marco jurídico nacional no es solo un instrumento legal para la venta de oxígeno, sino que también influye de manera crucial en el diseño estructural, la distribución geográfica de la instalación, los procedimientos operativos y los sistemas de control de calidad, siendo, por tanto, un factor importante en la validación técnica y legal del proyecto.

A continuación, se presentan las principales normativas a nivel nacional:

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) detalla los requisitos del oxígeno, con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2343: 2004, primera edición, donde menciona el correcto manejo y transporte del oxígeno, haciendo énfasis en el envasado en cilindros de oxígeno en termo criogénicos, como en tanques criogénicos. Además, se detallan las inspecciones que se deben realizar, el tipo de muestra por el tamaño de lote, los distintos métodos de ensayo, la correcta marcación y etiquetado de los cilindros. La Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia

Sanitaria (ARCSA), trabaja de forma conjunta con los fabricantes de oxígeno medicinal, con el fin de garantizar su suministro y precios justos, al igual que la normativa contempla Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para la producción, llenado, almacenamiento y distribución de los gases medicinales (Flores Erazo, 2022).

Cada empresa que fabrique y /o distribuya gases medicinales deberá tener una estructura organizativa que, mediante medidas coordinadas, establezca y defina las responsabilidades de sus empleados para lograr el desempeño esperado en términos de calidad, seguridad y cantidad (Carpio, 2020).

Art. 22.- Las áreas utilizadas para la producción, llenado, control, almacenamiento y distribución de gases medicinales deben diseñarse para garantizar la correcta disposición de los equipos y materiales y evitar su mezcla (Carpio, 2020).

Artículo 44. Todos los cilindros de gases medicinales deberán ser sometidos a pruebas de presión hidrostática para comprobar su validez. En caso de que se requiera la prueba, se deben seguir los procedimientos indicados en la norma nacional NTE INEN 2049 (Carpio, 2020).

Artículo 84. Si el oxígeno tiene equipo para llenar el sistema de respaldo, estos equipos deben cumplir con las normas nacionales e internacionales aplicables, como NTE INEN 2049 e ISO 10083, así como con los requisitos para el llenado y envasado de gases medicinales establecidos en este reglamento (Carpio, 2020).

Art. 122.- Los cilindros no deben exponerse a temperaturas atmosféricas superiores a 52 ° C.

En resumen, la sistematización teórica referencial que se ha llevado a cabo en este capítulo ha posibilitado fortalecer el respaldo técnico y científico que abarca el análisis de la creación de una planta para generar oxígeno de 5 m³/h en la región amazónica. La importancia estratégica del oxígeno como recurso fundamental para la atención sanitaria y los procesos de la industria, además de la urgencia de reforzar esquemas productivos descentralizados en áreas con restricciones logísticas, fueron demostradas por el análisis del estado del arte. Esta revisión posibilitó reconocer las tendencias vigentes en la producción local y definir el contexto problemático que explica la relevancia de una solución técnica ajustada a las circunstancias locales.

Los fundamentos físico-químicos de la separación de gases, el mecanismo de la tecnología de adsorción por cambio de presión y los parámetros técnicos relacionados con la pureza del oxígeno, la eficiencia en las operaciones y la capacidad instalada fueron temas que se abordaron en profundidad en el marco teórico. Con base en estos fundamentos, se definieron las variables principales del estudio. Estas se organizaron más adelante en el marco conceptual como categorías relacionadas entre sí que guían el diseño sugerido. Así, se definieron teóricamente los conceptos de producción on-site, confiabilidad del suministro y flujo volumétrico; además, se vincularon con el propósito principal de la investigación.

El marco legal y normativo, por su parte, permitió que se definieran los estándares regulatorios tanto nacionales como internacionales que son pertinentes a la producción, almacenamiento y distribución de gases medicinales. Así se establecieron las condiciones que tienen que cumplir los sistemas de generación in situ en lo que respecta a calidad, seguridad y buenas prácticas de manufactura. Los fundamentos teóricos, conceptuales y normativos en su totalidad forman la base de la determinación del enfoque metodológico que se adopte, el dimensionamiento técnico de la planta y la validación operativa y estructural de la propuesta. Esto garantiza que haya coherencia entre lo que se sostiene teóricamente y los resultados previstos en la investigación.

Capítulo III. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.

En este capítulo se definen las bases metodológicas de la investigación, así como también los resultados de la planificación, modelado y validación técnica de la planta de generación de oxígeno de 5 m³/h construida para Lago Agrio, Sucumbíos. Esta sección presenta la estructura lógica que vincula la pregunta de investigación, los objetivos y las variables estudiadas. De esta manera, se garantiza la coherencia interna entre el marco teórico y su aplicación práctica en la investigación

Se presenta la operacionalización de las variables y la matriz de consistencias. Los elementos permiten sistematizar las dimensiones e indicadores que se tienen en cuenta en el análisis del fenómeno. En este apartado se describe el método, el diseño de la investigación, el tipo de estudio, así como las técnicas de recolección y análisis de los datos. Se describen las herramientas utilizadas, como la realización de encuestas, el uso de la matriz QFD para determinar los requisitos de diseño, la recopilación de datos históricos de consumo y el uso de software especializado para llevar a cabo simulaciones y análisis estructurales de los componentes de la planta.

De igual manera, se presenta el avance del trabajo de campo, la identificación de la población y la muestra, así como el análisis cuantitativo de los datos obtenidos. Con estos datos, se realiza el dimensionamiento de los equipos centrales, la estimación de las corrientes de aire y la composición de gases, el análisis de temperaturas y presiones, además de la simulación con herramientas para modelar flujos y estructuras. Finalmente, se exponen los resultados técnicos derivados del análisis de tanques a presión, los factores de seguridad, el comportamiento mecánico de los elementos, la valoración de costos y el estudio sobre la viabilidad técnica, social, económica y ambiental de lo sugerido. Esto posibilita justificar completamente el diseño propuesto en relación con el objetivo general del estudio.

3.1. Cuadro Operacionalización de variables

Variable Independientes

Diseño de la planta de oxígeno de 5 m³/h

Tabla 3. Variables Independientes

Dimensiones	Indicadores
Capacidad de producción	- Flujo volumétrico (m ³ /h) - Capacidad instalada nominal - Producción diaria estimada
Tecnología de generación (PSA)	- Tipo de sistema de adsorción - Tiempo de ciclo de adsorción/desorción - Eficiencia del proceso de separación
Calidad del oxígeno generado	- Porcentaje de pureza ($\geq 93\%$) - Estabilidad de concentración - Cumplimiento de estándares técnicos
Seguridad estructural de los componentes	- Factor de seguridad estructural - Presión máxima de diseño (bar) - Desplazamiento máximo (mm)
Eficiencia operativa	- Consumo energético - Estabilidad de presión y temperatura - Rendimiento del sistema bajo condiciones nominales

Fuente: El autor

Variable Dependientes**Abastecimiento continuo de oxígeno para consumo masivo en la ciudad de Lago Agrio****Tabla 4.** Variables Independientes

Dimensiones	Indicadores
Cobertura de demanda local	- Número de establecimientos de salud abastecidos - Frecuencia de pedidos - Volumen requerido vs volumen producido
Disponibilidad del suministro	- Continuidad del servicio - Tiempo de reposición - Capacidad de almacenamiento
Reducción de dependencia externa	- Disminución de compras a proveedores externos - Reducción de tiempos de transporte - Autonomía operativa regional
Viabilidad económica	- Comparación de costos de producción vs compra externa - Costos operativos anuales - Inversión inicial estimada

Fuente: El autor

3.2. Matriz de consistencia.

Tabla 5. Matriz de Consistencia

Pregunta de investigación	Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo contribuir al abastecimiento continuo de oxígeno para consumo masivo en la ciudad de Lago Agrio mediante el diseño de una planta de generación de 5 m ³ /h?	Si se diseña una planta de oxígeno de 5 m ³ /h en la ciudad de Lago Agrio, entonces se garantiza el abastecimiento continuo de oxígeno para consumo masivo.	Proponer una planta de oxígeno de 5 m ³ /h para el consumo masivo, contribuyendo al aprovechamiento máximo del oxígeno existente en la región amazónica de la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos, 2023.	1. Determinar los fundamentos teóricos referenciales sobre generación de oxígeno mediante tecnología PSA y diseño de plantas a pequeña escala. 2. Dimensionar y simular los parámetros técnicos	Variable Independiente: Diseño de la planta de oxígeno de 5 m ³ /h	Capacidad de producción	- Flujo volumétrico (m ³ /h) - Producción diaria estimada

Pregunta de investigación	Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
			<p>óptimos para el diseño estructural y operativo de la planta de 5 m³/h. 3. Evaluar la viabilidad técnica y operativa de la propuesta en función de la demanda local identificada.</p>		<p>Tecnología PSA</p>	<p>- Tipo de sistema de adsorción - Tiempo de ciclo -</p>

Pregunta de investigación	Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
						Eficiencia de separación - Factor de seguridad - Seguridad Presión máxima estructural de diseño - Desplazamiento máximo - Porcentaje de pureza $\geq 93\%$ - Calidad del oxígeno Estabilidad de concentración
				Variable Dependiente:	Cobertura de demanda	- Número de establecimientos

Pregunta de investigación	Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
				Abastecimiento continuo de oxígeno para consumo masivo		abastecidos - Volumen producido vs requerido - Continuidad del Disponibilidad servicio - del suministro Capacidad de almacenamiento - Disminución de Reducción de compras externas dependencia - Reducción de externa tiempos de abastecimiento

Fuente: El autor

3.3. Diseño metodológico.

Esta investigación se basa en el diseño y análisis de componentes de una planta de oxígeno, así como en la simulación mediante software especializado. El estudio se llevará a cabo utilizando metodologías de investigación científicas y tecnológicas, incluyendo la revisión bibliográfica de fuentes relevantes, la recopilación de datos, la aplicación de software especializado para el análisis y simulación de la planta de oxígeno, y la evaluación comparativa de diferentes procesos de obtención de oxígeno.

3.3.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.

3.3.1.1. Enfoque de investigación

Esta investigación se enfoca en el enfoque cuantitativo porque utiliza la medición numérica de variables técnicas vinculadas a la capacidad de producción, la presión laboral, la pureza del oxígeno, el comportamiento estructural y los parámetros de flujo. La finalidad es modelar, simular y validar el rendimiento de los componentes que forman parte de la planta propuesta. Esta perspectiva posibilita el análisis de datos objetivos que se recogen por medio de herramientas de recolección, cálculos ingenieriles y resultados provenientes de simulaciones computacionales.

El enfoque cuantitativo es apropiado debido a la naturaleza del problema de investigación, que requiere dimensionamiento técnico, evaluación de la eficacia operativa a través de parámetros medibles y verificables, análisis estructural y determinación de los factores de seguridad. En esta línea, el estudio se dirige a conseguir resultados que puedan ser replicados y que sirvan para respaldar de manera técnica la propuesta de diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para uso masivo en la ciudad Lago Agrio.

3.3.1.2. Diseño de Investigación

La metodología utilizada en esta investigación estuvo determinada por el objeto de estudio, la problemática presentada, así como las preguntas e hipótesis planteadas. Se empleó un enfoque metodológico cuantitativo, que se basó en el análisis de datos adquiridos a través de instrumentos de simulación y recolección, así como en la evaluación numérica de variables técnicas. Esto se hizo

con el fin de determinar relaciones entre los parámetros del diseño y corroborar el rendimiento de los componentes de la planta propuesta (Bernal, 2006).

Hay dos elementos que afectan la identificación del tipo de investigación pertenece que corresponde al objeto de estudio: el nivel actual de conocimiento sobre el problema de investigación evidenciados por las revisiones de la literatura y la visión anticipada del estudio (Sampieri, 2020).

El siguiente diseño corresponde a una investigación no experimental, ya que no extrae sus conclusiones finales ni datos de trabajo mediante una serie de acciones y reacciones reproducibles en un entorno controlado para obtener resultados interpretables, es decir, mediante experimentos.

3.3.1.3. Tipo de investigación

La investigación es explicativa, conforme a los objetivos del estudio, porque tiene como objetivo examinar la conexión entre el diseño técnico de una planta de oxígeno de 5 m³/h y su aporte al suministro constante para un consumo masivo en la ciudad de Lago Agrio. Se busca, de esta manera, establecer una relación de causa y efecto entre las variables técnicas de diseño y la capacidad de respuesta a las demandas locales detectadas.

La investigación, desde el punto de vista disciplinario, se sitúa dentro de la ingeniería aplicada, porque emplea principios y fundamentos teóricos específicos de la ingeniería industrial y mecánica para determinar el tamaño, elaborar modelos y validar los elementos que componen la planta generadora de oxígeno. Estos conocimientos se dirigen a resolver un problema específico a nivel regional.

Respecto al diseño metodológico, el estudio se clasifica como un diseño cuantitativo no experimental de tipo transversal, ya que las variables fueron examinadas tal y como aparecen en su contexto natural, sin modificación intencionada de las mismas y sin intervención directa en el ambiente. La recopilación de datos se llevó a cabo en una sola ocasión para identificar los requerimientos técnicos, las condiciones de demanda y los parámetros de diseño. Por su parte, la validación del flujo y la estructura se realizó a través de simulaciones por computadora, manteniendo inalteradas las condiciones reales de funcionamiento.

3.3.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos.

3.3.2.2. Técnicas e Instrumentos de la Investigación

Se utilizaron métodos enfocados en adquirir, registrar y analizar información importante para el diseño de la planta de oxígeno sugerida en el nivel empírico de la investigación. La técnica de observación directa se utilizó, de acuerdo con el diseño no experimental transversal y el enfoque cuantitativo. Esto hizo posible analizar las condiciones operativas para abastecer oxígeno en la zona de estudio, registrando datos a través de bitácoras técnicas, fotografías y revisión de fuentes documentales digitales especializadas.

Para determinar los patrones de consumo, la frecuencia de pedidos, la forma en que se adquieren productos y los criterios para elegir proveedores, se empleó también el método de encuesta en los centros sanitarios del cantón Lago Agrio. La herramienta utilizada fue una encuesta estructurada, creada para reunir datos cuantificables que facilitarían la determinación de criterios de demanda y tamaño de la planta.

Para la recopilación de datos técnicos, se utilizó información histórica sobre el consumo que los centros de salud y los distribuidores habían suministrado. Esto permitió calcular los volúmenes promedio requeridos y prever la capacidad productiva indispensable. El contenido de oxígeno de la región se midió mediante un dispositivo de monitoreo de la calidad del aire utilizado como instrumento de campo. El valor es fundamental para el cálculo de la masa y la composición.

La herramienta técnica para la clasificación de requisitos fue el proceso de matriz QFD. Las necesidades se tradujeron en especificaciones técnicas para el sistema. Por fin se procesó y analizó cuantitativamente la información con hojas de cálculo de Microsoft. Esta herramienta ayuda a organizar los datos y a calcular los valores medidos los valores y estimar los costos.

En resumen, las técnicas e instrumentos de investigación utilizados fueron:

- **Observación e investigación:** lista de fuentes viables, bitácora y fotografías, sitios web.
- **Recopilación de datos:** a mediante consumos históricos y frecuencia de pedidos, distribuidores y consumidores.
- **Encuesta:** aplicada a la localidad de la zona.

- **Requerimientos para el Diseño:** matriz QFD.
- **Análisis de datos:** Microsoft Excel.
- **Medidor de la calidad del aire:** instrumento de campo.

3.3.2.3. Recolección de Datos



Gráfico 2. Recolección de datos

Los métodos y herramientas utilizados para recopilar y medir información de forma organizada y con un propósito específico se conoce como técnica de recopilación de datos. Se emplea comúnmente en marketing, estadística e investigación científica y empresarial. Cada una de estas técnicas permite recopilar diversos tipos de información. Por lo tanto, es fundamental comprender sus características y definir claramente los objetivos para elegir las que permitan recopilar información adecuada (UCE, 2020).

3.3.3. Desarrollo de los instrumentos de obtención de datos.

La creación de los instrumentos para la recolección de datos se llevó a cabo de forma sistemática, tomando como punto de partida las metas concretas del estudio y la operacionalización de las variables establecidas en el capítulo metodológico. El cuestionario que se aplicó en los establecimientos de salud del cantón Lago Agrio fue diseñado con preguntas cerradas y cuantificables, dirigidas a evaluar la frecuencia de uso, el método de adquisición, los criterios para elegir proveedores y la cantidad demandada de oxígeno medicinal. Cada ítem se elaboró conforme a los indicadores establecidos en la matriz de consistencia, garantizando así una coherencia entre hipótesis, problema, variables y medición empírica.

Para garantizar la validez del contenido del contenido ítems del cuestionario de las preguntas del cuestionario fueron revisados, su relevancia técnica y su relación con los parámetros necesarios para medir la planta de oxígeno. En términos de relevancia técnica y relevancia para los parámetros necesarios para medir la planta de oxígeno. Los instrumentos técnicos, como el que mide la calidad del aire, se utilizaron un equipo calibrado según las especificaciones del fabricante. Este permite obtener datos imparciales acerca de la concentración de oxígeno en el área, información esencial para calcular las proporciones molares y los balances de masa que se emplean en la simulación del sistema.

En cuanto a la matriz QFD y a las herramientas de simulación utilizadas en el análisis estructural y de flujo, su desarrollo se basó en parámetros técnicos que ya existían en la bibliografía especializada y en las regulaciones vigentes para el diseño de recipientes a presión. La matriz QFD permitió convertir las necesidades identificadas en requisitos técnicos del sistema, asegurando la correspondencia entre lo solicitado a nivel local y las especificaciones de diseño. Por otro lado, los modelos de simulación se basaron en datos cuantitativos obtenidos sobre el terreno y a partir de la revisión de la literatura en datos cuantitativos obtenidos en el campo y a partir de la revisión de la literatura. Validez técnica de los resultados obtenidos sin necesidad de intervenir experimentalmente de forma directa sobre las variables.

3.3.3.1. Tipos de gases medicinales de mayor consumo en los establecimientos de salud.

Tabla 6. Tipos de gases

Tipo de Gases	Frecuencia
Oxígeno	28
Dióxido de Carbono	6
Nitrógeno	0
Óxido Nítrico	0
Óxido Nitroso	0
Otros:	0



Gráfico 3. Tipos de gases

Según el Gráfico 4 y la Tabla 4, el oxígeno es el gas medicinal más utilizado en los centros de salud de Lago Agrio, con una frecuencia de 28 registros. El dióxido de carbono ocupa el segundo lugar, con 6 registros. Dentro de la muestra estudiada no se observa el uso de gases medicinales como óxido nítrico, óxido nitroso o nitrógeno. Los hallazgos muestran una clara concentración del uso en un solo tipo de gas, que está compuesto principalmente por oxígeno.

El enfoque del estudio en la creación de una planta para generar este insumo se justifica por el hecho de que el oxígeno es, con diferencia, el gas medicinal más consumido. La baja demanda de otros gases indica que las inversiones en tecnología deberían dirigirse principalmente a optimizar la producción de oxígeno medicinal para garantizar su pureza, consistencia y capacidad suficiente para satisfacer las necesidades regionales. El resultado está en apoyo de la propuesta de una planta con una la propuesta de 5 m³ / h, diseñada para satisfacer una necesidad bien identificada en el sistema de salud local, reducir la dependencia de proveedores externos y fortalecer la autonomía del suministro en la zona.

3.3.3.2. Oferentes en el mercado locales

Tabla 7. Oferentes en el mercado

Proveedores	Frecuencia	Porcentaje
INDURA	20	71%
LINDE – AGA	1	4%
SWISSGAS	0	0%
GASEC	0	0%
OTROS	7	25%
Total	28	100%

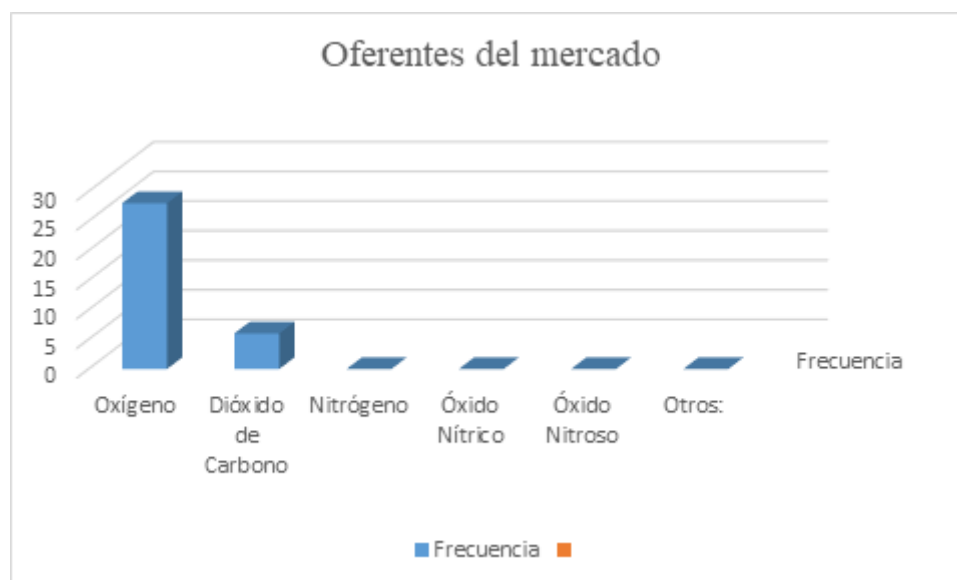


Gráfico 4. Oferentes del mercado

INDURA es el proveedor principal de gases medicinales en las instituciones sanitarias del cantón Lago Agrio, tal como se puede observar en la Tabla 5 y el Gráfico 5. Una frecuencia de 20 registros, que representan el 71% de todas las respuestas, lo demuestra. La segunda categoría más frecuente es “Otros”, con siete entradas (25 %). LINDE-AGA está escasamente representada, con sólo una entrada (4%), y SWISSGAS y GASEC no fueron incluidos en la muestra analizada. Estos resultados indican que el mercado está concentrado en un único proveedor principal.

La segunda categoría más frecuente es “Otros”, con siete entradas (25 %). La muestra estudiada es bastante limitada, solo una (4 %) y SWISSGAS y GASEC no se han incluido en el estudio. Los hallazgos sugieren que el mercado está concentrado en un proveedor principal. la producción. Esta situación justifica, desde el aspecto técnico, la necesidad de establecer una fábrica local de producción que permita diversificar la oferta y fortalecer la autonomía regional para suministrar oxígeno medicinal. En este contexto, proponer una planta de 5 m³/h se presenta como una alternativa estratégica para reducir la dependencia, mejorar la disponibilidad del producto y ofrecer mayor estabilidad al sistema de salud del cantón Lago Agrio.

3.3.3.3. Modalidad de adquisición de gases medicinales

Tabla 8. Modalidad de adquisición

	Frecuencia	Porcentaje
Si	13	46%
No	15	54%
Total	28	100%

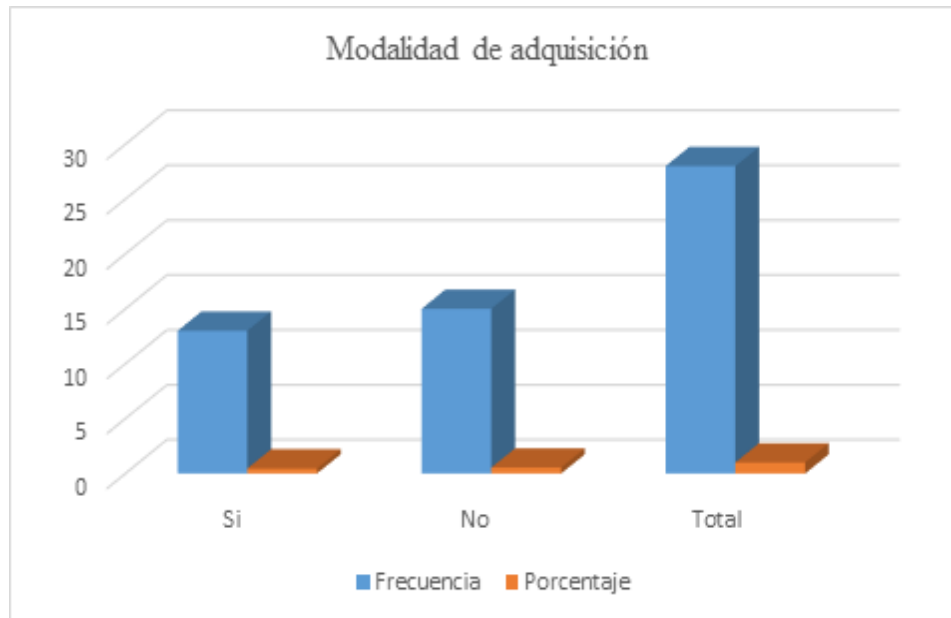


Gráfico 5. Modalidad de adquisición

Según los datos del Gráfico 6 y de la Tabla 6, el 54% de los centros sanitarios encuestados (15 entidades) señaló que no tienen un sistema propio para la compra directa o creación interna de gases medicinales; en cambio, el 46% (13 entidades) contestó que sí. La muestra se compone de

un total de 28 pares de datos y presenta una distribución bastante equilibrada, aunque se observa cierta inclinación hacia las instalaciones que dependen totalmente de proveedores externos.

El hecho de que más de la mitad de las instalaciones no cuenten con métodos de producción propios ni con métodos de adquisición alternativos indica una alta dependencia de suministros externos de oxígeno medicinal. Esta situación pone de aliviar la necesidad de establecer una planta local de capacidad suficiente que garantiza un suministro continuo y minimiza el riesgo de cuellos de botella en la distribución o interrupciones logísticas. La puesta en marcha de una planta de 5 m³/h se presenta, en este escenario, como una solución estratégica que podría hacer más autónomo el sistema sanitario regional y hacer más eficientes los tiempos de respuesta ante aumentos en la demanda.

3.3.3.4. Aspecto más relevante que motivó al cliente elegir al proveedor

Tabla 9. Aspectos más relevantes

Características	Cantidad	Porcentaje
Precio	0	0%
Calidad	17	61%
Pureza del oxígeno	0	0%
Servicio	1	4%
Facilidad de pago	1	4%
Tiempo de entrega	0	0%
Desconocía de otro proveedor	7	25%
Otro	2	7%
Total	28	100%

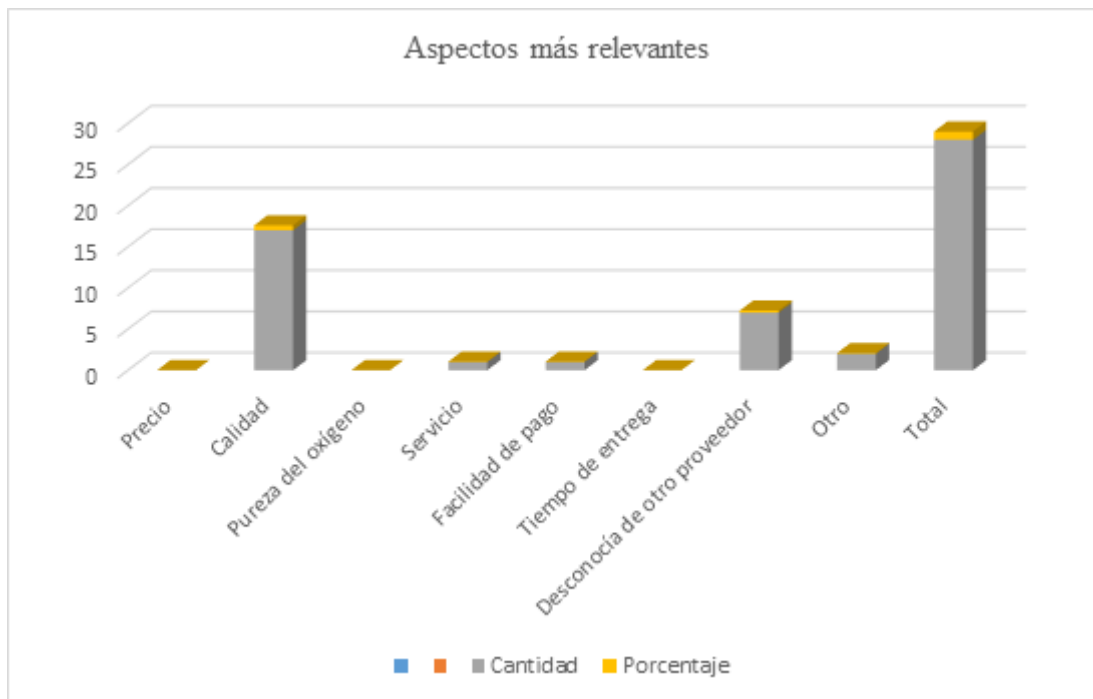


Gráfico 6. Aspectos más relevantes

La calidad fue el factor más importante que impulsó a las instituciones de salud a seleccionar su proveedor de gases medicinales, según se observa en la Tabla 7 y el Gráfico 7, con 17 respuestas que constituyen el 61% del total. En segundo lugar, con siete respuestas (25%), está la alternativa "no conocía de otro proveedor". Los elementos de servicio y facilidad de pago tienen una respuesta cada uno (4%), pero no hay registros para el precio, la pureza del oxígeno y el tiempo de entrega. La categoría "Otro" llega a 2 respuestas, lo que representa el 7%.

El hecho de que el criterio de calidad sea el principal elemento de decisión demuestra que los establecimientos valoran la seguridad y fiabilidad del suministro más que las variables económicas, como es el caso del precio. Este hallazgo coincide con la relevancia del oxígeno medicinal en el ámbito hospitalario, donde la pureza y la estabilidad del suministro afectan directamente la atención clínica. La significativa proporción de entidades que afirman no conocer otros proveedores también evidencian una limitada diversificación del mercado local, lo que resalta la necesidad de tener una opción regional que proporcione estándares de calidad iguales o superiores. En esta línea, el diseño de la planta de 5 m³/h tiene que enfocarse principalmente en satisfacer los parámetros técnicos de pureza, estabilidad operativa y control de calidad, afianzando así la confianza del sistema sanitario en una fabricación local.

3.3.3.5. Frecuencia de pedidos de oxígeno medicinal a proveedores

Tabla 10. Frecuencia de pedido

Frecuencia	Cantidad	Porcentaje
Semanal	1	5%
Quincenal	20	70%
Mensualmente	7	25%
Total	28	100%

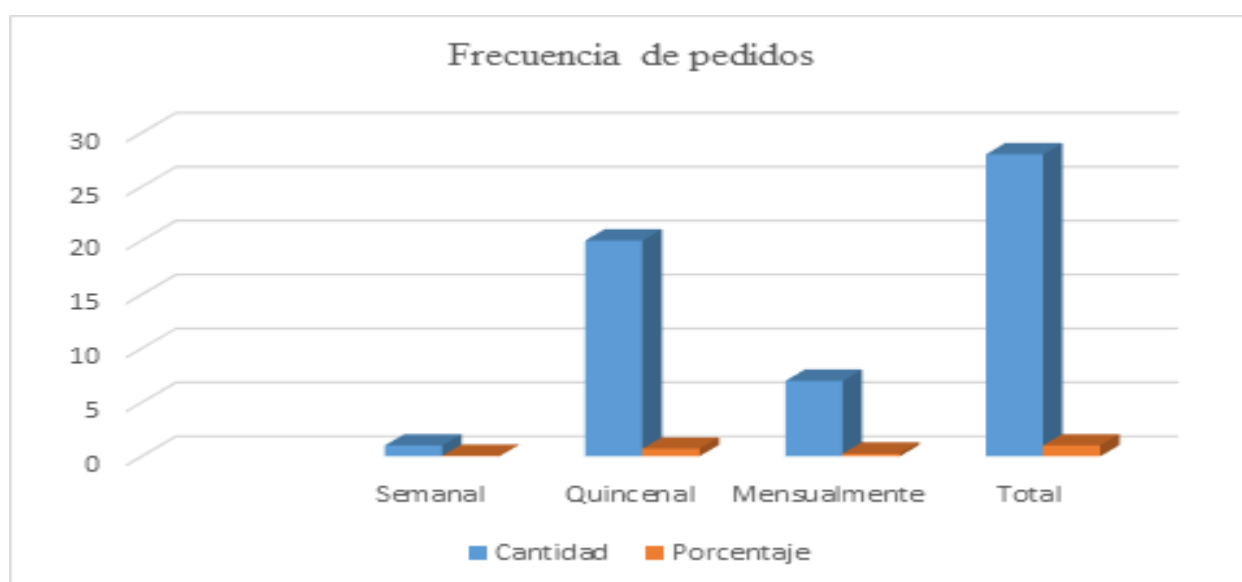


Gráfico 7 Frecuencia de pedidos

Según la Tabla 8 y el Gráfico 8, los establecimientos de salud hacen pedidos de oxígeno medicinal con una frecuencia quincenal; esta frecuencia tiene un total de 20 registros, que equivalen al 70% de la muestra. Los pedidos mensuales ocupan el segundo lugar, con 7 registros (25%), y el semanal solo tiene 1 registro (5%). Un total de 28 instituciones encuestadas muestran una inclinación hacia los aprovisionamientos programados quincenalmente.

El elevado volumen de pedidos semanales demuestra que el consumo es continuo y predecible, y que cabe prever un consumo sostenido y ordenado de oxígeno medicinal en los centros de salud de la región. La fiabilidad del suministro es un factor clave a la hora de determinar el tamaño recomendado de la planta, ya que permite calcular los volúmenes de producción y la

capacidad de almacenamiento necesarios para evitar la escasez de productos. En este caso se debe realizar el diseño de una planta de 5 m³/h bajo un esquema que asegure una producción sin interrupciones. Esto posibilitará atender los ciclos quincenales de reposición, lo que a su vez garantizará estabilidad operativa y disminuirá los riesgos logísticos relacionados con el transporte desde otras provincias.

3.3.3.6. Áreas para suministro de gases

Tabla 11. Áreas de suministro

	Frecuencia	Porcentaje
Si	16	60%
No	10	40%
Total	26	100%

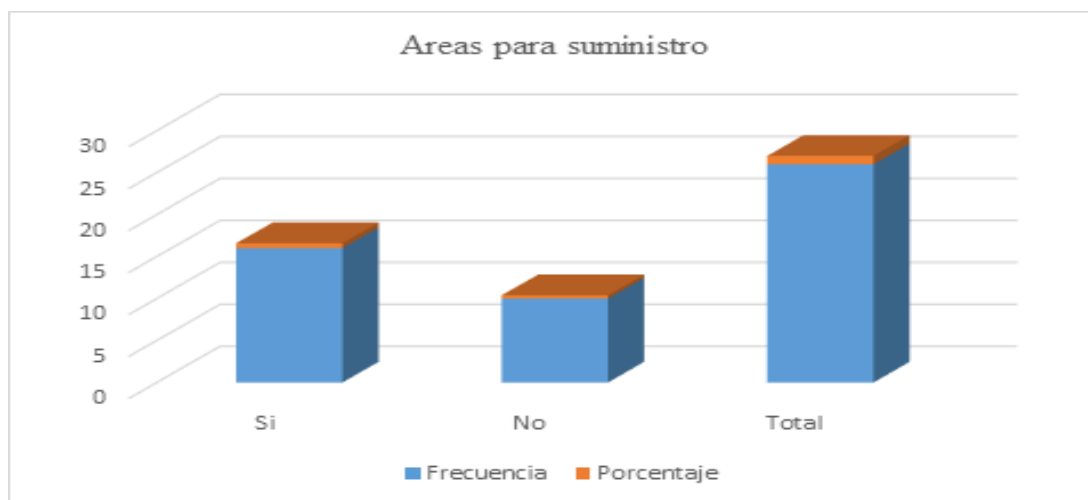


Gráfico 8. Áreas de suministro

Según lo que muestra el Gráfico 9 y la Tabla 9, el 40% de las instituciones sanitarias encuestadas (10 establecimientos) no tiene espacios apropiados para este propósito, mientras que el 60% de ellas (16 instituciones) informó que posee áreas para almacenar o suministrar gases medicinales. Se registraron 26 respuestas a esta pregunta, lo que demuestra que, aunque la mayor parte tiene infraestructura básica, hay un porcentaje importante con limitaciones en este sentido.

Las zonas dedicadas al suministro de oxígeno indican que una gran parte del sistema de salud local cuenta con la infraestructura necesaria para recibir y gestionar el oxígeno medicinal. % que no dispone de esas infraestructuras refleja una debilidad estructural que puede poner en peligro

la continuidad y seguridad del suministro. Una planta con un diseño de 5 m³/h significa que una producción eficiente no es suficiente y que se debe considerar la distribución y la logística del gas. Incluye soluciones para el almacenamiento y la adaptación de las instalaciones en caso de que presenten limitaciones. La propuesta no se limita a la evaluación técnica del generador, sino que también incluye una perspectiva operativa que se ajusta a las circunstancias reales del entorno.

El examen combinado de los datos adquiridos mediante las herramientas empleadas posibilita detectar patrones coherentes, que justifican técnica y metodológicamente la sugerencia del diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h para Lago Agrio. En primer lugar, se verifica que la concentración absoluta del consumo de oxígeno medicinal indica que este recurso es el eje crucial del sistema de abastecimiento hospitalario local, dejando atrás a otros gases médicos cuya demanda es mínima o nula. El hallazgo valida la conveniencia de centrar la inversión en tecnología únicamente en la producción de oxígeno para optimizar los recursos y evitarla producción innecesaria para optimizar los recursos y evitar costes excesivos innecesarios sobre los costos.

El proveedor principal deja la cadena de suministro vulnerable a cambios en los costos de transporte, variaciones en la demanda o problemas logísticos inesperados. Esta la continuidad garantiza una producción y operación ininterrumpidas, estabilidad y minimiza el riesgo de cuellos de botella en el suministro, especialmente en una zona geográficamente alejada de los principales centros industriales del país.

En cambio, a pesar de que una buena parte de los establecimientos dispone de zonas para el suministro, se mantienen restricciones estructurales en algún sector del sistema de salud, lo que hace necesario tener en cuenta no solo el tamaño técnico de la planta, si no también elementos logísticos y de distribución. La producción a nivel regional. En este sentido, la propuesta de una planta generadora con una capacidad de 5 m³/h se basa en datos empíricos específicos, que son coherentes con las necesidades reales del medio ambiente y ofrecen una solución técnica viable a la dependencia externa y la vulnerabilidad del sistema de suministro actual

3.3.4. Determinación de la muestra y su criterio de selección.

A lo largo de los años, el oxígeno terapéutico ha ganado cada vez mayor importancia. Hospitales y otros centros médicos adquieren con frecuencia cilindros o tanques de oxígeno debido

a la necesidad de grandes cantidades de este elemento. Sin embargo, para ciertos centros, las ventajas de producir su propio oxígeno terapéutico mediante una planta de oxígeno son cada vez más evidentes (Cryospain, 2023).

3.3.4.1. Usos del oxígeno medicinal

- Utilizado durante siglos como componente de diversas terapias, el oxígeno medicinal es un componente crucial en diversos procesos terapéuticos actuales:
- Ayuda a aliviar las dificultades o insuficiencias respiratorias en casos que requieran ventilación artificial y soporte esencial, incluyendo la reanimación de profesionales de atención primaria (Cryospain, 2023).
- Sirve de base para la mayoría de técnicas de anestesiología
- Ayuda a estabilizar el ritmo cardíaco
- Ayuda a restaurar los tejidos con deficiencia de oxígeno, proporcionando terapia en situaciones como traumatismos graves, paros cardíacos, trastornos respiratorios o shock, entre otros (Cryospain, 2023).

3.3.4.2. Población y muestra

Población

Los centros de salud del cantón Lago Agrio, en la provincia de Sucumbíos, que son parte de la Red Nacional Integrada de Servicios de Salud y necesitan oxígeno medicinal para operar, constituyeron la población objeto de estudio. Según el registro institucional, se han identificado un total de 13 unidades de salud en la zona de estudio.

La población era pequeña y totalmente identificable; por lo tanto, se decidió trabajar con toda la población. En consecuencia, la investigación utilizó el método censal en lugar del método de muestreo. Se seleccionó este método por su viabilidad práctica. Considera todas las facilidades disponibles, de modo que la información se puede obtener por completo sin necesidad de cálculos de probabilidad. En lugar de una muestra, se recopilaron datos de cada uno de los diferentes grupos de la población encuestada.

Este método censal permite una mejor estimación de la demanda actual de oxígeno medicinal en la región, ya que la instalación planificada puede diseñarse utilizando datos completos y no estimados. Este criterio metodológico robustece la validez de los resultados adquiridos, porque hace desaparecer el error muestral y garantiza que el diseño de la planta de 5 m³/h se ajuste completamente a todos los establecimientos que integran el sistema sanitario local.

La empresa R & H Lago Agrio se dedica a la distribución de oxígeno industrial y medicinal y aspira a convertirse en una planta de producción de ambos. La necesidad diaria de este gas es vital para la industria y para la medicina. Depender de proveedores externos no está exento de riesgos, como la variabilidad en el suministro, los altos costes e incluso los retrasos en las entregas.

Por tanto, resulta necesario analizar y proponer una planta de oxígeno de 5 m³/h adecuada a las necesidades de la región amazónica y en particular de la ciudad de Lago Agrio, a fin de proveer un suministro constante y eficiente de oxígeno, en cantidad y calidad.



Gráfico 9. Zona 1 Sucumbíos- Lago Agrio

Direcciones distritales: Distrital 21D01 CASCALES-GONZALO PIZARRO- SUCUMBIOS – Distrito 21D02 LAGO AGRIO – Distrito 21D03 CUYABENO-PUTUMAYO.

Descripción de la distribución territorial de los establecimientos de salud

Los centros de salud que se incluyen en este estudio están repartidos en varios cantones de la provincia de Sucumbíos, como son Lago Agrio, Cáscales, Gonzalo Pizarro, Cuyabeno,

Putumayo, Shushufindi y Sucumbíos. La ubicación geográfica de las instalaciones es un elemento relevante en el análisis del tema de investigación, ya que afecta directamente las condiciones logísticas del suministro actual de oxígeno medicinal.

Los tiempos de entrega, los costos operativos y la vulnerabilidad del sistema a interrupciones externas están determinados por el transporte terrestre y fluvial. Estas limitaciones impulsan la búsqueda de alternativas de producción local para reducir la dependencia de centros industriales fuera de la provincia.

En este contexto, la elección de instalar la planta de oxígeno en el cantón de Lago Agrio se fundamenta en aspectos como su posición administrativa central, las buenas vías de comunicación y la gran necesidad de atención médica. un centro de coordinación para los diversos servicios de salud regionales, que permite una mejor distribución de los servicios entre los diferentes centros. Las oficinas distritales proporcionan una base no solo descriptiva sino también técnica para elegir la ubicación de la planta de oxígeno, que tiene una capacidad de $5 \text{ m}^3 / \text{h}$, lo que garantiza una mayor eficiencia operativa y mejores servicios de salud regionales.

Muestra

Según Pineda et al (1994) el tamaño de la muestra debe definirse partiendo de dos criterios: 1) de los recursos disponibles y 2) la lógica que tiene el investigador para seleccionar la muestra. En referencia a estos criterios se ha calculado el tamaño de la muestra con un nivel de confianza del 75% de territorio provincial (López, 2018).

En este caso la muestra, es la cantidad total de la población antes identificada, debido a que no supera los 100 individuos o una cantidad considerable para realizar un cálculo de muestreo, por tanto se aplicó la encuesta a 13 establecimientos de salud del cantón Lago Agrio provincia de Sucumbíos, los mismos que han sido clasificados de acuerdo con la Red Nacional Integrada de Servicios de Salud constituida por la Red Pública Integral de Salud a la cual pertenecen los establecimientos públicos.

3.4. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).

Si bien la presente propuesta de diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h en la región Amazónica en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos para consumo masivo. Está enfocada a satisfacer las necesidades de las instituciones de salud, así como la empresa R&H ubicada en Lago Agrio, mismas que requieren oxígeno medicinal en cilindros se puede analizar como un objetivo a largo plazo la posibilidad de aumentar la capacidad instalada de la empresa mediante la incorporación de nuevas tecnologías o a su vez incursionar en la asesoría para la implementación de sistemas de producción de gases medicinales.

A partir de la información recopilada y analizada se detalla la propuesta para el diseño de una planta de oxígeno de 5 m³/h en la región Amazónica en la ciudad de Lago Agrio-Sucumbíos para consumo masivo. Para el desarrollo de este capítulo se han recopilado datos de la encuesta, así como de la matriz QFD. Además de diferentes fuentes para percatarse de la factibilidad de una planta de oxígeno en la región Amazónica, estas fuentes nos indican que para un volumen de 1000 L se sugiere una presión de trabajo de 12 bar, con estos datos ya se inicia el dimensionamiento de los elementos que conforman la planta de oxígeno.

Para la realización del presente proyecto se realizaron las siguientes actividades:

Búsqueda de información en literatura

- Medición de calidad de aire a diferentes alturas, desde la región Amazónica a la Sierra
- Análisis de zona ideal para la implementación de la Planta de Generación
- Búsqueda de información de funcionamiento de la Planta de Generación
- Análisis de suelo en la zona de implementación

Diseño de Estructura y Planta de Generación

- Diseño y Selección de elementos de la Planta de Generación
- Diseño de la estructura metálica

- Diseño de cimentaciones para el galpón y Planta de Generación

Construcción e Instalación de la Planta de Generación

- Construcción de cimentaciones
- Construcción de Estructura Metálica
- Fabricación de Tanques de Almacenamiento, Líneas y Manifold
- Instalación de Compresor y Generador de Oxígeno

Puesta en Marcha y realización de Pruebas

- Puesta en Marcha de la Planta de Generación
- Análisis de calidad del oxígeno obtenido
- Análisis de rendimiento de la Planta de Generación
- Distribución de Oxígeno grado medicinal
- Elaboración de documentación

Realización de Objetivos, Antecedentes, Justificación

- Realización de Marco Teórico
- Análisis de información obtenida en los ensayos
- Análisis de datos y resultados
- Realización de Conclusiones y Recomendaciones

3.4.1. Aplicación de los instrumentos.

La implementación de herramientas en este estudio se realizó de forma secuencial, incorporando métodos para la recolección de datos, modelado por computadora y simulación estructural, con el objetivo de comprobar técnica y operativamente el diseño de la planta de oxígeno de 5 m³/h. Inicialmente, se llevó a cabo la recolección de información empírica por medio de

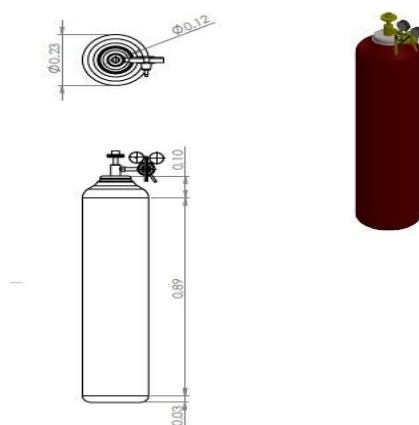
encuestas realizadas a las instituciones sanitarias del cantón Lago Agrio, lo que permitió determinar los patrones de consumo, la regularidad con la que se abastecía y las necesidades técnicas del oxígeno medicinal. La capacidad instalada de la planta se determinó con base en estos datos. En una segunda instancia, se utilizó la matriz QFD (Quality Function Deployment), que permitió convertir las necesidades detectadas en parámetros técnicos de diseño, como son los requerimientos estructurales de los equipos, la pureza del gas, la presión de operación y la capacidad de producción.

Diseñar correctamente elementos como tanques, redes de tuberías y sistemas de llenado elementos como tanques, redes de tuberías y sistema de llenado. En la cuarta etapa los componentes se validaron y simularon mediante el software ANSYS. El comportamiento mecánico de los sistemas y su desempeño en condiciones reales, considerando entre otros factores la temperatura, la presión, la deformación y los aspectos de seguridad. Este proceso metodológico permitió combinar los datos empíricos con herramientas de ingeniería computacional, asegurando que el diseño sugerido cumpla no solo con las exigencias reales del entorno, sino también con estándares técnicos relacionados con la seguridad y la eficacia operacional. De manera ilustrativa se demuestra lo llevado cabo en las siguientes figuras:

3.4.1.1. Estación de llenado

Diseño de la máquina: Generador de oxígeno

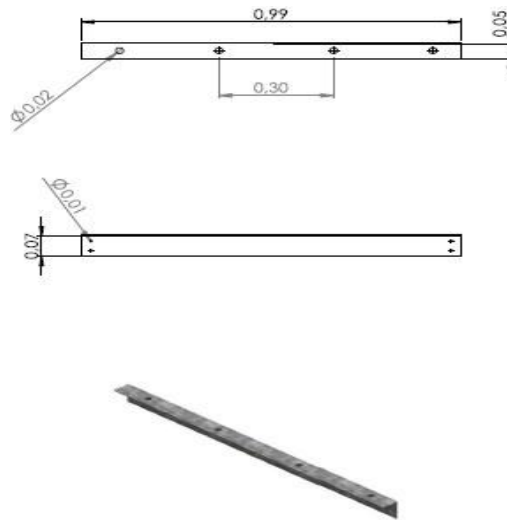
Figura 1. Cilindro de Gas: estación de llenado 1



Fuente: Elaboración propia

La Figura 1 presenta el cilindro de gas correspondiente a la estación de llenado del generador de oxígeno, el cual constituye el componente final del sistema de almacenamiento. Su diseño considera dimensiones estandarizadas, resistencia a altas presiones y materiales adecuados para garantizar la seguridad y pureza del oxígeno.

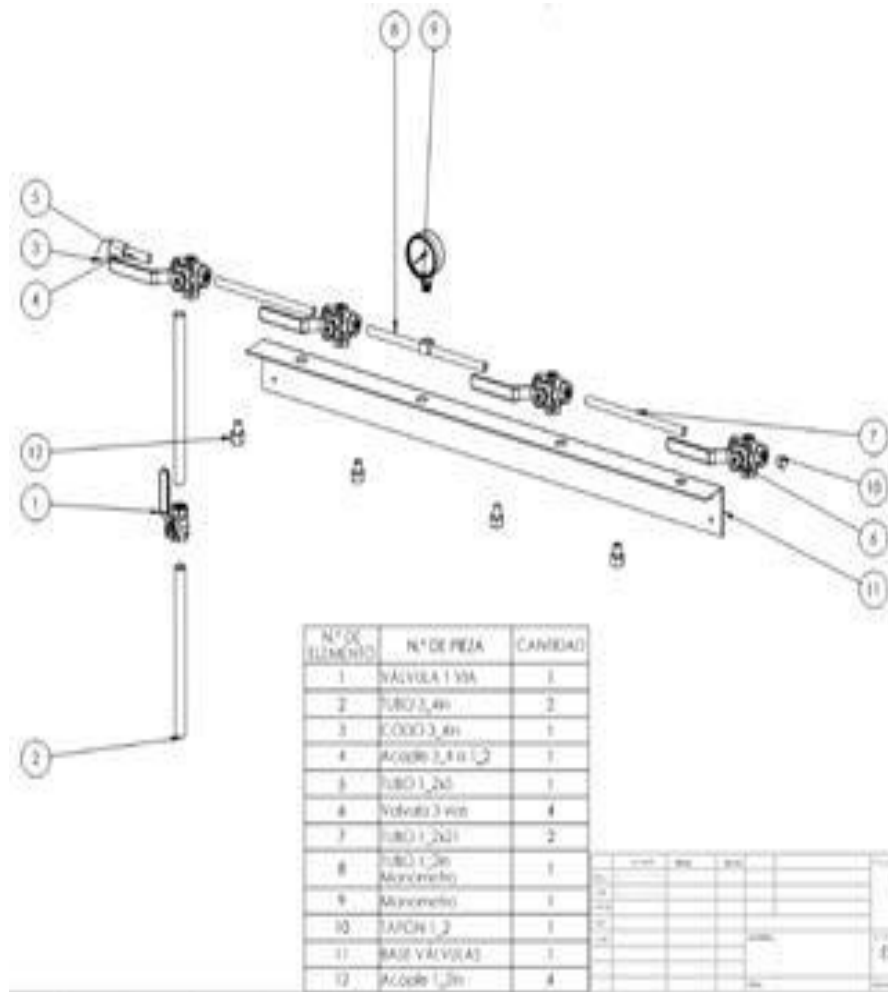
Figura 2. Base para sujeción de válvulas: estación de llenado 2



Fuente: Elaboración propia

La base para sujetar las válvulas de la estación de llenado, diseñada como un componente estructural que asegura el adecuado alineamiento y fijación de los elementos reguladores del flujo de oxígeno, se presenta en la Figura 2. La colocación de las válvulas es segura y estable gracias a su forma alargada y a los orificios situados estratégicamente. Esta base, desde la perspectiva técnica, ayuda a organizar el sistema, optimiza la seguridad operativa y simplifica el mantenimiento de todo.

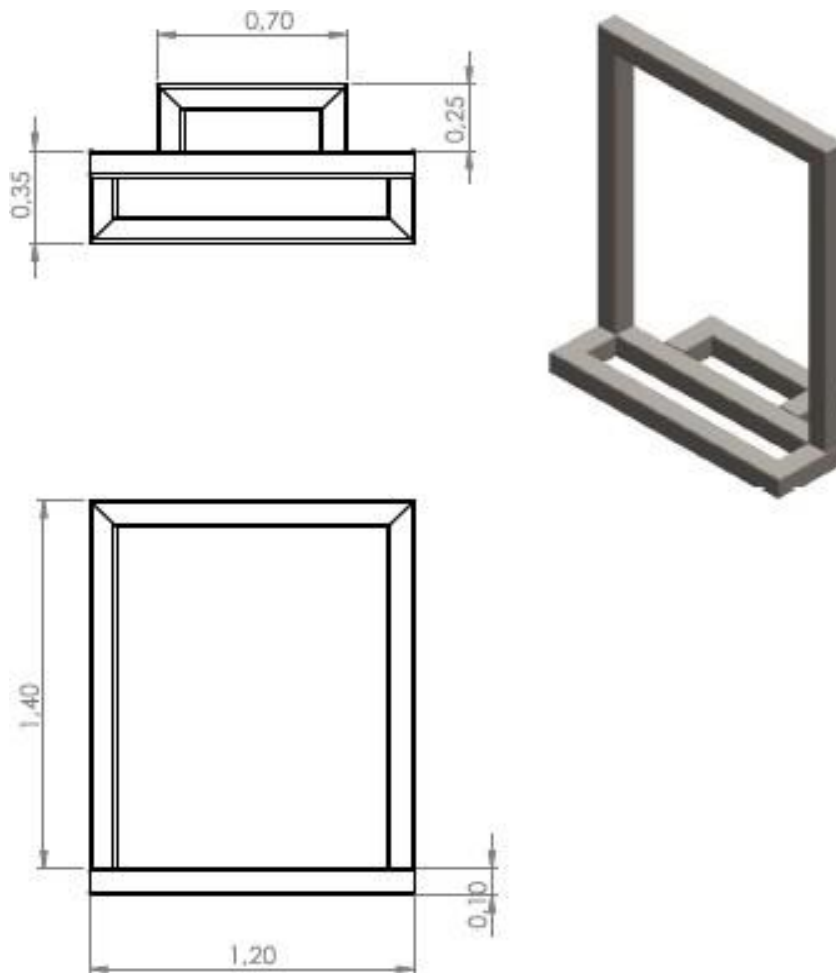
Figura 3. Cuerpo de válvulas de llenado: estación de llenado 3



Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 presenta el cuerpo de válvulas de llenado correspondiente a la estación de llenado del generador de oxígeno, conformado por un sistema de tuberías, válvulas y accesorios que permiten regular y distribuir el flujo del gas hacia los cilindros. Este conjunto integra válvulas de control, conexiones y un manómetro para la medición de presión. Desde el punto de vista técnico, su diseño garantiza un control preciso del flujo, seguridad en la operación y eficiencia en el proceso de llenado del oxígeno.

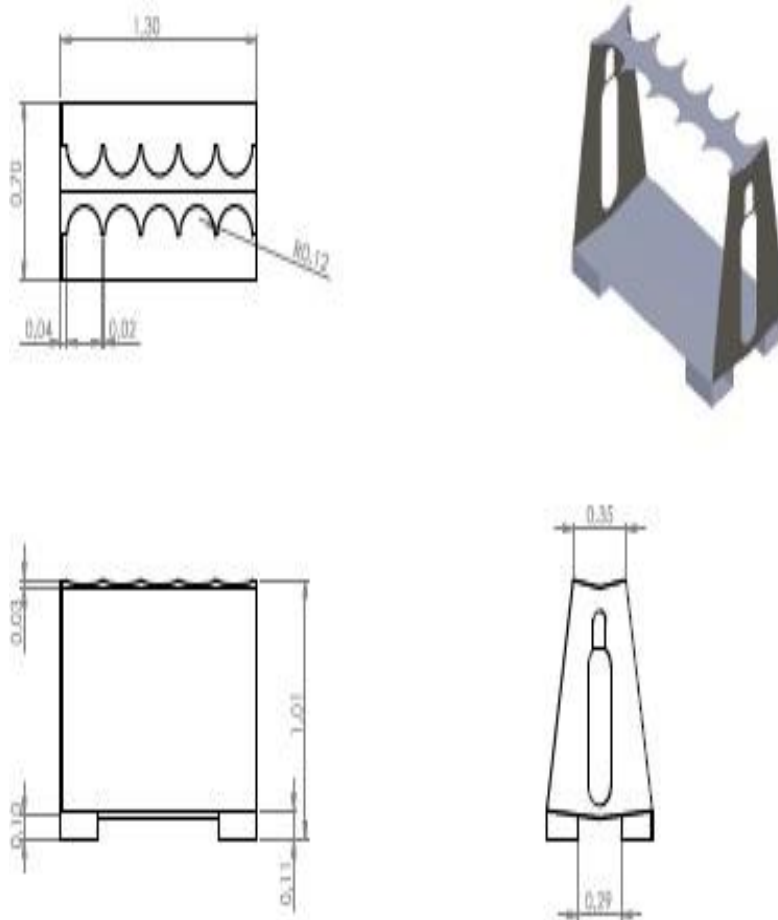
Figura 4. Estructura de soporte: estación de llenado 4



Fuente: Elaboración propia

La estructura de soporte de la estación de llenado está representada en la Figura 4. Se trata de un bastidor metálico que otorga firmeza y robustez a todo el sistema. Su configuración geométrica posibilita que los componentes principales se mantengan estables, distribuyendo de forma apropiada las cargas durante su funcionamiento. Desde un enfoque técnico, esta estructura asegura que el sistema permanezca íntegro, disminuye las vibraciones y simplifica la instalación de los componentes. Asimismo, su diseño contribuye a que el proceso de llenado funcione correctamente y a la seguridad operativa.

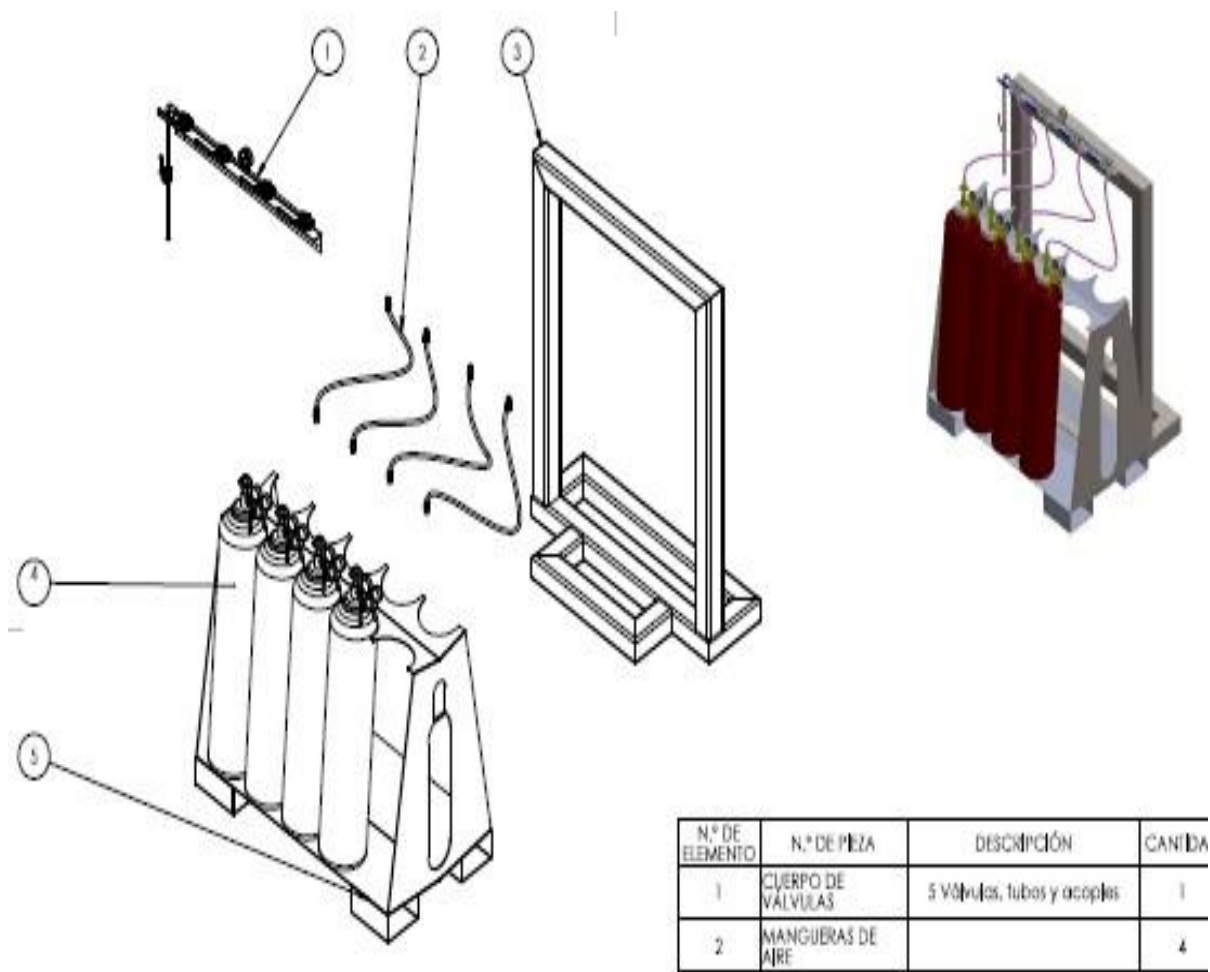
Figura 5. Base para cilindros: estación de llenado 5



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 presenta la base para cilindros de la estación de llenado, diseñada para asegurar la correcta disposición y estabilidad de los recipientes durante el proceso de carga de oxígeno. Su estructura incorpora soportes laterales y cavidades superiores que permiten la sujeción firme de los cilindros, evitando desplazamientos o caídas. Desde el punto de vista técnico, este diseño optimiza la seguridad operativa y facilita la manipulación de los cilindros, garantizando un proceso de llenado eficiente, ordenado y seguro dentro del sistema.

Figura 6. Montaje de estación de llenado de oxígeno: estación de llenado 6

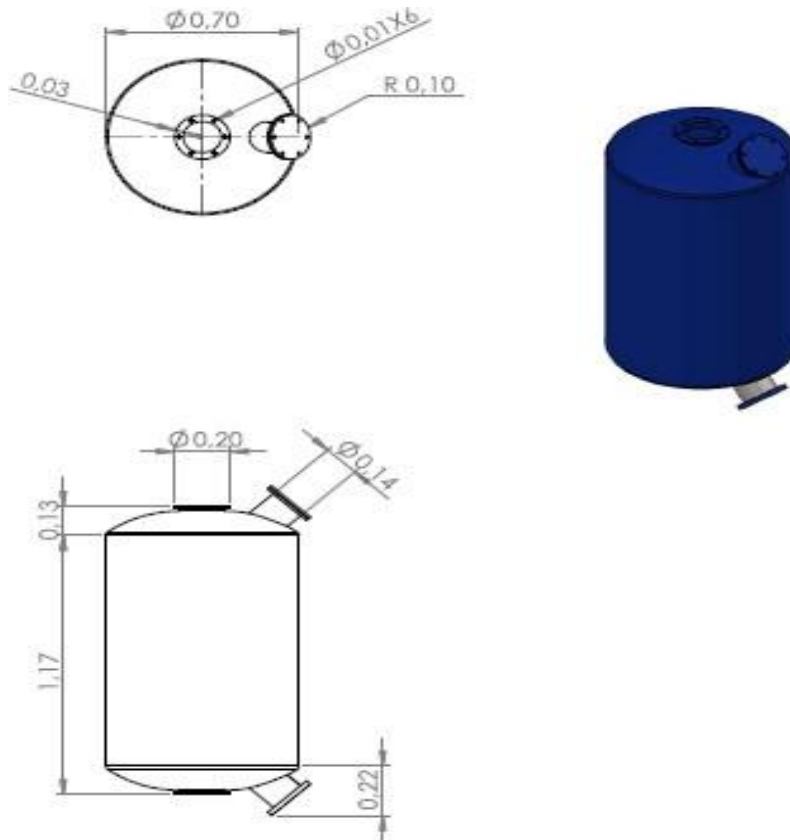


Fuente: Elaboración propia

La disposición de la estación de llenado de oxígeno con todos los elementos provistos se muestra en la Fig. 6: líneas de conexión, cuerpo de la válvula, estructura de soporte y base del cilindro. Esta disposición permite realizar un análisis funcional del sistema y garantiza un suministro adecuado de oxígeno a los cilindros. Desde el punto de vista técnico, el conjunto demuestra la compatibilidad de los elementos y optimiza la seguridad, la eficiencia y el funcionamiento del proceso de llenado en el sistema propuesto.

3.4.1.2. Secador de succión

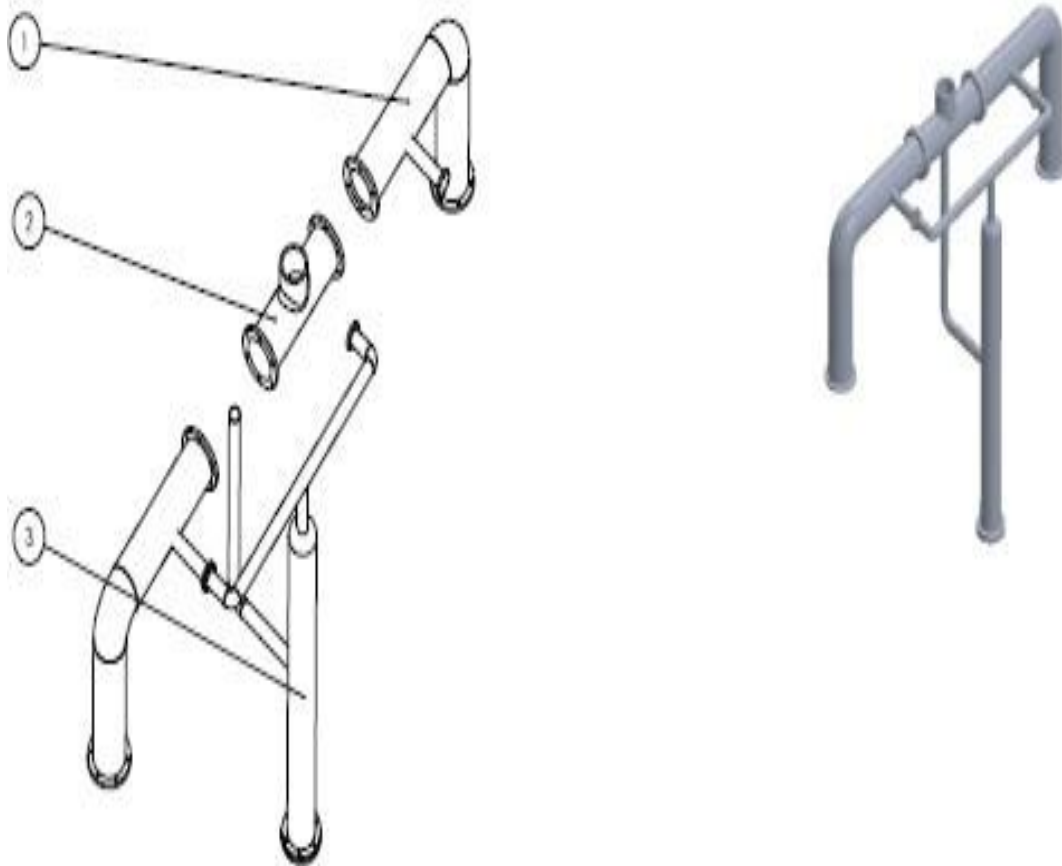
Figura 7. Tanque de presión: secador de succión 1



Fuente: Elaboración propia

El tanque de presión del secador de succión se muestra en la figura 7. Este está diseñado como un contenedor cilíndrico que posibilita almacenar y procesar el aire comprimido en el sistema. La configuración de su sistema tiene conexiones superiores e inferiores para la entrada y salida del flujo, además de accesos para el mantenimiento y control. Esta parte desempeña un papel fundamental en la eliminación de humedad desde el punto de vista técnico, lo que asegura las condiciones adecuadas para producir oxígeno y favorece la seguridad y eficiencia del sistema.

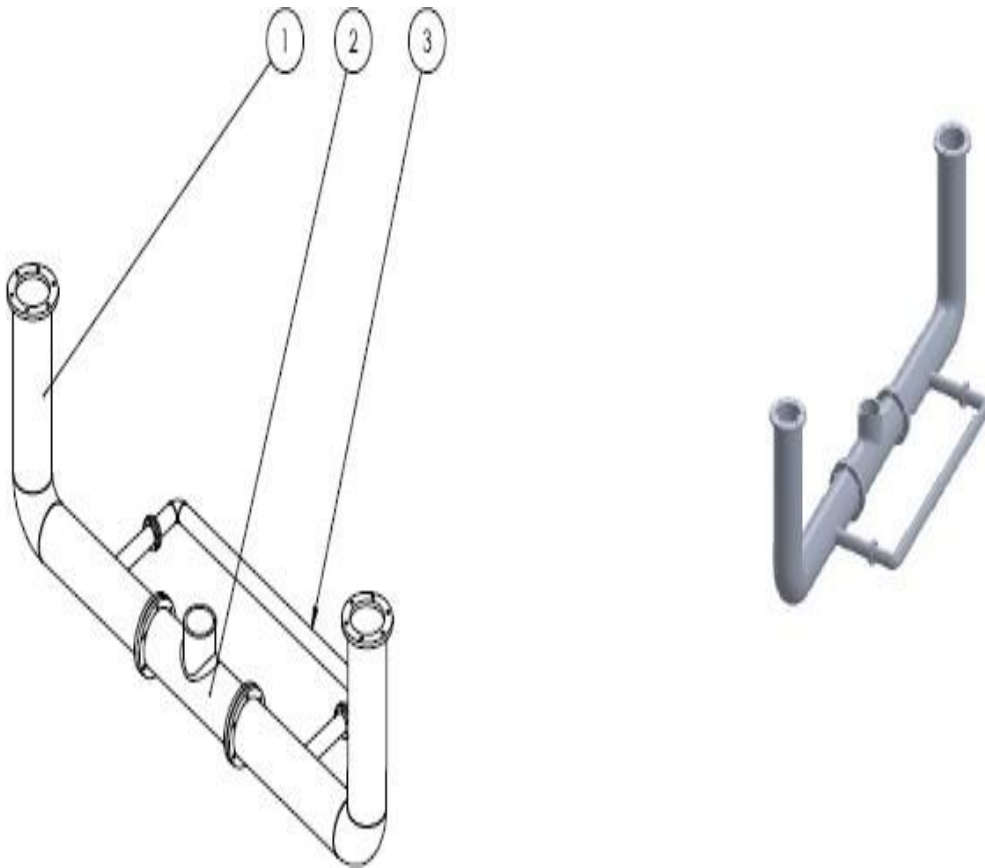
Figura 8. Montaje de tubos superior: secador de succión 2



Fuente: Elaboración propia

La superior estructura de tubería del secador por succión, que consiste en una red de tuberías y accesorios para guiar y distribuir el aire comprimido por todo el sistema, se muestra en la figura 8. La estructura del secador por succión, que consiste en una red de tuberías y accesorios para guiar y distribuir el aire comprimido por todo el sistema, se muestra en la Figura 8. El conjunto incluye soportes, ramas y conexiones que garantizan la estabilidad de la estructura y dirección adecuada del flujo de aire la producción de oxígeno de alta calidad.

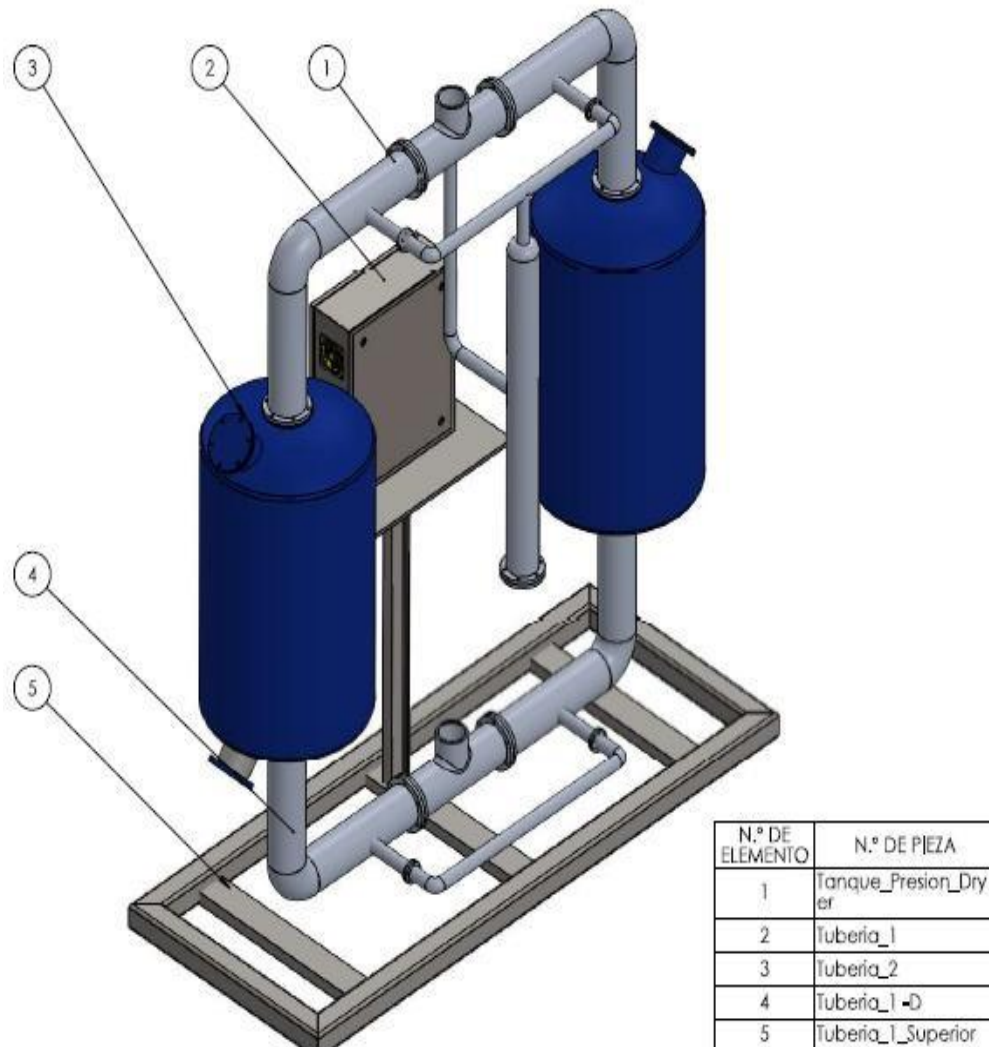
Figura 9. Montaje de tubos inferior: secador de succión 3



Fuente: Elaboración propia

La instalación de los tubos inferiores del secador de succión, que abarcan un sistema de tuberías, uniones y soportes para el transporte de aire comprimido en la parte inferior del sistema, se ilustra en la Figura 9. Este sistema facilita la recolección y distribución del flujo, al integrarse de manera efectiva con los demás componentes del secador. Desde un punto de vista técnico, su estructura promueve una eficiente circulación de aire, minimiza las pérdidas de presión y asegura la estabilidad estructural, lo que mejora el rendimiento del proceso de secado en el sistema.

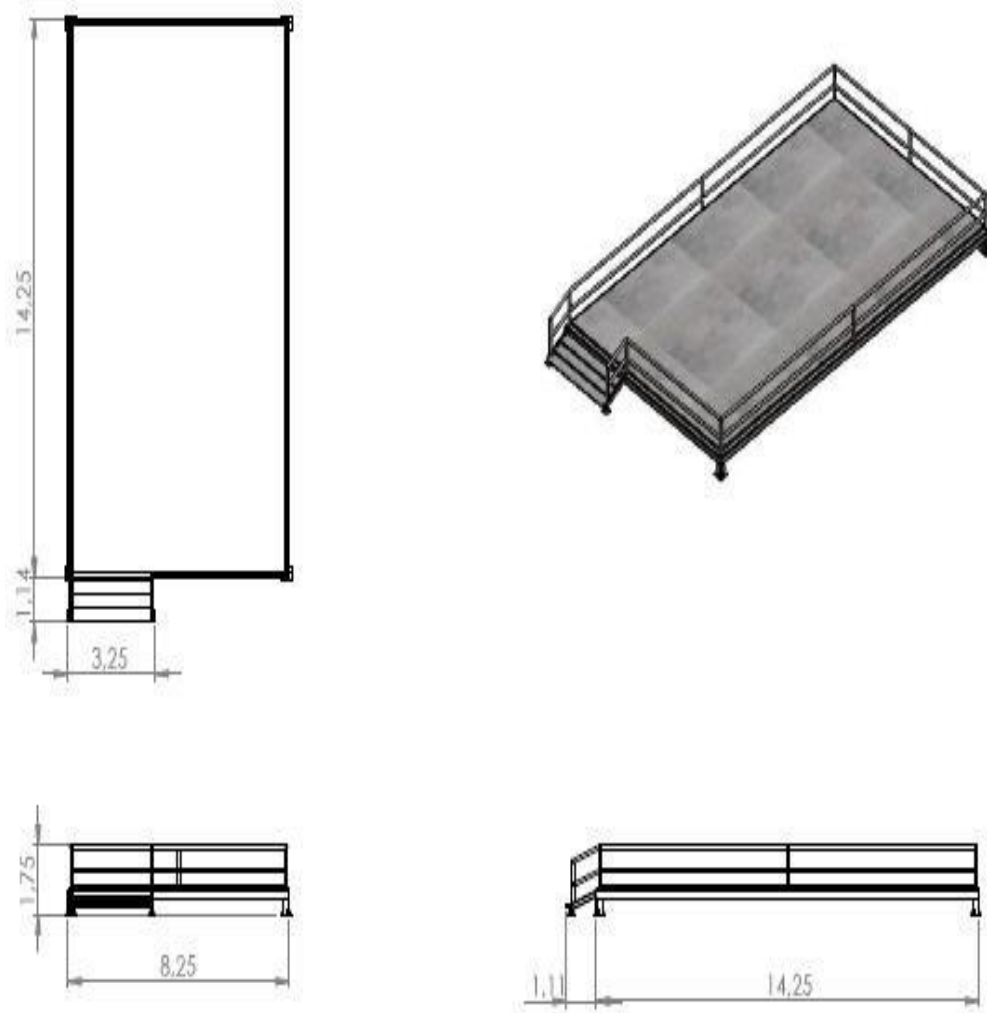
Figura 10. Montaje final de tubos: secador de succión 4



Fuente: Elaboración propia

El montaje de las tuberías del sistema de secado por succión se muestra en la Figura 10. Los recipientes vasos, las tuberías, los accesorios y los elementos de control se combinan en una única unidad funcional. Esta integración mejora la interacción de los componentes y garantiza un flujo y una circulación óptimos del aire comprimido. Técnicamente el diseño maximiza el flujo, minimiza las pérdidas de presión y asegura la eficiencia del proceso de secado. para una producción de oxígeno de alta calidad y un funcionamiento fiable del sistema.

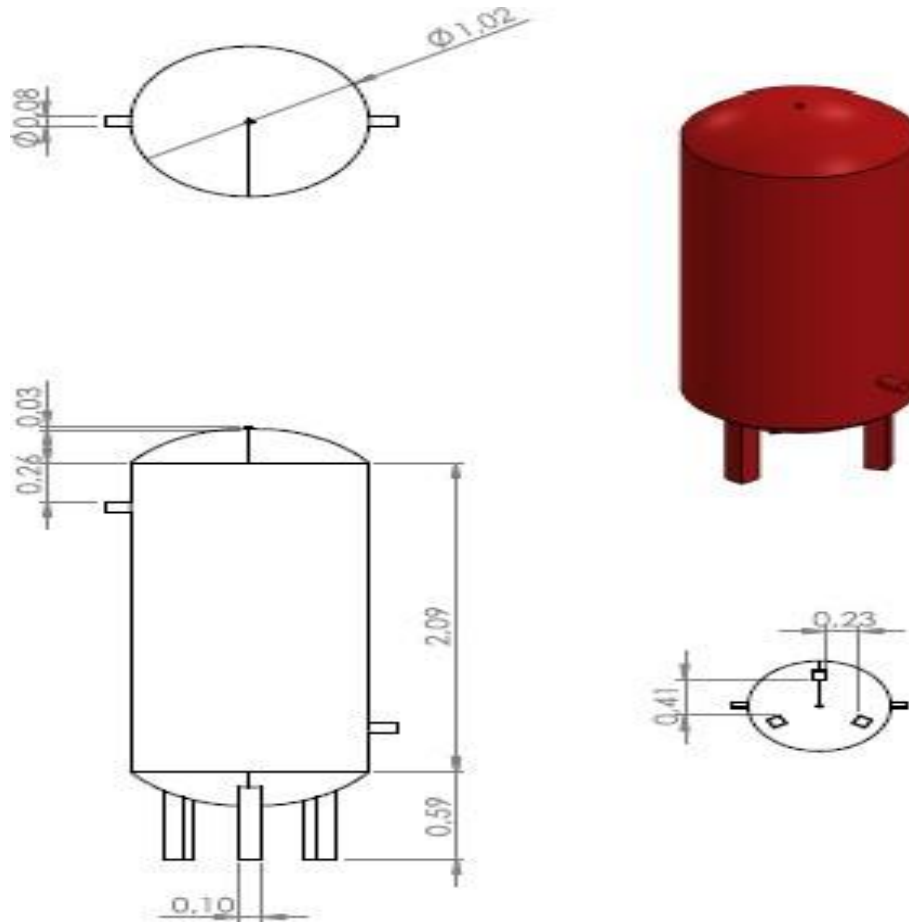
Figura 11. Plataforma base para proceso



Fuente: Elaboración propia

La plataforma fundamental del proceso, que se ilustra en la Figura 11, fue concebida como una estructura elevada para permitir una correcta distribución e instalación de los dispositivos del sistema de generación de oxígeno. La disposición de su sistema abarca una area amplia con elementos de seguridad perimetral, lo que permite un acceso seguro y su funcionamiento. Esta plataforma garantiza, desde el aspecto técnico, la estabilidad de la estructura y la adecuada colocación de los componentes, así como un ambiente laboral seguro, lo que contribuye a que el sistema opere y se conserve de manera óptima.

Figura 12. Tanques de compensación



Fuente: Elaboración propia

Los tanques de compensación, que son recipientes cilíndricos encargados de estabilizar y regular la presión del sistema generador de oxígeno, se presentan en la Figura 12. Su diseño incluye bases de apoyo y enlaces laterales que garantizan su correcta instalación y funcionamiento. Desde un enfoque técnico, esos tanques son fundamentales para atenuar las variaciones en la presión y asegurar un flujo continuo, lo que contribuye a la efectividad, la seguridad y la estabilidad del sistema operativo.

3.4.2. Procesamiento de la información.

3.4.2.1. Planta de oxígeno

Una vez se han obtenido la mayor parte de los datos que se van a necesitar para estimar los resultados de la planta, se procede al cálculo y estimaciones de corrientes y equipos 10000 m³/h de aire en condiciones ambientales.

Según la ley de gases ideales:

$$P= 101325 \text{ Pa}$$

$$V=10000$$

$$N= \text{incógnita}$$

$$R=8,314$$

$$\frac{m^3 \cdot Pa}{K \cdot mol}$$

$$n = \frac{P * V}{R * T} = 415948 \text{ mol/h}$$

$$T=293 \text{ K}$$

3.4.2.2. Composición del aire

$$\text{Nitrógeno: } 78\% = 415948 * 0,78 = 324439,44 \text{ mol/h}$$

$$\text{Oxígeno: } 21\% = 415948 * 0,21 = 87249,08 \text{ mol/h}$$

$$\text{Argón: } 1\% = 415948 * 0,01 = 4159,48 \text{ mol/h}$$

Al realizar las mediciones de la calidad del aire como fuente de materia prima para la obtención del oxígeno, se encuentra que el porcentaje de oxígeno en esta zona es del 22 % dando un 1 % más de pureza.

Estos son los datos molares en los que se basarán todos los cálculos. Los cálculos seguirán la estructura:

- Filtro preliminar.
- Compresión y enfriamiento.
- Destilación

3.4.2.3. Materiales y costos

Tabla 12. Materiales y Costos

Materiales				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (USD)	Costo Total (USD)
Plancha 4 x 8 espesor 1/2" ASTM A36	1	u	\$ 384,71	\$ 384,71
Discos de corte 7 x 1/8"	1	caja	\$ 3,50	\$ 3,50
Disco de desbaste 7x1/4"	1	caja	\$ 3,50	\$ 3,50
Electrodos AWS E7018 1/8"	5	kg	\$ 39,20	\$ 196,00
Alambre AWS ER70S-6 1,10mm	1	rollo	\$ 90,00	\$ 90,00
Varilla AWS E70S-6 3/32"	5	kg	\$ 80,00	\$ 400,00
CO2	1	botella	\$ 290,00	\$ 290,00
Argón 90%	1	botella	\$ 600,00	\$ 600,00
Lijas 80, 100, 120, 150, 180, 240, 320, 360, 400, 500, 600, 800	15	c/u	\$ 0,35	\$ 63,00
Lijas 1000, 1200, 1500,2000	15	c/u	\$ 1,00	\$ 60,00
Paño de franela	1	m	\$ 30,00	\$ 360,00
Electrodos de Tungsteno 7X1/16	20	u	\$ 33,60	\$ 672,00
Alúmina	1	kg	\$ 50,00	\$ 50,00
Pasta de diamante	3	u	\$ 80,00	\$ 240,00
Total				\$ 3.412,71
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario (USD)	Costo Total (USD)
Soldador	2	día	\$ 80,00	\$ 160,00
Ayudante esmerilador	6	día	\$ 25,00	\$ 150,00
Ingeniero metalográfico	17	día	\$ 30,00	\$ 510,00
Total				\$ 820,00
Total=				\$ 4.232,71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Equipos

EQUIPOS
Equipo de soldadura TIG
Espectrómetros para metales
Fresadora
Horno Eléctrico
Máquina Universal
Micro durómetro Vickers
Microscopio metalográfico
Pulidora manual de 9"
Rectificadora

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.4. Gastos en servicios básicos

Tabla 14. Servicios básicos

Servicios Básicos	Valor mensual	Anual
Eléctrico	754,55	9054,60
Agua	120,00	1440,00
Internet	45,00	540,00
Telefónico	60,00	720,00
Seguridad	600,00	7200,00
Insumos de Limpieza	64,20	770,40
Control de plagas	300,00	3600,00
Combustible	220,00	2640,00
Total	\$2.163,75	\$25.965,00

Fuente: Elaboración propia

La electricidad se convierte en uno de los competidores más fuertes donde es imposible negociar.

3.5. Análisis de los resultados en los datos obtenidos.

3.5.1. TANQUE PRINCIPAL (De mezcla y acumulador)

Presión máxima de 12 bares en las caras internas del tanque según tabla adjunta de tanques de compresores.

Los valores para realizar el estudio los elegimos de la siguiente tabla.

Tabla 15. Valores estándares de varios factores para tanques a presión

Depósitos estándar pintados												
Capacidad (L)	100	200	270	500	720	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Presión (bar)	11	11	11	11	10,8	11	12	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Diámetro Ø	370	440	500	600	750	800	800	1000	1000	1200	1450	1450
AL tot. (mm)	1172	1570	1668	2055	2030	2120	2315	2305	2805	2065	3070	3570
AL (mm)	124	174	170	155	150	130	115	180	180	185	180	180
a	3/4"	1"	1"	1"	1"	1 1/2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
b	3/4"	1"	1"	1"	1"	1 1/2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
c	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
d	3/8"	3/8"	N.A.	N.A.	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
e	1/2"	1/2"	1/2"	2"	2"	2"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
t	1/2"	1/2"	1/2"	2"	2"	2"	2"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
l (mm)	298	397	599	775	895	860	745	500	595	700	780	780
m (mm)	998	1222	1304	1560	1705	1780	1685	1860	2355	2410	2430	2900
Tipo de kit incluido	1	2	3	4	4	6	7	8	8	8	no incluido	
Peso (kg)	37	51	62	127	180	200	204	278	352	537	802	923
Normativa y estándares	2008/105/CE						97/23/CE (PED)					

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Mallado del tanque

El desplazamiento generado con esa presión

Como se puede observar el punto crítico es la salida superior pero el desplazamiento es de 0.3656mm lo cual es mínimo para este tanque.

Realizando el estudio de Factor de seguridad vemos que el mínimo es de 2.3 por lo tanto supera las expectativas y calculando tendríamos una presión máxima según diseño de:

$$\text{Presión máxima} = 12 \text{ bares} \times 2.3 = 27.6 \text{ bares}$$

Esto implica que el tanque puede soportar hasta 27.6 bares antes de alcanzar su límite de diseño. El factor de seguridad de 2.3 proporciona un margen adicional para asegurar que el tanque no falle bajo condiciones normales de operación, considerando posibles variaciones en la presión, defectos en el material, o errores en el diseño.

Y para finalizar la velocidad con la que entra el oxígeno al tanque es de 15.5 m/s y la velocidad de salida es de 35.12 m/s esto debido a la presión interna del tanque.

3.5.3. *Tanque Secundario (Catalizador)*

Presión máxima de 12 bares en las caras internas del tanque según la presión utilizada anteriormente de tanques de compresores.

3.5.4. *Mallado del tanque*

Como se puede observar el punto crítico es la entrada superior del tanque la cual se desplazaría un 0.808mm a una presión de 12 bares.

Realizando el estudio de Factor de seguridad vemos que el mínimo es de 1.26 por lo tanto es un buen factor de seguridad ya que el estudio se lo hizo a una presión muy fuerte y aun así no habría inconvenientes con el diseño a esa presión.

$$\text{Presión máxima} = 12 \text{ bares} \times 1.26 \times 1.6 = 15.12$$

Esto nos muestra que para este diseño la presión máxima que puede soportar el tanque es de 15.12 bares, superior a lo implementado en el estudio.

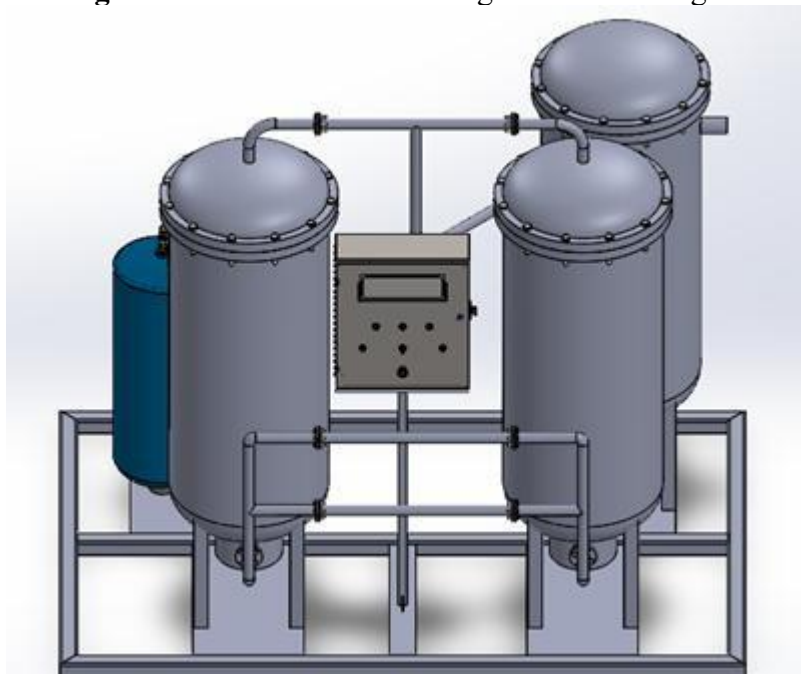
Se observa el comportamiento del oxígeno a la máxima presión y como vemos esta es la interacción dentro del tanque, la cual ingresa por el ducto superior y se acumula en la parte superior del tanque hasta que finalmente sale por el ducto lateral a media altura del tanque. Y observamos la temperatura del fluido en este caso del oxígeno dentro del tanque a la presión de 12 bares. La temperatura máxima será de 21.22°C y la mínima 18.40°C. La máquina completa está compuesta por los siguientes elementos:

- 1 tanque catalizador, el cual se ubica al inicio de la máquina en la parte posterior
- 2 tanques de mezcla, los cuales están ubicados al frente de la máquina y se encargan de la separación de las moléculas de oxígeno y las de nitrógeno que se encuentran en el aire.
- 1 tanque acumulador, ubicado en la parte posterior del sistema y en el paso final del generador de oxígeno.
- 1 cajetín de control ubicado entre los tanques de mezcla al frente de la máquina.

En este se encuentran internamente elementos de adquisición de datos y control para la puesta en marcha de la máquina y el correcto funcionamiento del equipo. Y para finalizar la velocidad con la que entra el oxígeno al tanque es de 46.55 m/s y la velocidad de salida es de 43.69 m/s esto debido a la presión interna del tanque.

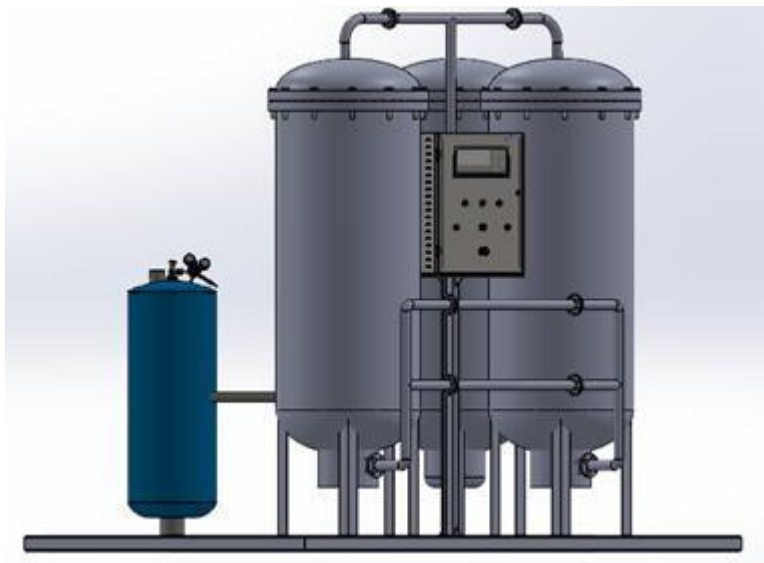
3.5.5. *Ensamble generador de oxígeno.*

Figura 13. Vista isométrica del generador de oxígeno



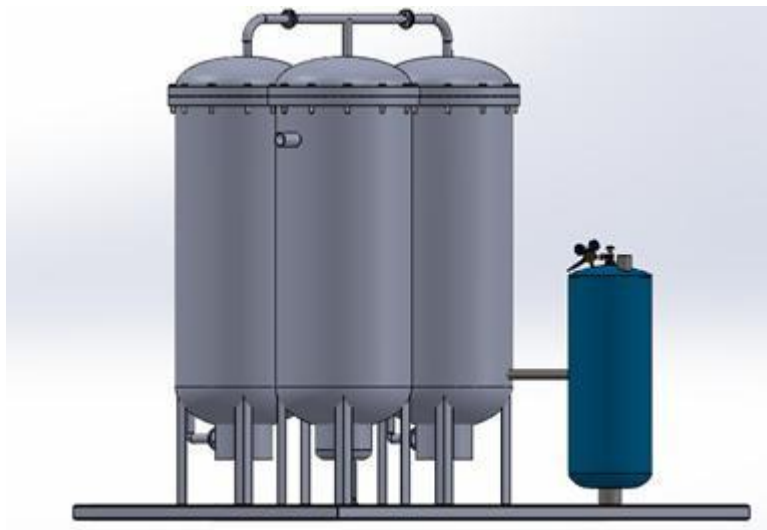
Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Vista frontal del generador de oxígeno.



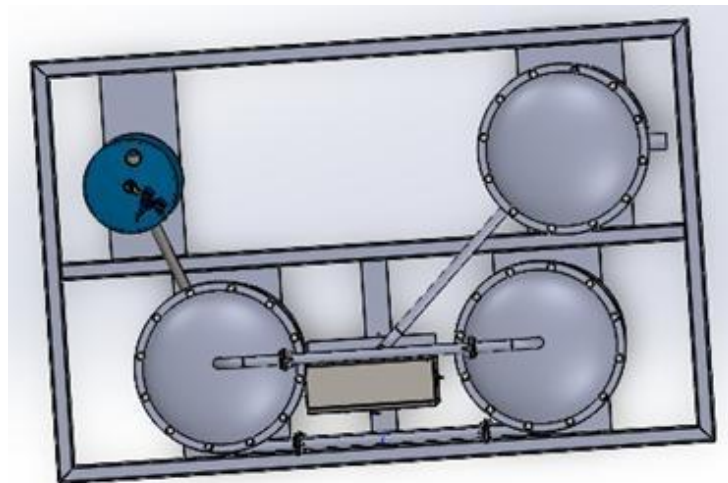
Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Vista lateral del generador de oxígeno.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Vista superior del generador de oxígeno.



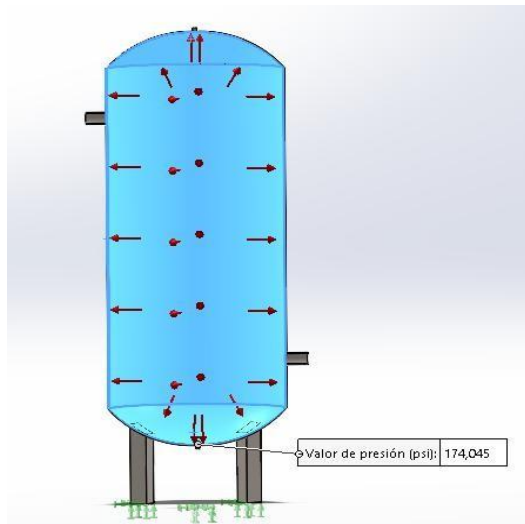
Fuente: Elaboración propia

3.5.6. *Tanques de compensación*

3.5.6.1. Tanque de presión

Presión máxima de 12 bares en las caras internas del tanque.

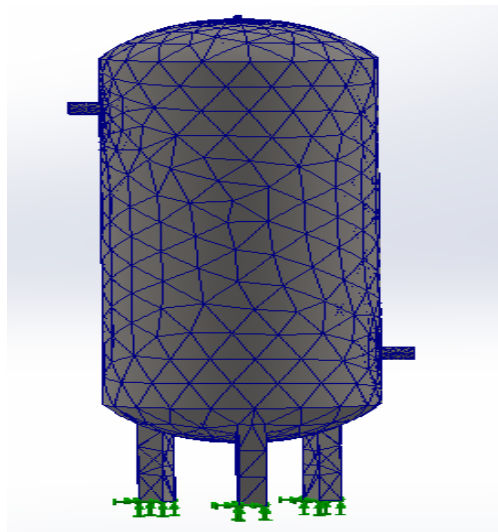
Figura 17. Presión interna de 12 bares en el estudio



Fuente: Elaboración propia

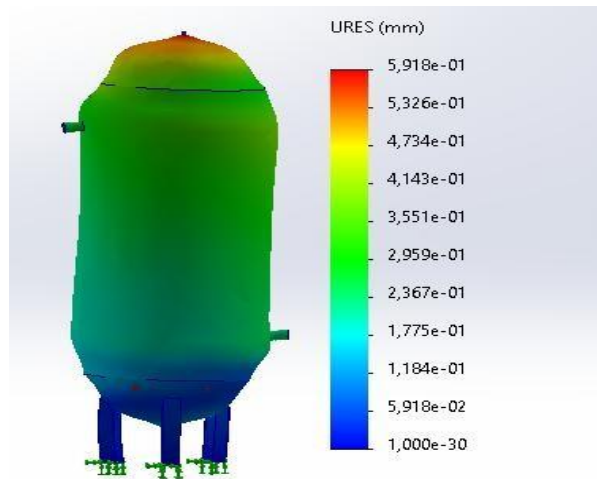
3.5.6.2. Mallado del tanque

Figura 18. Mallado del tanque para el estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Desplazamiento del tanque, desplazamiento máximo de 0.59mm



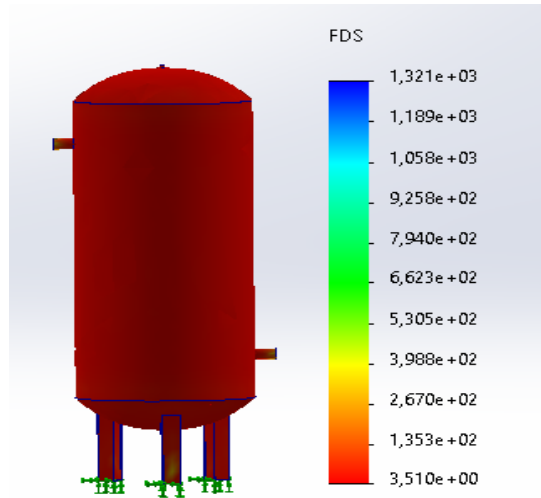
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el punto crítico del diseño es el desfogue de presión que tiene en la parte superior del tanque el cual hay que tener cuidado en la fabricación del tanque y tendrían un desplazamiento máximo de 0.59mm a una presión de 12 bares lo cual no es tan malo para la presión implementada en el diseño.

Realizando el estudio de Factor de seguridad vemos que el mínimo es de 3.51 por lo tanto supera las expectativas y calculando tendríamos una presión máxima según diseño.

$$\text{Presión máxima} = 12 \text{ bares} \times 3.51 = 42.12 \text{ bares}$$

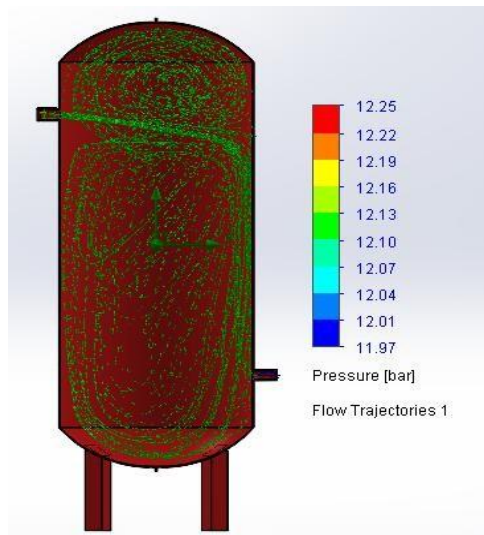
Figura 20. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57



Fuente: Elaboración propia

Esto implica que el tanque puede soportar hasta 42.12 bares antes de alcanzar su límite de diseño. El factor de seguridad de 3.51 proporciona un margen adicional para asegurar que el tanque no falle bajo condiciones normales de operación, considerando posibles variaciones en la presión, defectos en el material, o errores en el diseño.

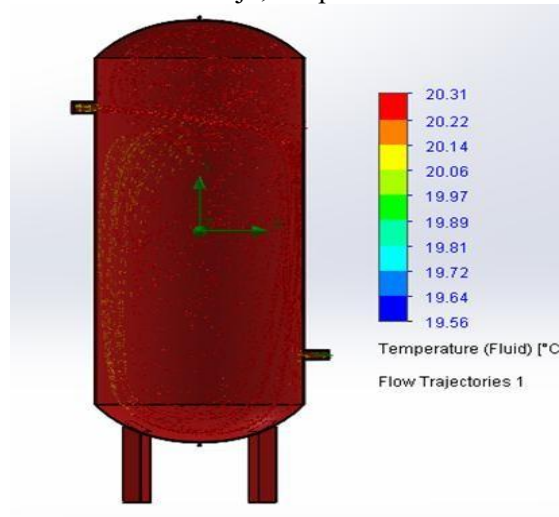
Figura 21. Estudio de flujo y flujo de sistema a 10.13 bares



Fuente: Elaboración propia

Se observa el comportamiento del oxígeno a 12.25 bares de presión y como vemos esta es la interacción dentro del tanque. La presión se reduce a la salida del tanque llegando a los 11.97 bares.

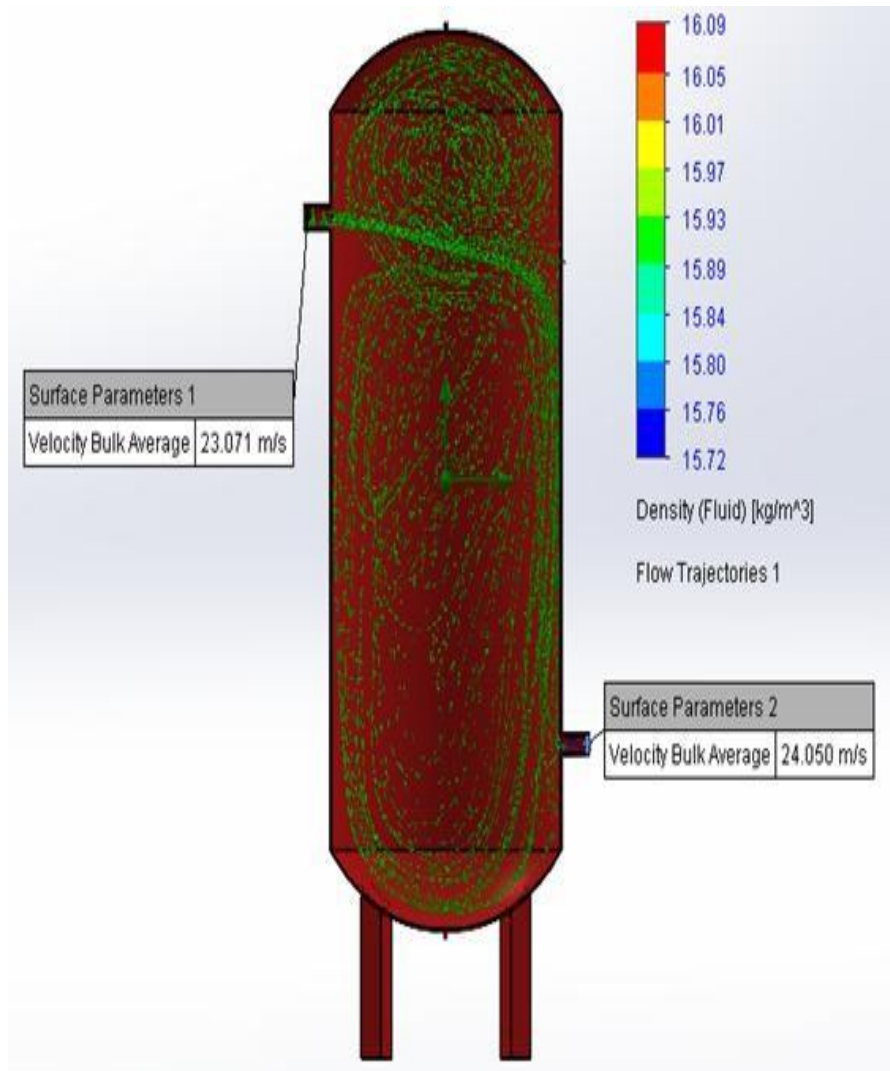
Figura 22. Estudio de flujo, temperatura máxima de 20.31°C



Fuente: Elaboración propia

Y observamos la temperatura máxima del fluido en este caso del oxígeno dentro del tanque a la presión de 12 bares sería de 20.31°C aproximadamente lo que significa un incremento mínimo a causa de la presión ya que en la entrada tenemos que la temperatura es de 20.05°C.

Figura 23. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 23.07m/s, velocidad de salida del fluido 24.05m/s



Fuente: Elaboración propia

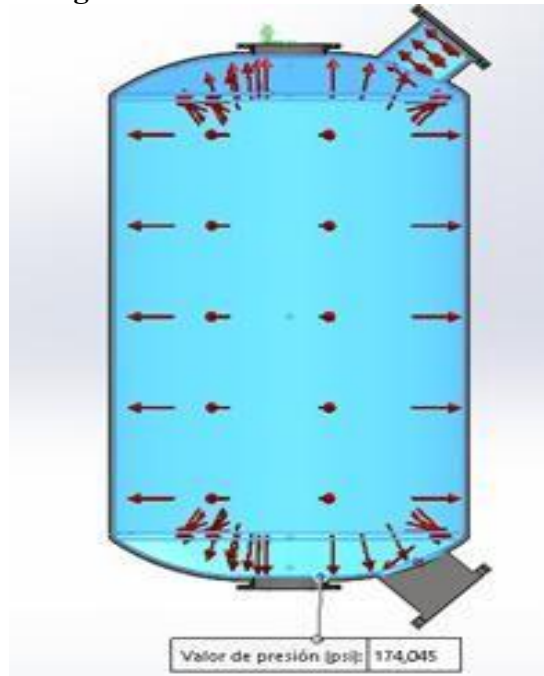
Y para finalizar la velocidad con la que entra el oxígeno al tanque es de 23.07 m/s y la velocidad de salida es de 24.05 m/s esto debido a la acumulación de presión interna del tanque y una densidad de aproximadamente 15.93 kg/m³ de fluido dentro del tanque.

3.5.7. Secador de succión de calor

3.5.7.1. Tanque de presión

Presión máxima de 12 bares en las caras internas del tanque.

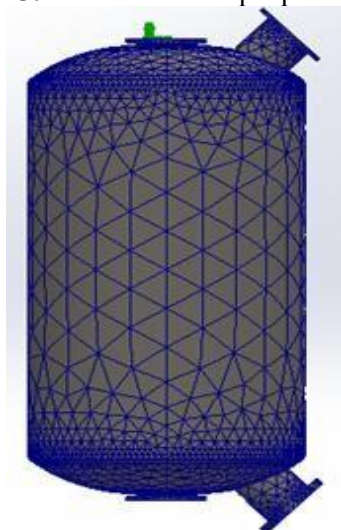
Figura 24. Presión interna en el estudio



Fuente: Elaboración propia

3.5.7.2. Mallado del tanque

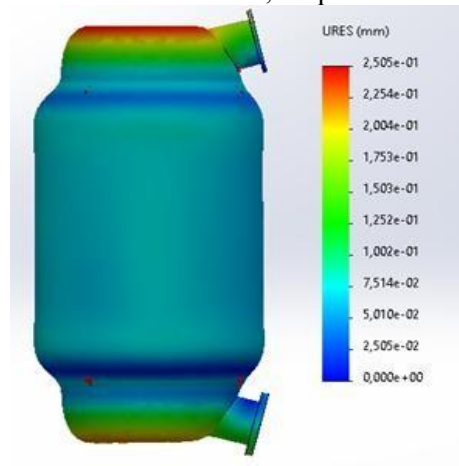
Figura 25. Mallado del tanque para el estudio



Fuente: Elaboración propia

El desplazamiento generado con esa presión

Figura 26. Desplazamiento del sistema, desplazamiento máximo de 0.2mm



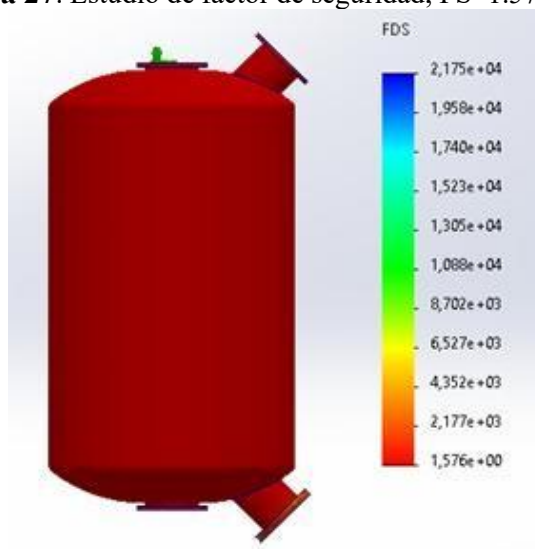
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar los puntos críticos del diseño son las tapas de los tanques las cuales van soldadas y tendrían un desplazamiento máximo de 0.2mm a una presión de 12 bares lo cual es muy bueno para la presión implementada en el diseño.

Realizando el estudio de Factor de seguridad vemos que el mínimo es de 1.576 por lo tanto supera las expectativas y calculando tendríamos una presión máxima según diseño de

$$\text{Presión máxima} = 12 \text{ bares} \times 1.576 = 18.912 \text{ bares}$$

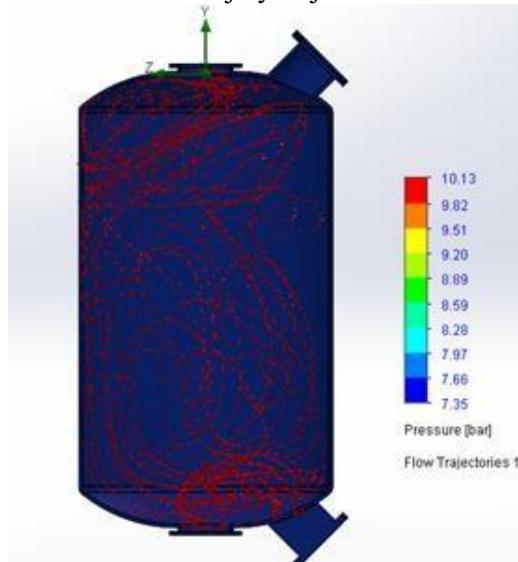
Figura 27. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57



Fuente: Elaboración propia

Esto implica que el tanque puede soportar hasta 18.912 bares antes de alcanzar su límite de diseño. El factor de seguridad de 1.576 proporciona un margen adicional para asegurar que el tanque no falle bajo condiciones normales de operación, considerando posibles variaciones en la presión, defectos en el material, o errores en el diseño.

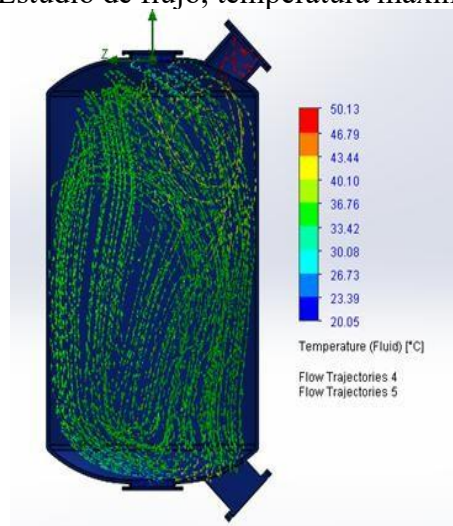
Figura 28. Estudio de flujo y flujo de sistema a 10.13 bares



Fuente: Elaboración propia

Se observa el comportamiento del oxígeno a 10.13 bares de presión y como vemos esta es la interacción dentro del tanque.

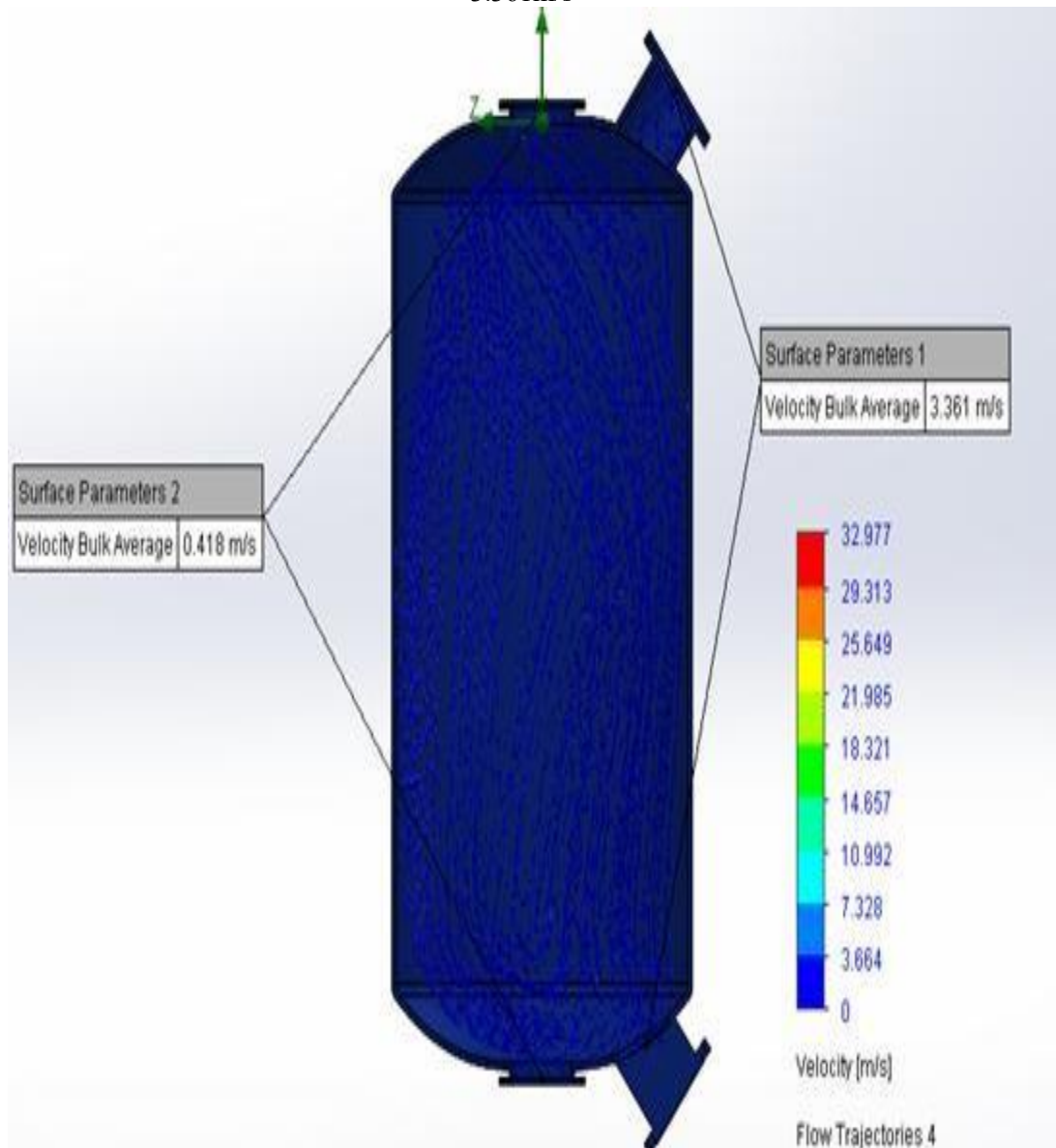
Figura 29. Estudio de flujo, temperatura máxima de 50.13°C



Fuente: Elaboración propia

Y observamos que la temperatura máxima del fluido en este caso del oxígeno dentro del tanque a la presión de 12 bares sería de 50.13°C aproximadamente.

Figura 30. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 0.418m/s, velocidad de salida del fluido 3.361m/s



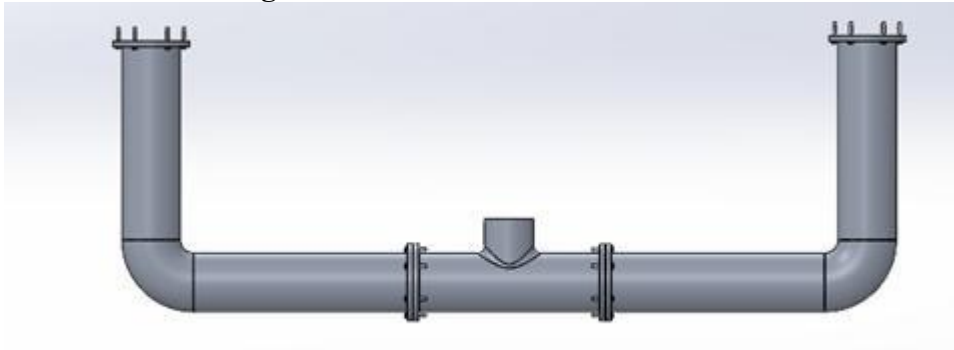
Fuente: Elaboración propia

Y para finalizar la velocidad con la que entra el oxígeno al tanque es de 0.418 m/s y la velocidad de salida es de 3.361 m/s esto debido a la acumulación de presión interna del tanque.

3.5.7.3. Tubería inferior

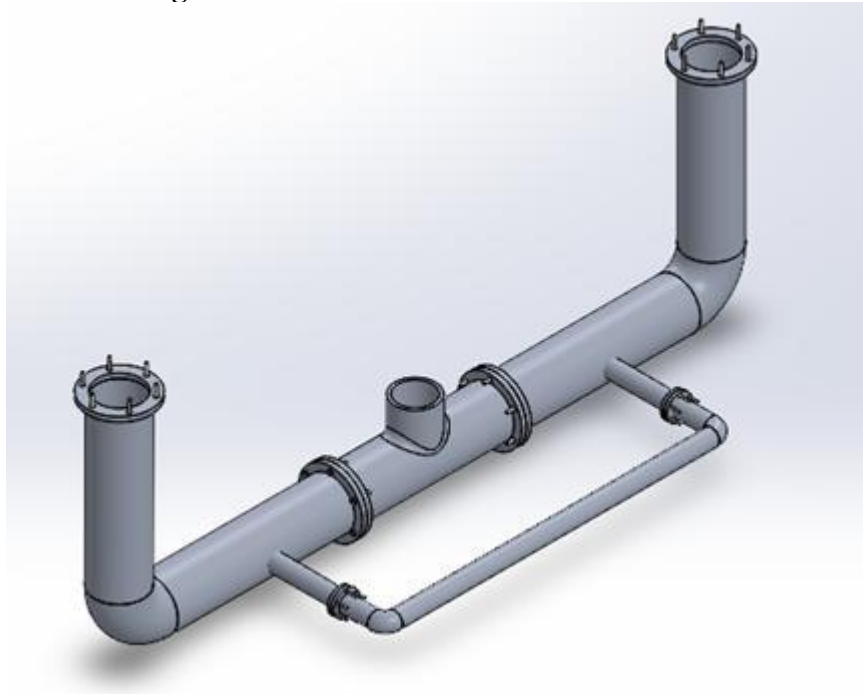
Por esta tubería hace el ingreso el gas desde el banco de filtros y este se distribuye hacia los dos tanques secadores los cuales a su vez tienen su salida en la parte superior.

Figura 31. Vista frontal de tubería inferior



Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Vista isométrica de tubería inferior

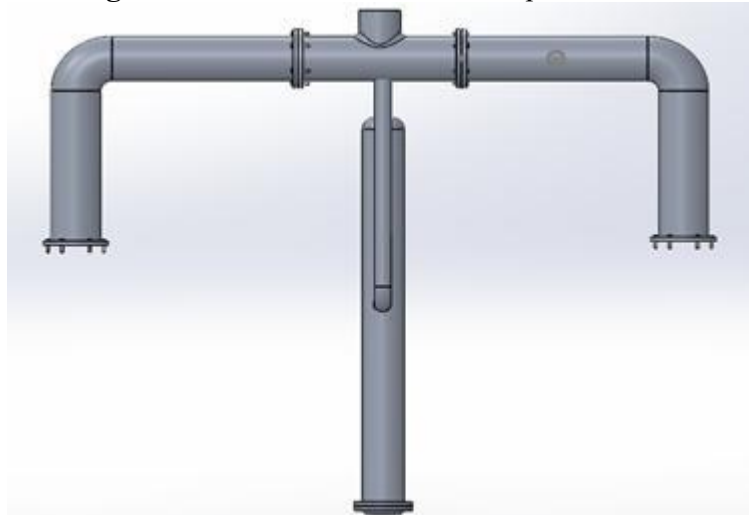


Fuente: Elaboración propia

3.5.7.4. Tubería superior

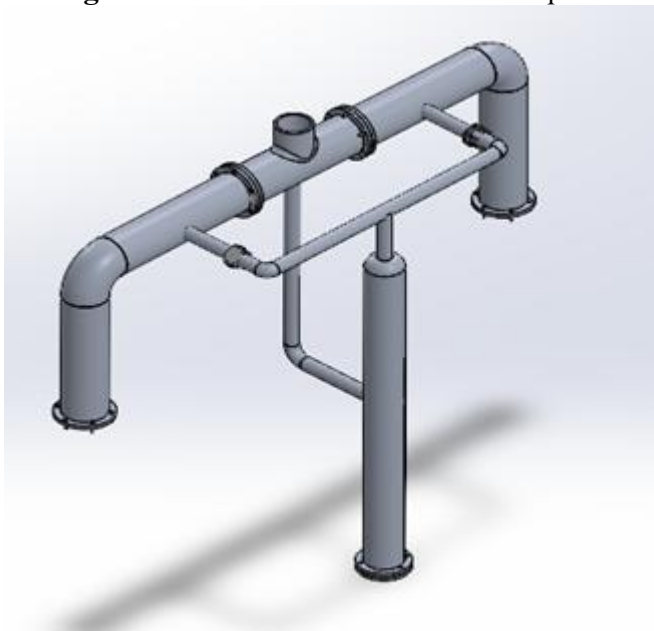
En este sistema de tubos se realiza la salida del secador y a su vez tiene una trampa de agua para poder depurar los fluidos que afectan a la pureza del oxígeno.

Figura 33. Vista frontal de tubería superior



Fuente: Elaboración propia

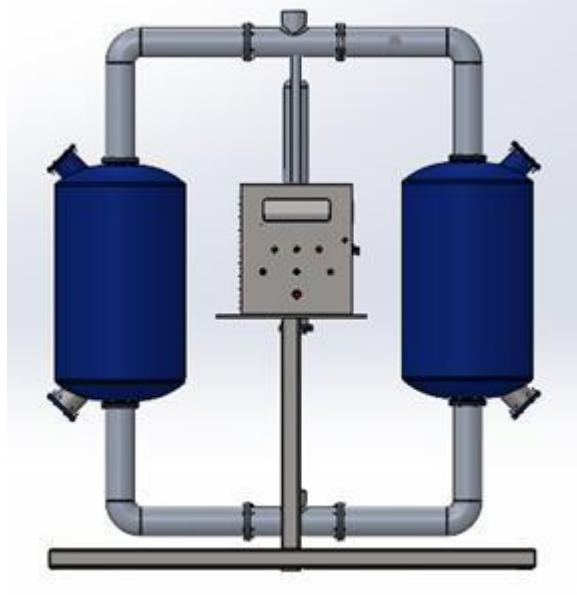
Figura 34. Vista isométrica de tubería superior



Fuente: Elaboración propia

3.5.7.5. Ensamble Secador de Succión

Figura 35. Vista frontal del ensamble del secador

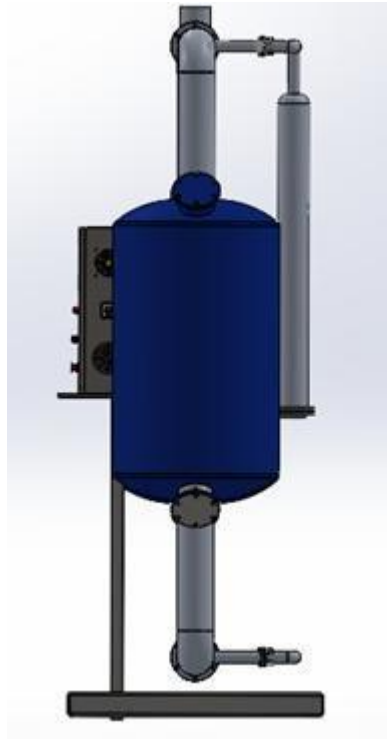


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, así queda el armado de la máquina secadora la cual está formada por:

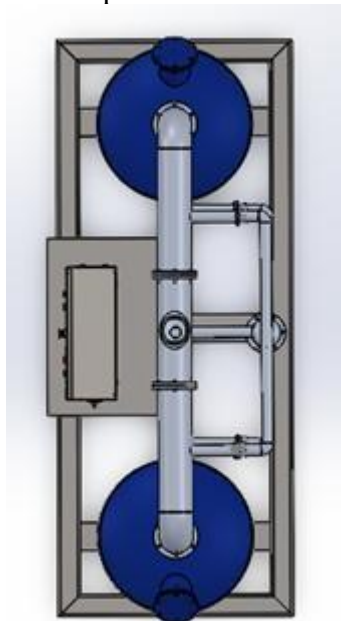
- Sistema de tubos inferior el cual está al inicio del sistema y es la entrada de los fluidos.
- 2 tanques de presión los cuales realizan el trabajo para cumplir con el objetivo de secar los fluidos.
- Sistema de tubos superior el cual se encuentra al final del sistema y tiene el objetivo de eliminar líquidos del fluido, además de ser la salida de la máquina.
- 1 cajetín de control ubicado entre los tanques de presión.
- En este se encuentran internamente elementos de adquisición de datos y control para la puesta en marcha de la máquina y el correcto funcionamiento del equipo.

Figura 36. Vista lateral del ensamble del secador



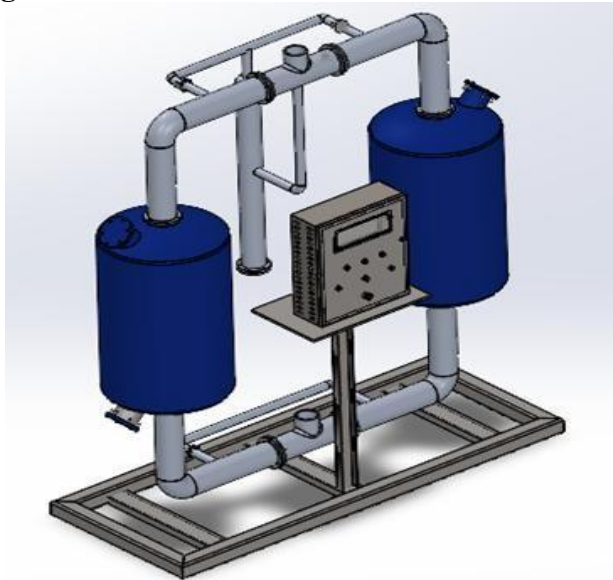
Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Vista superior del ensamble del secador



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Vista isométrica del ensamble del secador



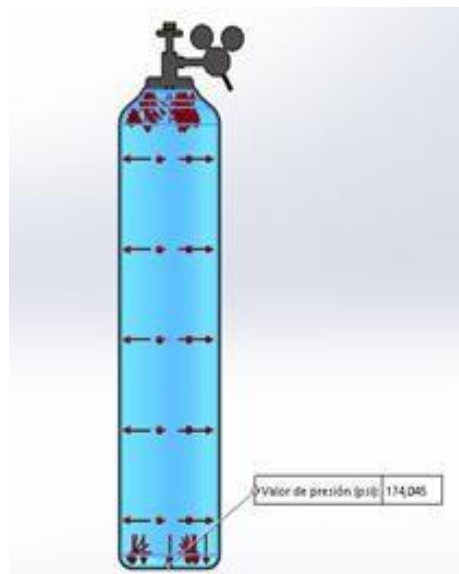
Fuente: Elaboración propia

3.5.8. Estación de llenado

3.5.8.1. Cilindro de Gas

Presión máxima de 12 bares en las caras internas del cilindro.

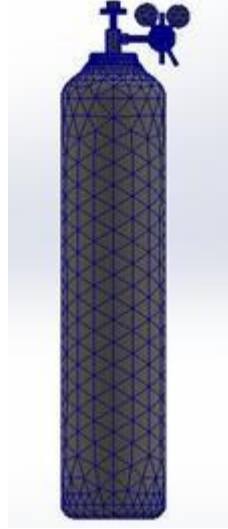
Figura 39. Presión interna de 12 bares en el estudio



Fuente: Elaboración propia

3.5.8.2. Mallado del cilindro de gas

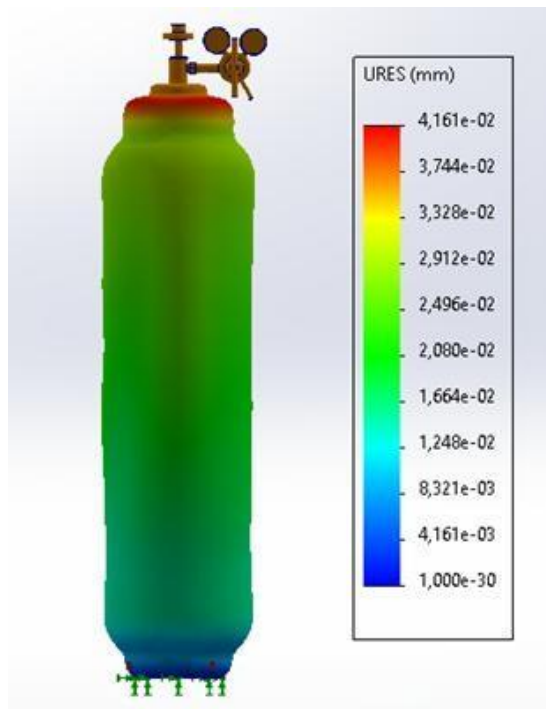
Figura 40. Mallado del cilindro de gas para el estudio



Fuente: Elaboración propia

El desplazamiento generado con esa presión

Figura 41. Desplazamiento del tanque, desplazamiento máximo de 0.041mm



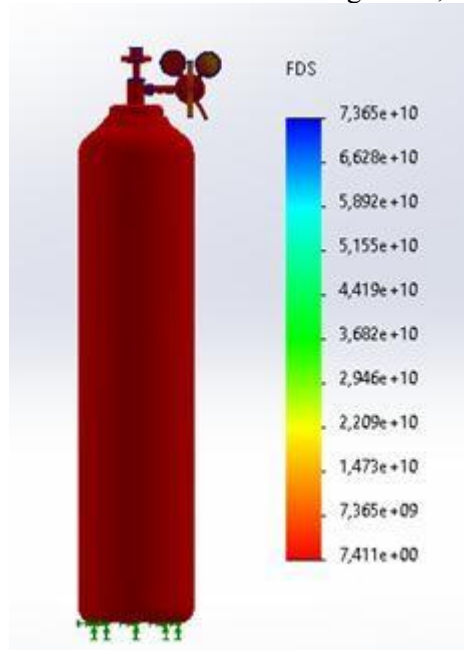
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el punto crítico del diseño es la entrada de oxígeno que tiene en la parte superior del tanque el tendrían un desplazamiento máximo de 0.041mm a una presión de 12 bares lo cual mínimo para el diseño.

Realizando el estudio de Factor de seguridad vemos que el mínimo es de 7.41 por lo tanto supera las expectativas y calculando tendríamos una presión máxima según diseño de

$$\text{Presión máxima} = 12 \text{ bares} \times 7.41 = 88.92 \text{ bares}$$

Figura 42. Estudio de factor de seguridad, FS=1.57

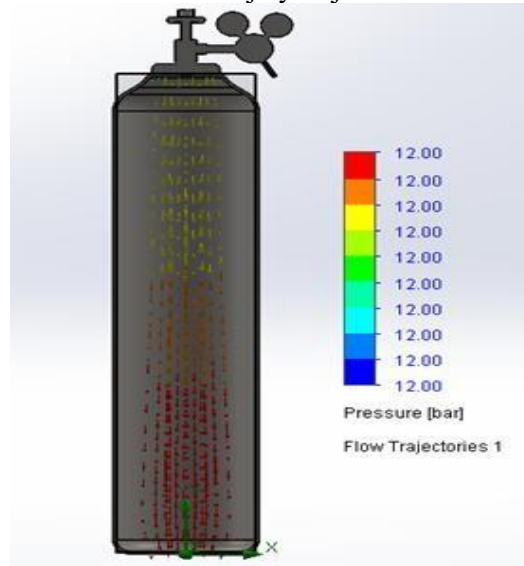


Fuente: Elaboración propia

Esto implica que el cilindro puede soportar hasta 88.92 bares antes de alcanzar su límite de diseño. El factor de seguridad de 7.41 proporciona un margen adicional para asegurar que el tanque no falle bajo condiciones normales de operación, considerando posibles variaciones en la presión, defectos en el material, o errores en el diseño. Generalmente en este tipo de cilindro se los diseña con un factor de seguridad alto debido a que deben ser muy robustos, esto a causa de la manipulación que reciben, como recargas constantes, transporte y movimiento continuo y golpes por los que lo transportas, adicional el espesor debe ser de gran dimensión dependiendo el gas que transporten ya que las moléculas de ciertos gases son más pequeñas que los materiales que las contienen y escapan del cilindro.

Por último, realizamos el estudio de flujo en el cilindro el cual tenemos lo siguiente

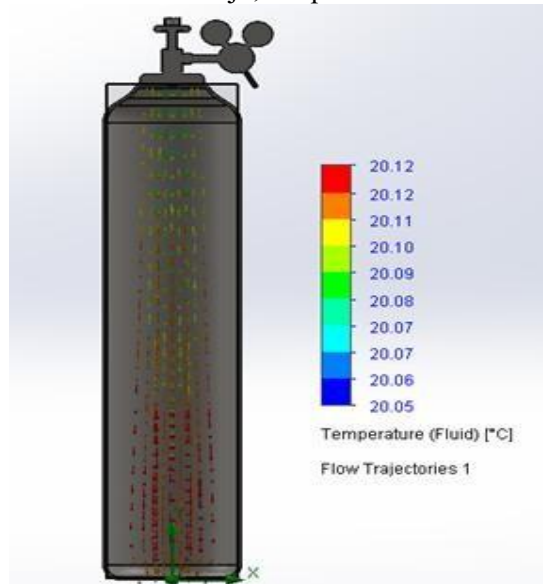
Figura 43. Estudio de flujo y flujo de sistema a 12 bares



Fuente: Elaboración propia

Se observa el comportamiento del oxígeno a 12 bares de presión y como vemos esta es la interacción dentro del cilindro. La presión es constante en todo el cilindro.

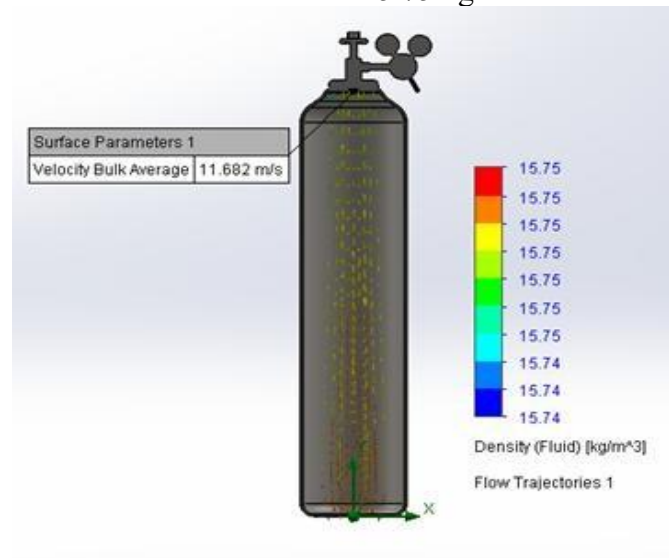
Figura 44. Estudio de flujo, temperatura máxima de 20.12°C



Fuente: Elaboración propia

Y observamos la temperatura máxima del fluido en este caso del oxígeno dentro del cilindro a la presión de 12 bares sería de 20.12°C aproximadamente lo que significa un incremento mínimo a causa de la presión ya que en la entrada tenemos que la temperatura es de 20.05°C.

Figura 45. Estudio de flujo, Velocidad de entrada del fluido 11.682m/s, con una densidad máxima de 15.75 kg/



Fuente: Elaboración propia

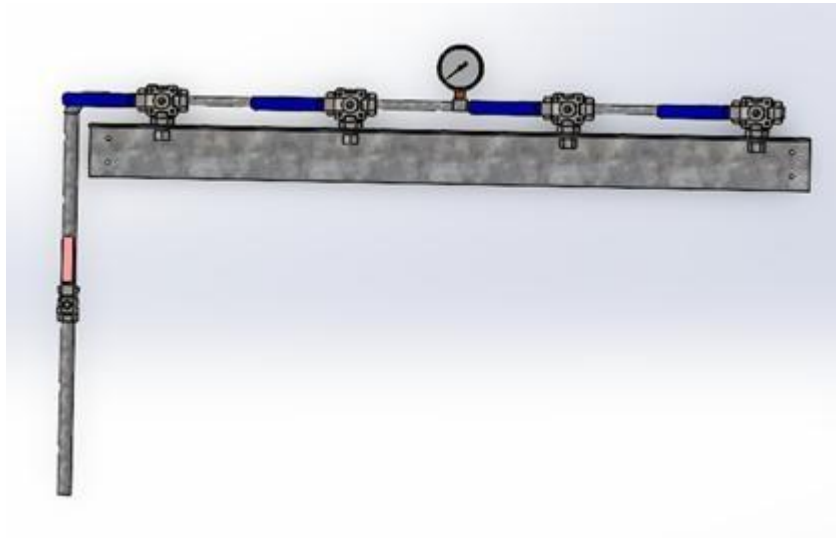
Y para finalizar la velocidad con la que entra el oxígeno al cilindro es de 11.682 m/s y una densidad de aproximadamente 15.75 kg/ de fluido dentro del cilindro.

3.5.8.3. Cuerpo de Válvulas de Llenado

El cuerpo de válvulas de llenado está conformado por:

- Sistema de tubos de ½”.
- 1 válvula de aire de 1 vía 2 posiciones.
- 4 válvulas de aire de 3 vías y 2 posiciones.
- 4 acoples para mangueras de aire de ½”.
- 1 manómetro para medir presión.
- 1 base para sujeción y montaje.

Figura 46. Ensamble de estación de llenado de tanques de gas

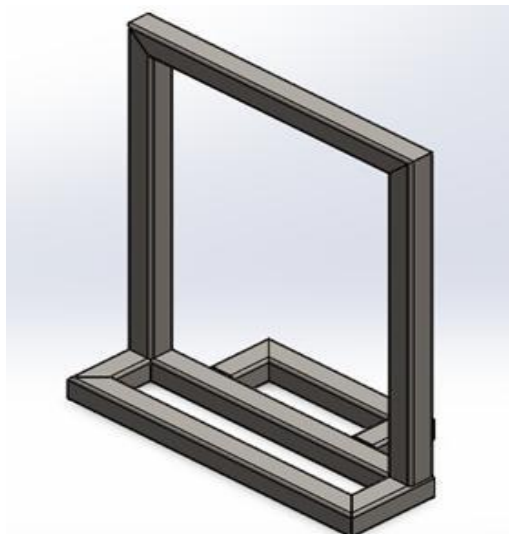


Fuente: Elaboración propia

3.4.8.4. Estructura de Soporte de Estación de llenado

Sobre esta base es colocado la estación de llenado de tanques

Figura 47. Vista isométrica de estructura soporte de la estación de llenado



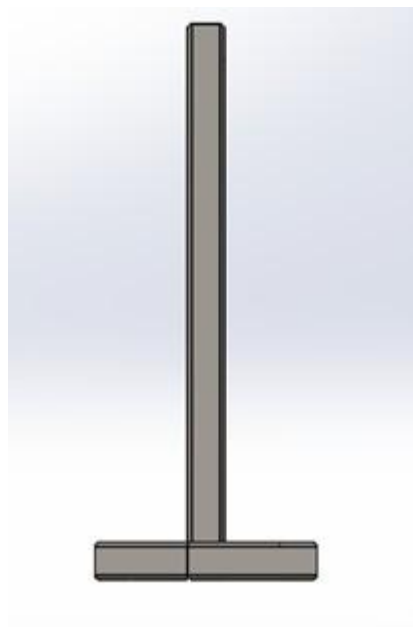
Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Vista frontal de estructura soporte de la estación de llenado



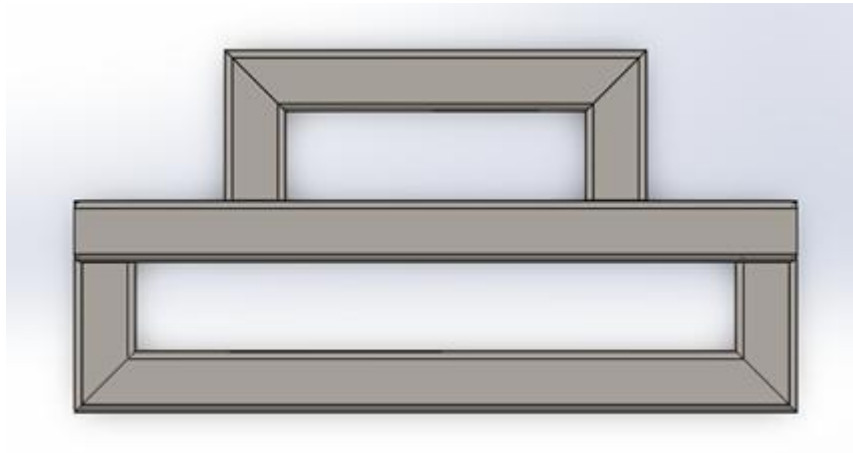
Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Vista lateral de estructura soporte de la estación de llenado



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Vista superior de estructura soporte de la estación de llenado

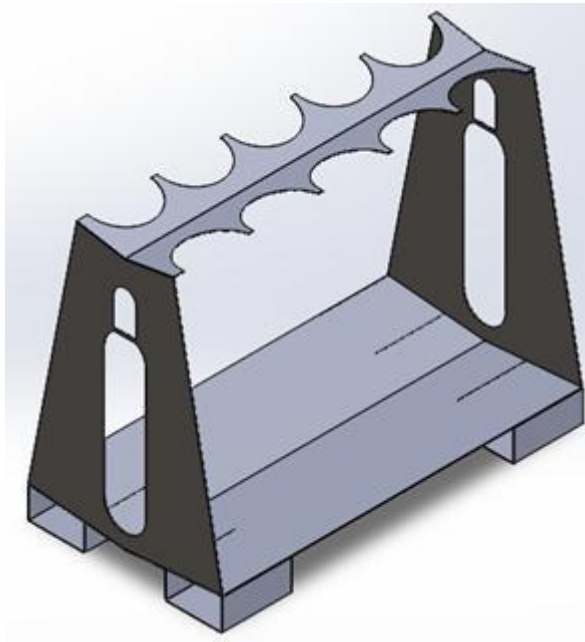


Fuente: Elaboración propia

3.5.8.5. Base de Cilindros de Gas

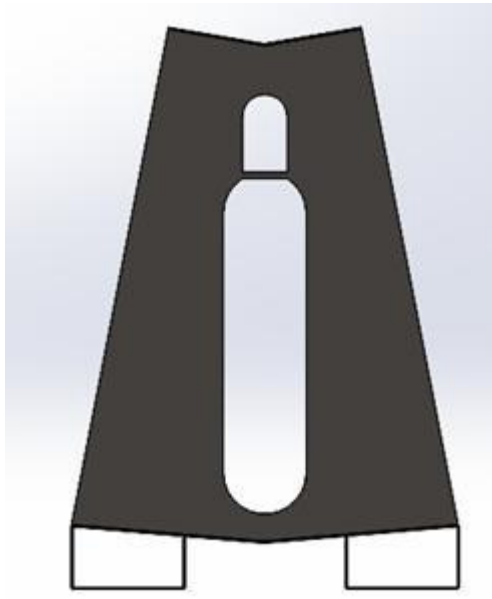
Esta es la base para colocar los cilindros de gas al final del proceso y llenarlos. Tiene una capacidad para 10 tanques.

Figura 51. Vista isométrica de Base de Cilindros de Gas



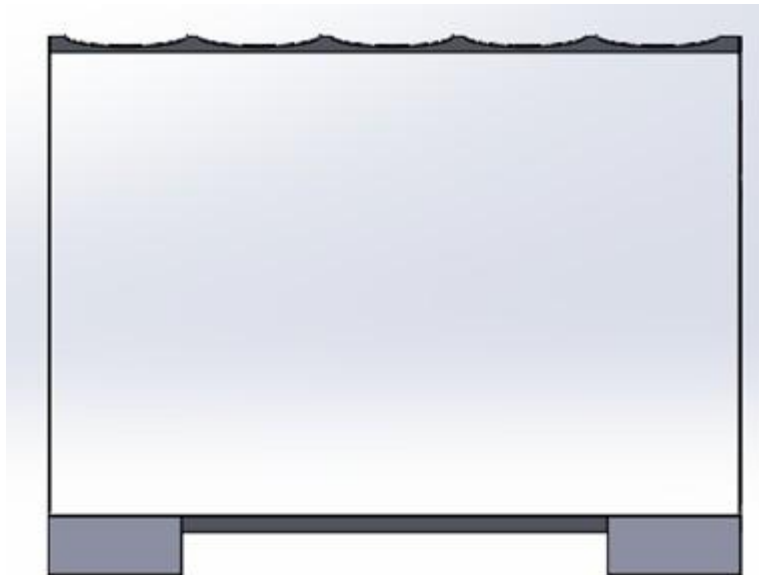
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Vista lateral de Base de Cilindros de Gas



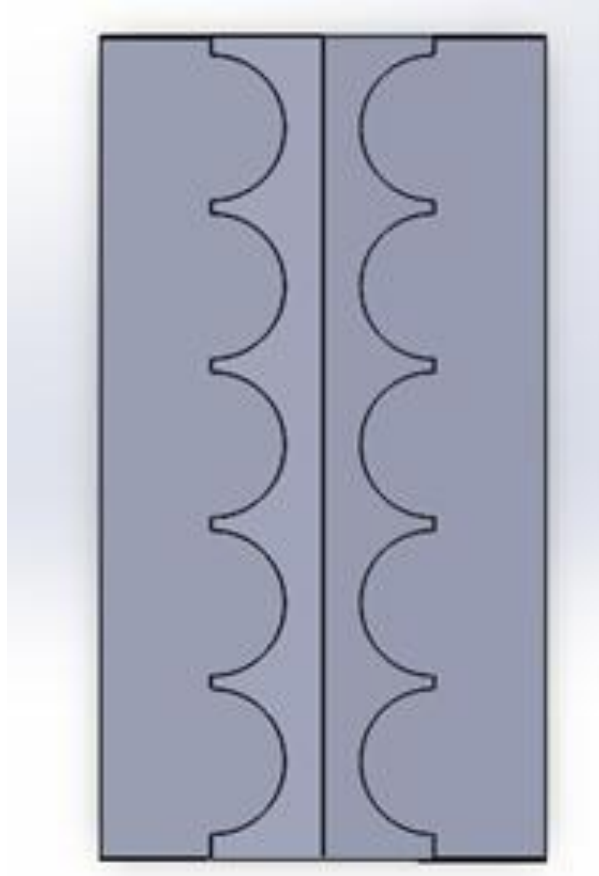
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Vista frontal de Base de Cilindros de Gas



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Vista superior de Base de Cilindros de Gas



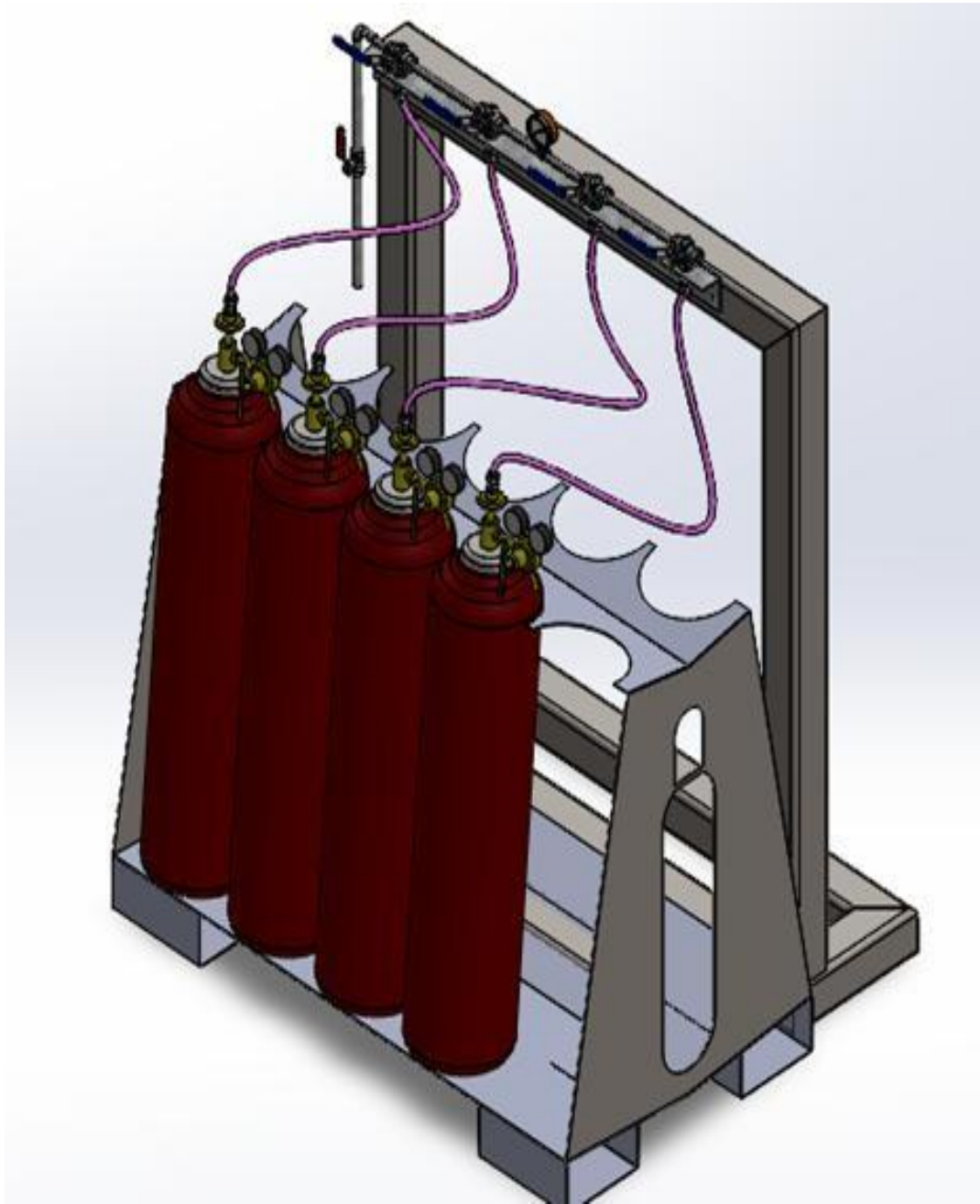
Fuente: Elaboración propia

3.5.8.6. Armado de la estación de llenado

Finalmente, el armado de la estación de llenado completa está formado por:

- Cilindros de gas.
- 1 cuerpo de válvulas de llenado.
- 1 base para soporte de la estación de llenado.}
- 1 base para los cilindros de gas.
- Mangueras de aire de ½”.

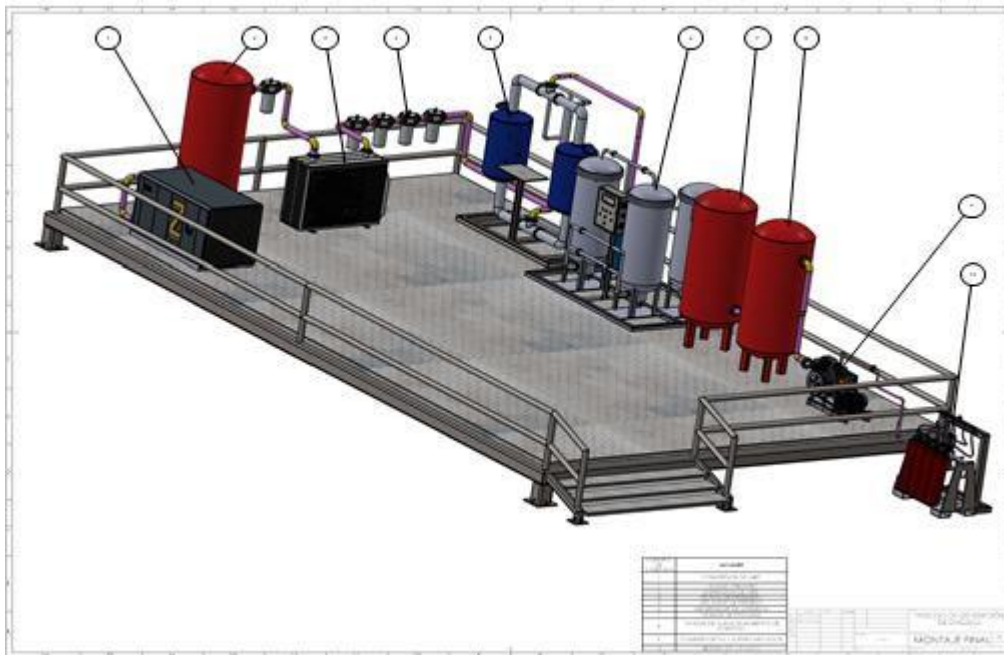
Figura 55. Vista isométrica del armado de la Estación de Llenado



Fuente: Elaboración propia

3.6. Redacción de resultados y discusión.

Figura 56. Diseño final de la planta



Fuente: Elaboración propia

Se propone el diseño de una planta generadora de oxígeno de 5 m³/h en la provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio, como una respuesta organizada a la escasa disponibilidad de este insumo y a la elevada dependencia que existe con los proveedores externos localizados en otras provincias del país. Los resultados obtenidos en este sentido muestran una integración coherente de los datos empíricos recogidos, los métodos analíticos utilizados y las decisiones técnicas tomadas a lo largo del desarrollo del sistema.

Durante la fase de diagnóstico, los estudios desarrollados en centros sanitarios mostraron un consumo de oxígeno variable, con mayor consumo en las situaciones de salud críticas. Se estimó que la necesidad variaría entre 18 y 20 hospitales en momentos de alta demanda. La matriz QFD se empleó para analizar estos resultados, lo que permitió transformar las exigencias del entorno en parámetros técnicos concretos, como la presión de operación, la capacidad productiva y la confiabilidad del sistema. La relación entre los instrumentos empleados y las exigencias del diseño se evidencia con esta integración metodológica.

La elección de la tecnología de adsorción por variación de presión (PSA) se justifica realmente no sólo por las ventajas operativas propias de este método, sino en comparación con otras tecnologías de producción de oxígeno, por ejemplo, con los sistemas criogénicos. Los últimos se caracterizan por mayores costos operativos e inversión pequeña y mediana escala. La tecnología PSA ha demostrado ser adecuada para hospitales por ser eficaz, segura y fácil de implementar, lo que resalta la importancia del diseño elegido, de acuerdo con estudios previos (Das, 2023; García Meza, 2021).

Los resultados del procesamiento de datos muestran que una capacidad del sistema de 5 m³/h cubre adecuadamente la demanda identificada y garantiza un suministro constante, reduciendo así significativamente la dependencia de proveedores externos. Los resultados demuestran la correlación entre el diseño propuesto y la fase de diagnóstico, y son compatibles con los datos empíricos recopilados.

Los análisis demuestran que el sistema, a pesar de la inversión inicial en infraestructura y equipamiento, tiene costos operativos mucho menores que los costos de transporte y adquisición de oxígeno en ciudades como Guayaquil o Quito. Este hallazgo coincide con estudios anteriores realizados en entornos regionales que demuestran la mayor eficiencia del sistema de suministro.

Socialmente, los resultados representan una gran contribución para mejorar la capacidad de respuesta del sistema sanitario local, aumentando la disponibilidad de oxígeno en situaciones críticas y disminuyendo la vulnerabilidad de la región frente a emergencias de salud.

La evaluación del impacto ambiental del sistema confirma los importantes beneficios de la tecnología EPI, ya que no necesita productos químicos adicionales ni produce residuos peligrosos, reduciendo así el impacto ambiental. El consumo es un factor a tener en cuenta; los resultados muestran que se encuentra dentro de los límites aceptables y que puede mejorarse con estrategias de eficiencia energética, en consonancia con las investigaciones que promueven tecnologías de bajas emisiones en los procesos industriales.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN

La presente propuesta de transformación se centra en planificación técnica para constituirse en un modelo científico de intervención tecnológica, diseñado específicamente para la optimización del suministro de oxígeno medicinal en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. Este modelo no solo responde a una necesidad logística inmediata, sino que se fundamenta en una estructura sistémica que articula presupuestos teóricos, metodológicos y operacionales, garantizando una solución sostenible, escalable y con rigor académico.

El objetivo de este trabajo es diseñar y desarrollar una unidad de generación de oxígeno de 5 m³ /h utilizando la tecnología de adsorción por cambio de presión (PSA). El modelo integra aspectos técnicos, aspectos económicos, sociales y ambientales y se centra en la resiliencia regional, y se centra en la resiliencia regional, a diferencia de los enfoques tradicionales. El sistema proporciona mayor independencia y eficiencia operativa al sistema de salud local.

4.1. Fundamentación de la propuesta de transformación.

La propuesta de transformación adquiere el carácter de modelo científico, está dirigida a la creación de una planta productora de oxígeno de 5 m³/h en el cantón Lago Agrio, se estructura a partir de dos subsistemas interdependientes: el teórico y el metodológico. Esta dualidad permite que la solución técnica no sea un evento aislado, sino el resultado de una construcción epistemológica sólida. Se basa en la necesidad de potenciar la habilidad para proveer oxígeno medicinal localmente, frente a las restricciones detectadas en el diagnóstico del sistema sanitario regional. Los resultados demuestran una dependencia considerable de los proveedores externos, lo que crea riesgos para la continuidad del suministro, particularmente en circunstancias de emergencia sanitaria.

4.1.1. Subsistema Teórico: Bases Epistemológicas y Conceptuales

El subsistema teórico es el núcleo cognitivo del modelo. Es el conjunto de principios, categorías y leyes que sustentan la transformación de la realidad objeto de estudio. En este sentido el subsistema se articula en torno a tres ejes fundamentales:

- **Resiliencia y teoría de sistemas en la atención sanitaria:** El modelo se basa en el supuesto de que el sistema de salud de Sucumbíos es un sistema abierto y complejo, cuya estabilidad depende del suministro seguro de recursos esenciales. La base teórica es la noción de resiliencia hospitalaria, que respalda la necesidad de contar con capacidades de producción locales para reducir la vulnerabilidad ante crisis externas.
- **Ingeniería (adsorción por presión de saturación):** La base científica del modelo se fundamenta en las leyes de la termodinámica y la cinética de adsorción. Basado en la selectividad de los materiales adsorbentes (zeolitas) según los cambios de presión. Permite la separación industrial de gases de alta pureza. Este principio aporta precisión técnica al enfoque y lo diferencia de la mera administración.
- **Perspectiva de eficiencia:** El modelo incorpora la teoría del desarrollo sostenible y tiene en cuenta la optimización de los recursos y la reducción de la huella de CO₂ como principios de diseño fundamentales.

4.1.2. Subsistema Metodológico: Procedimientos y Herramientas

El subsistema metodológico describe el "cómo" se construye y valida la propuesta. No se limita a una lista de pasos, sino que establece la lógica de investigación-acción aplicada al diseño ingenieril:

- **Integración Multimétodo:** Se articula el diagnóstico empírico (encuestas y observación) con herramientas de ingeniería avanzada como la **Matriz QFD**. Esto posibilita convertir las necesidades sociales y médicas en especificaciones técnicas de diseño (caudal, pureza, presión).
- **Modelado y Simulación por Computador:** La metodología recorre una secuencia de transformación lógica: desde la conceptualización teórica hasta la validación por parte de los expertos. La Aplicación de software especializada para la simulación de procesos refuerza la base científica del modelo. Esto permite la validación virtual del funcionamiento del sistema, antes de su implementación real, disminuyendo así las incertidumbres y optimizando los parámetros operativos.

- **Enfoque sistémico fase a fase:** La metodología sigue una secuencia de transformación lógica: desde la conceptualización teórica hasta la validación por parte de los expertos. De este modo, cada fase establece de forma lógica las bases de la siguiente.

4.2. Descripción de la propuesta de transformación.

4.2.1. Justificación del tipo de propuesta: Plan de diseño de una planta local de oxígeno

La propuesta actual se caracteriza por ser un proyecto para concebir una planta generadora de oxígeno con capacidad de 5 m³/h, lo que está en concordancia con la naturaleza del problema detectado y los hallazgos adquiridos a lo largo del proceso investigativo. Tras evaluar la situación actual del suministro de oxígeno en la provincia de Sucumbíos, evidenciada a través de encuestas y la recolección de datos en las unidades sanitarias, se determinó que el principal impedimento no radica en la carencia de modelos organizativos o estrategias administrativas, si no en la falta de infraestructura técnica local para la producción de este insumo esencial.

En este sentido la propuesta no se orienta a desarrollar una metodología, un modelo teórico o una estrategia de intervención, sino a desarrollar una solución técnica concreta para transformar el sistema energético existente. La decisión se fundamenta en la comparación entre las contribuciones teóricas analizadas, que resaltan la efectividad de los sistemas de generación descentralizada que emplean tecnologías como la adsorción por cambio de presión (PSA), y los resultados empíricos obtenidos en el área de estudio. Estos Los resultados pusieron de manifiesto una dependencia significativa de proveedores externos, elevados costos y limitaciones en el suministro continuo.

Desde un punto de vista teórico, numerosos estudios han evidenciado que la creación y funcionamiento de plantas locales para producir oxígeno representan una opción factible para situaciones con restricciones geográficas y logísticas, ya que posibilitan optimizar los recursos existentes y hacer más autónomo el sistema sanitario. Estos aportes concuerdan con los hallazgos de esta investigación, en la que se utilizó la matriz QFD para examinar la demanda y así determinar los parámetros técnicos requeridos para dimensionar la planta.

El diseño ha sido validado mediante simulaciones por ordenador que demuestran los beneficios prácticos de la propuesta y muestran que no se trata solo de un concepto teórico, sino también de una solución técnicamente sólida. En este contexto, la propuesta se presenta como un proyecto de ingeniería para resolver un problema particular y para resolver un problema particular e integrar los resultados de la fase de diagnóstico, el análisis técnico y el modelado del sistema.

Así que la elección de un proyecto de diseño como modalidad de propuesta se fundamenta en la necesidad de ofrecer una solución concreta, viable y contextualizada, que tenga la capacidad de influir de manera directa en la resolución del problema detectado. Esto asegurará que haya coherencia entre los resultados logrados, el enfoque metodológico y la naturaleza aplicada de la investigación.

4.2.2. Impacto social y práctico de la propuesta

El oxígeno es un derecho básico y un componente clave en el tratamiento de una amplia gama de afecciones, desde emergencias respiratorias hasta terapias crónicas, dificultades para conseguir oxígeno, ya que depende de proveedores externos a elevados costes de transporte, retrasos en las entregas y, en ocasiones, escasez. La construcción de una planta de procesamiento de oxígeno local asegurará un acceso más equitativo y oportuno un recurso importante para toda la población, especialmente para las comunidades rurales más afectadas por el aislamiento y las dificultades logísticas.

4.2.3. Fortalecimiento del Sistema de Salud

La experiencia reciente de la pandemia de COVID-19 puso de manifiesto la fragilidad de las cadenas de suministro de oxígeno a nivel global y local. Contar con una capacidad de producción de oxígeno in situ en Lago Agrio permitirá al sistema de salud de Sucumbíos responder de manera más efectiva y autónoma ante futuras crisis sanitarias, desastres naturales o cualquier situación que pueda interrumpir el suministro externo.

4.2.4. Impacto económico

La inversión en una planta de oxígeno no solo tiene un impacto directo en la salud pública, sino que también actúa como un catalizador para el desarrollo económico local. En las etapas de

construcción y montaje, se creará empleo directo e indirecto para la fuerza laboral local. Cuando esté en funcionamiento, la planta necesitara personal especializado para su gestión y conservación, generando empleos estables y cualificados. Así mismo, el acceso a oxígeno a un precio más accesible puede crear nuevas posibilidades para el crecimiento de industrias locales que emplean oxígeno en sus procesos, como la acuicultura, elaboración de alimentos, diversificando así la economía de la región.

4.2.5. Sostenibilidad y Eficiencia Operativa

La propuesta se concibe bajo un enfoque de sostenibilidad integral. El diseño de la planta considerará la eficiencia energética como un factor primordial, buscando minimizar el consumo eléctrico y explorar la integración de fuentes de energía renovable, como la solar, para reducir la huella de carbono y los costos operativos a largo plazo. Se establecerá un modelo de gestión robusto que asegure el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, garantizando la operatividad continua y la vida útil de la planta. La producción local de oxígeno también reduce los costos logísticos y ambientales asociados al transporte de cilindros desde otras ciudades, contribuyendo a una operación más eficiente y sostenible.

4.3. Estructura de la propuesta de transformación

La propuesta de transformación que se ofrece está organizada como un proyecto de diseño enfocado en establecer una planta productora de oxígeno con capacidad de 5 m³/h en el cantón Lago Agrio. El proyecto está organizado en fases que incluyen el análisis ambiental, el desarrollo del sistema técnico, la validación y la planificación de la implementación. Cada una de las etapas se apoya en los resultados de la investigación, de cara a asegurar la coherencia entre la solución planteada, los métodos empleados y la evaluación diagnóstica.

4.3.1. Fase I: Planificación y Diseño Detallado (Duración estimada: 3 meses)

La etapa de planificación y diseño minucioso es el primer paso para concretar el proyecto, pues en ella se establecen los componentes económicos, técnicos y medioambientales que aseguran la viabilidad total de la planta generadora de oxígeno. Esta etapa se organiza en actividades esenciales, cada una de las cuales está formada por tareas concretas que posibilitan su adecuada realización.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Ingeniería de Detalle	Elaboración de planos, PFD y P&ID.	- Modelado de ciclos PSA. - Definición de variables de control (P, T, Q).	Garantiza la precisión técnica y la seguridad operativa del sistema.
Estudio de Viabilidad	Análisis financiero y de costos operativos.	- Cálculo de ROI. - Comparativa de costos vs. suministro externo.	Asegura la sostenibilidad económica del modelo a largo plazo.
Evaluación Ambiental	Estudio de impacto y eficiencia.	- Auditoría energética preliminar. - Plan de gestión de residuos.	Alinea el modelo con los estándares internacionales de sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Fase II: Adquisición de Equipos y Construcción de Infraestructura (Duración estimada: 6 meses)

El propósito de esta etapa es concretar el diseño técnico que se ha definido antes, a través de la compra de los equipos y la edificación de las instalaciones requeridas para establecer la planta. Si se ejecuta correctamente, se asegura que lo proyectado en el diseño sea implementado físicamente.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Gestión de Suministros	Licitación y compra de equipos críticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de tamices moleculares (zeolitas). - Evaluación de compresores de alta eficiencia. 	La calidad del adsorbente determina directamente la pureza del oxígeno producido.
Desarrollo de Obra Civil	Preparación de áreas y redes de soporte.	<ul style="list-style-type: none"> - Cimentación de equipos dinámicos. - Instalación de redes de aire y potencia. 	Una base sólida previene vibraciones que afectan la vida útil de los equipos.
Control de Calidad	Verificación de especificaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Auditoría de certificaciones (ISO/CE). - Inspección de materiales en sitio. 	Garantiza que los componentes instalados coincidan con el diseño original.

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Fase III: Instalación, Puesta en Marcha y Capacitación (Duración estimada: 3 meses)

El objetivo de esta etapa es integrar los equipos en un sistema operativo, comprobar que funcionan correctamente y preparar al personal a cargo de su funcionamiento.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Ensamblaje e Integración	Montaje y conexión de subsistemas.	<ul style="list-style-type: none"> - Interconexión de tanques de almacenamiento. - Calibración de instrumentación de control. 	El correcto ajuste de los lazos de control asegura la estabilidad del ciclo PSA.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Pruebas de Desempeño	Validación de pureza y caudal.	- Ensayos de estanqueidad. - Monitoreo de pureza (93% ± 3%).	Verifica que el sistema cumple con las normas internacionales de oxígeno medicinal.
Formación de Personal	Capacitación técnica y de seguridad.	- Entrenamiento en protocolos de emergencia. - Taller de mantenimiento preventivo.	El factor humano es crítico para la resiliencia y continuidad del modelo.

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Fase IV: Operación y Monitoreo Continuo (Fase Permanente)

Esta fase está vinculada con el funcionamiento continuo de la planta, asegurando su eficacia y preservación, además que se respeten las regulaciones de seguridad y calidad.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Producción y Logística	Generación y distribución de oxígeno.	- Gestión de llenado de cilindros. - Control de inventario crítico.	Garantiza la disponibilidad inmediata del recurso ante picos de demanda.
Mantenimiento Predictivo	Supervisión técnica del sistema.	- Análisis de tendencias de presión. - Reemplazo programado de filtros.	Evita paradas no planificadas que comprometan el suministro sanitario.

Actividad	Tareas	Acciones	Justificación Científica
Gestión de Seguridad	Monitoreo de riesgos y ambiente.	- Seguimiento de impacto ambiental. - Simulacros de seguridad industrial.	Asegura un entorno de trabajo seguro y el cumplimiento normativo.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Valoración/ evaluación / validación de la propuesta de transformación.

4.4.1. Valoración de la propuesta

El objetivo de evaluar la propuesta de transformación es establecer su relevancia, viabilidad y consistencia con respecto al problema detectado y a los resultados que se lograron durante el proceso de investigación. En esta línea, la evaluación no se restringe a los elementos técnicos del diseño, sino que tiene en cuenta la viabilidad completa de la propuesta como solución implementada en el sistema de salud provincial de Sucumbíos.

Para ello la propuesta se valida a través de revisión de expertos. Estos expertos se seleccionan en función de su experiencia en campos como los sistemas de generación de gases medicinales, la ingeniería industrial, la gestión de proyectos y la salud pública. Permite evaluar la calidad técnica del diseño, su viabilidad práctica y el cumplimiento de los requisitos especificados.

Las fases que incluye el proceso de valoración por expertos son las siguientes:

1. Elección de expertos:

Se considerará un grupo de especialistas con experiencia comprobada en la gestión de infraestructura de salud, el funcionamiento de instalaciones de gases medicinales y el diseño de sistemas industriales.

2. Desarrollo del instrumento evaluativo:

Se creará una ficha de validación que incluya criterios como: relevancia de la propuesta, viabilidad técnica, viabilidad económica, impacto social, sostenibilidad ambiental y coherencia metodológica.

3. Implementación de la herramienta:

Los expertos llevarán a cabo una valoración de la propuesta empleando una escala de valoración (por ejemplo: muy apropiado, adecuado, poco adecuado) y comentarios cualitativos.

4. Evaluación de los resultados:

Se realizará un examen de las evaluaciones efectuadas, con el propósito de identificar los grados de aceptación, similitudes y sugerencias para optimizar.

5. Modificación de la propuesta (si es necesario):

Se podrán incluir sugerencias que fortalezcan la propuesta, según los resultados obtenidos.

Este procedimiento posibilitará la validación de la propuesta desde un punto de vista externo y especializado, asegurando su aplicabilidad, relevancia y robustez técnica. Si esta validación no se ha implementado todavía, se establece el proceso metodológico para su futura aplicación como parte de la mejora del proyecto.

4.4.2. Evaluación de la efectividad de la propuesta

La propuesta de transformación se evalúa para determinar qué tan eficaz sería su puesta en marcha en la resolución del problema identificado, que tiene que ver con la escasez de oxígeno medicinal en la provincia de Sucumbíos. En esta línea, la evaluación no se enfoca en los componentes técnicos individuales, sino en el efecto global del proyecto en su contexto real. Los resultados de la etapa de diagnóstico mostraron una gran dependencia de los proveedores externos, así como restricciones en lo que respecta a la continuidad del suministro de oxígeno. La puesta en marcha de una planta productora de oxígeno de 5 m³/h, en concordancia con esto, posibilitaría asegurar un suministro constante y a tiempo, disminuyendo así los plazos de respuesta y los peligros vinculados con la falta del insumo.

Técnicamente, se ha demostrado que la propuesta es eficaz para cumplir con los requisitos de pureza, producción y presión para aplicaciones médicas. Los requisitos se han validado

mediante simulaciones y análisis de diseño, lo que garantiza el funcionamiento seguro y eficiente del sistema en condiciones reales. La propuesta resulta económicamente ventajosa, ya que reduce los costes de compra y transporte de oxígeno desde otras ubicaciones.

Desde el punto de vista social, la puesta en marcha del proyecto contribuirá en gran medida a mejorar la atención sanitaria, a aumentar la capacidad de respuesta ante emergencias y a reducir la vulnerabilidad de la población. Desde un punto de vista operativo, la propuesta permite desarrollar un sistema de producción autosuficiente, fortaleciendo así la resiliencia del sistema de salud ante perturbaciones externas en la zona.

4.4.3. Validación de la propuesta de transformación

El proceso de validación de la propuesta de transformación se entiende como un procedimiento que tiene como objetivo comprobar su pertinencia, viabilidad y coherencia en relación con el problema detectado y los resultados logrados en la investigación. En este sentido, la validación se enfoca en el análisis desde afuera de la propuesta como solución aplicable a una situación real, no en describir el diseño. Para validar la propuesta, se propone aplicar el criterio de expertos que hayan sido elegidos según su experiencia en campos como gestión de proyectos en el sector salud, diseño de sistemas para producir gases médicos e ingeniería industrial.

Las fases de validación se organizan como sigue:

1. Selección de expertos: Expertos con experiencia demostrada en el campo correspondiente ya que se tienen en cuenta su formación académica, su experiencia laboral y su trabajo en proyectos similares.

2. Desarrollo de la validación: Se elaborará un formulario de evaluación teniendo en cuenta la pertinencia de la propuesta, la viabilidad técnica y económica, el impacto social y la sostenibilidad ambiental.

3. Instrumento aplicador: Los expertos valoran la propuesta y la puntúan con valoración cualitativa de su viabilidad.

4. Evaluación de los resultados: Se estudiaron los niveles de aceptación, el grado de acuerdo y las recomendaciones en cuestión.

5. Ajuste y comentarios: La propuesta podría ajustarse de acuerdo con los resultados, a fin de elevar su calidad y aplicabilidad.

Si este proceso no se llevó a cabo durante la investigación, queda definido el método para su aplicación futura, como parte de la mejora del proyecto.

En el capítulo actual se elaboró la propuesta de transformación enfocada en el diseño de una planta generadora de oxígeno con capacidad de 5 m³/h para el cantón Lago Agrio, basada en los resultados alcanzados durante la investigación. En este contexto, el establecimiento de la propuesta dio cuenta de la conveniencia de poner en marcha una solución técnica específica, fundamentada en la tecnología PSA (adsorción por cambio de presión), para hacer frente a las restricciones detectadas en cuanto al suministro de oxígeno en la zona.

La propuesta se organizó en etapas lógicas y secuenciales, con acciones, tareas y actividades que garantizan la viabilidad de su implementación. La entidad fomentó una relación lógica entre la identificación del problema, el diseño técnico del sistema y su implementación en los aspectos operativos. Esto demuestra que se trata de un proyecto práctico.

Por otro lado, la propuesta fue valorada y evaluada para examinar su posible eficacia desde un enfoque integral que toma en cuenta los aspectos económicos, sociales, ambientales y técnicos. En este escenario, quedó demostrado que la propuesta no solamente es factible, sino que también representa una opción sostenible para robustecer el sistema de salud local, disminuyendo así la dependencia de proveedores externos y optimizando la capacidad de respuesta frente a circunstancias críticas. Por tanto, los hallazgos presentados en este capítulo indican que la propuesta de diseño tiene consistencia en términos metodológicos, es sólida desde el punto de vista técnico y es pertinente en cuanto al contexto, lo cual representa una contribución importante para resolver el problema detectado y para el progreso del entorno donde se encuentra.

CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio fue la creación de una planta generadora de oxígeno con capacidad de 5 m³/h para Lago Agrio, un cantón en la provincia de Sucumbíos, a fin de dar solución al problema detectado en el suministro de este insumo fundamental. Se incorporaron teorías, análisis contextuales, modelado técnico y una propuesta de cambio a lo largo de los capítulos variados, lo que facilitó la consecución de las metas propuestas y la producción de contribuciones significativas para resolver el problema en el contexto analizado.

Conclusión del objetivo general

El objetivo general era el desarrollo de una planta de generación de oxígeno mediante la tecnología PSA, definiendo las especificaciones técnicas, operativas y estructurales. El diseño propuesto satisface la necesidad de región para un suministro continuo de oxígeno y garantiza la viabilidad técnica, económica y operativa, contribuyendo así directamente a la solución del problema.

Conclusiones por objetivos específicos

Primer objetivo específico (Diagnóstico del problema)

En lo que respecta al diagnóstico del problema, se observó una fuerte dependencia de proveedores externos para proveer oxígeno medicinal, además de restricciones en la continuidad del servicio, particularmente cuando la demanda es elevada. El Capítulo I contribuyó en gran medida a establecer la necesidad de una solución local al presentar este resultado.

Segundo objetivo (Justificación teórica)

En lo que respecta a la fundamentación teórica, se encontraron los principios y tecnologías que pueden utilizarse para producir oxígeno. La adsorción por cambio de presión (PSA) se destacó como la opción más apropiada para el escenario analizado. El Capítulo II contribuyó a este análisis, que permitió fundamentar la propuesta desde un punto de vista técnico.

Tercer objetivo (Simulación y diseño técnico)

En cuanto al diseño técnico, se elaboraron los elementos funcionales y estructurales de la planta, que fueron creados y confirmados utilizando instrumentos informáticos. Los resultados de la simulación mostraron que el sistema satisface los parámetros de operación necesarios, lo que asegura su seguridad y funcionalidad. Esta es la contribución principal del Capítulo III.

Conclusión integradora

Finalmente, los resultados de la presente muestran que el proyecto propuesto es una alternativa viable, holística y relevante, capaz de incrementar en forma sustancial la investigación de oxígeno en Sucumbíos. El presente trabajo aporta una solución técnica eficiente y una metodología extrapolable a proyectos similares, contribuyendo así al desarrollo de la comunidad y al fortalecimiento del sistema de salud.

RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista metodológico, se sugiere que investigaciones futuras amplíen el análisis a través de la utilización de metodologías más sofisticadas de simulación y optimización de procesos, lo que facilitará la comparación de la efectividad del diseño existente con nuevas tecnologías emergentes. Además, se propone implementar la metodología utilizada en esta investigación para el análisis y diseño de plantas dedicadas a otros gases industriales o en diversas localidades del país, lo que ayudará a verificar su flexibilidad y confiabilidad. También es muy importante realizar las pruebas o mediciones de calidad de aire cuando el clima sea favorable ya que la humedad puede variar las lecturas.

Desde el punto de vista académico, y social se anima a las universidades, gobiernos y centros de investigación a seguir explorando las tecnologías relacionadas con la generación de oxígeno, las energías limpias y los sistemas de almacenamiento. Así mismo, resulta apropiado promover proyectos que integren a estudiantes, docentes y comunidades locales, con el propósito de fortalecer la educación académica, estrechar lazos de trabajo y ofrecer soluciones concretas a los desafíos que enfrenta la región amazónica.

Desde el punto de vista práctico, se aconseja a las autoridades locales y a los organismos relevantes tomar en cuenta la realización del diseño de la planta de oxígeno propuesto en este trabajo ya que los resultados van verificados y validados por un software, conforme a normas de seguridad y calidad. También se recomienda llevar a cabo un estudio de mercado más exhaustivo para establecer estrategias de precios que sean accesibles y sostenibles, creando alianzas estratégicas con hospitales, municipios y organizaciones comunitarias que aseguren una distribución equitativa del oxígeno a las poblaciones más vulnerables. Finalmente se aconseja fomentar la utilización de energías renovables en el funcionamiento de la planta para ayudar a enfrentar el cambio climático y preservar el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA:

- Assistant, M. (2022). Oxígeno medicinal: ¿qué es y qué aplicaciones tiene? *Medical Assistant*.
<https://ma.com.pe/oxigeno-medicinal-que-es-y-que-aplicaciones-tiene>
- Bernal, C. (2006). *Metodología de la Investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación.
- Cerrada, P. (2017). *Diseño y análisis de una planta de separación de aire*.
https://oa.upm.es/cgi/oai2?verb=GetRecord&metadataPrefix=oai_dc&identifier=oai:oa.upm.es:48874
- Das, R. (2023). A novel mini pressure swing adsorption plant for oxygen concentration. *Doctoral dissertation, Jaharrar Nehru Centre for Advanced Scientific Researc*.
<https://libjncir.jncasr.ac.in/xmlui/handle/123456789/3346>
- Hancock, J. (2022). *Una breve historia del oxígeno*. <https://www.mdpi.com/2673-9801/2/1/4>
- Minnuogas. (2025). La historia del desarrollo de los concentradores de oxígeno médico. - Minnuo.
<https://minnuogas.com/es/La-historia-del-desarrollo-de-los-concentradores-de-ox%C3%ADgeno-m%C3%A9dico/>
- OMS. (2020). *Oxygen sources and distribution for COVID-19 treatment centres: Interim guidance*. WHO. Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2020). *Technical specifications for pressure swing adsorption (PSA) oxygen plants*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2021). *Oxygen for respiratory care (International Pharmacopoeia revision, June 2021)*. Organziación Mundial de la Salud.
- Pan, Y., Wang, Q., y Li, J. (2022). Performance analysis and optimization of a small-scale pressure swing adsorption oxygen generation system. . *Separation and Purification Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120845>

- Towler, G., y Sinnott, R. (2021). *Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design (3rd ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- UTEC. (2025). *Oxígeno medicinal e industrial: la gran demanda ante el COVID-19* | UTEC Universidad de Ingeniería y Tecnología.
- Vanderburg, S., Lipnick, M., y Neighbour, R. (2024). Overview of oxygen sources. *Open Critical Care*. https://opencriticalcare-org.translate.google.com/encyclopedia/overview-of-oxygen-sources/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Villegas, M. (2022). Aire medicinal y oxígeno medicinal ¿En qué se diferencian? *Messer*. <https://www.messer-co.com/blog/healthcare/aire-medicinal-y-oxigeno-medicinal-en-que-se-diferencian/>
- Zhang, Y., Zhao, Q., y Li, Y. (2023). Comparative performance of industrial-scale oxygen pressure swing adsorption and vacuum pressure swing adsorption medical oxygen production systems at high altitude. *Adsorption*. <https://doi.org/10.1007/s10450-023-00391-1>
- Zhou, X., Li, J., y Wang, Y. (2022). A review of numerical research on the pressure swing adsorption process. *Processes*. <https://doi.org/10.3390/pr10050812>

ANEXOS

Anexo 1. Capacitación para la realización de encuestas



Anexo 2. Realización de encuestas



Anexo 3. Charla para la realización de la matriz QFD



Anexo 4. Charla para la realización de la matriz QFD



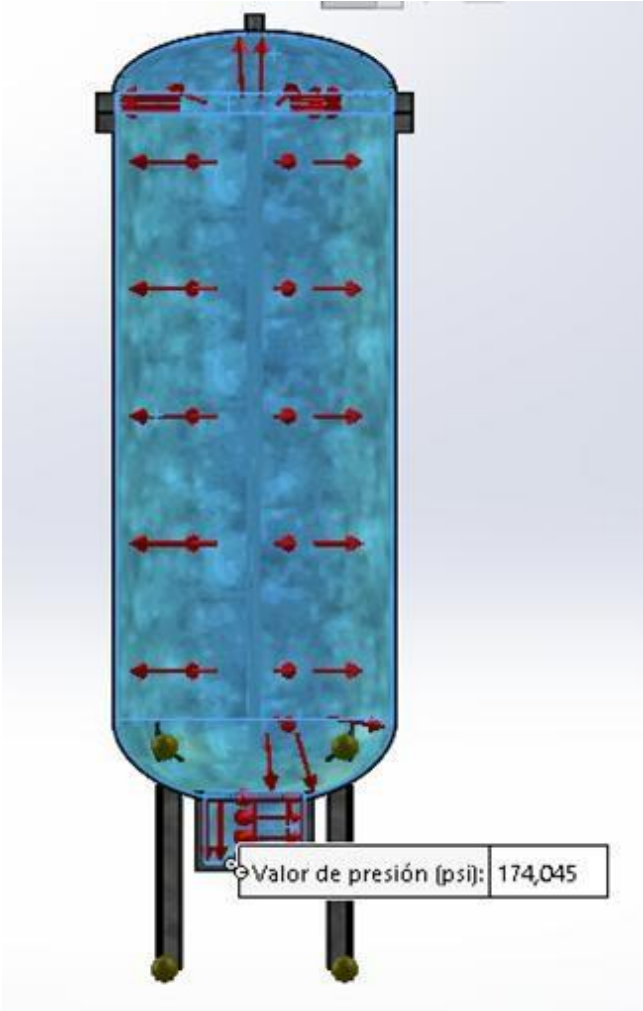
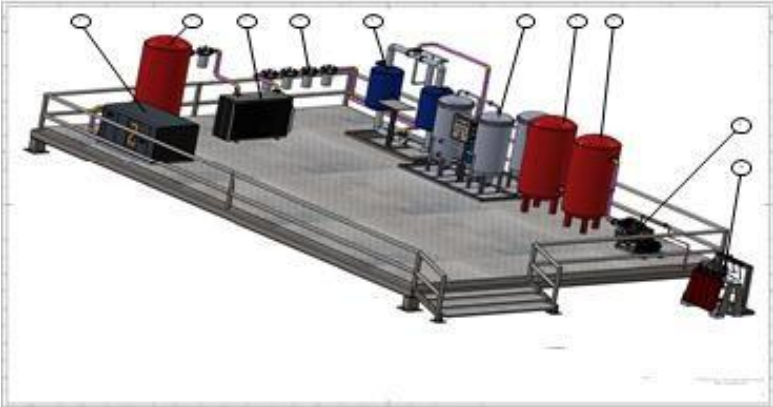
Anexo 5. Toma de datos en campo

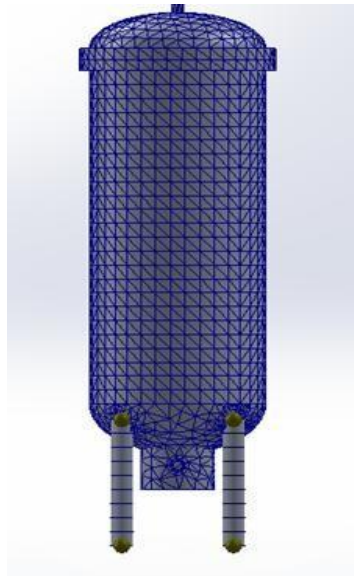


Anexo 6. Toma de datos en la localidad



Anexo 7. Presión interna en el estudio del tanque principal





Mallado del tanque para el estudio

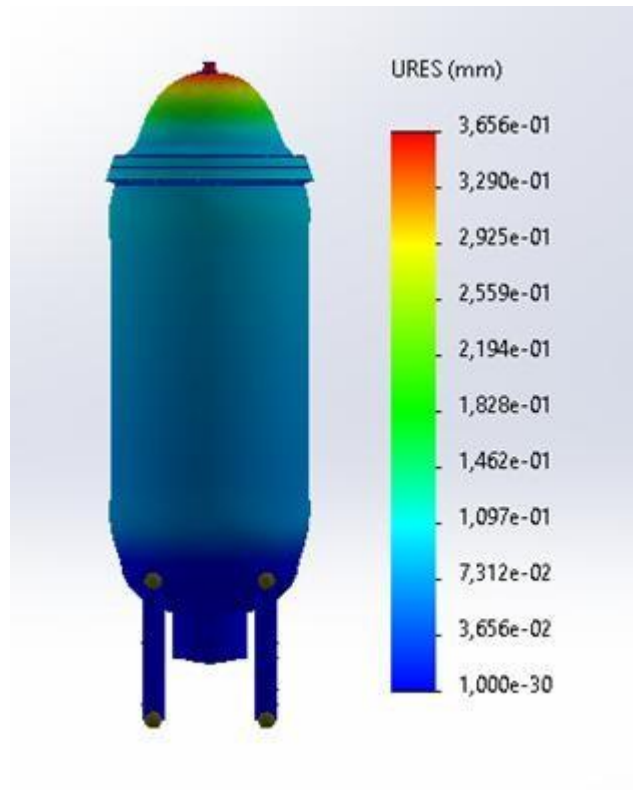
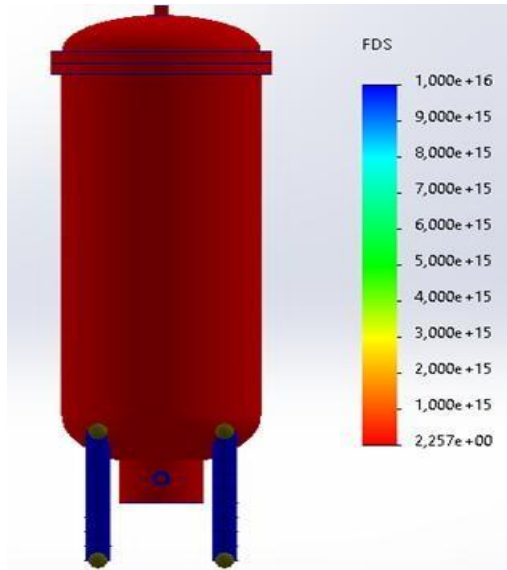
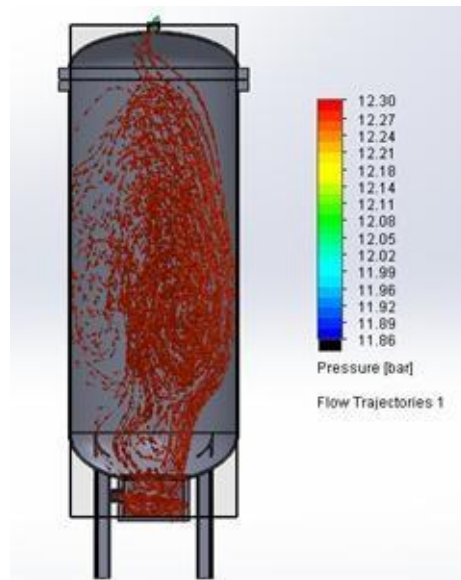


Figura 15. Resultado del desplazamiento del tanque a una presión de 12 bares, desplazamiento máximo de 0.36mm



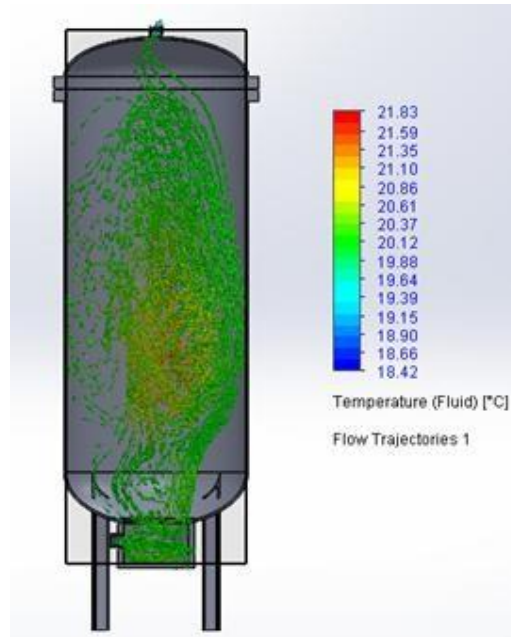
Estudio de factor de seguridad del tanque a una presión de 12 bares, FS=2.3

Por último, realizamos el estudio de flujo en el tanque el cual tenemos lo siguiente



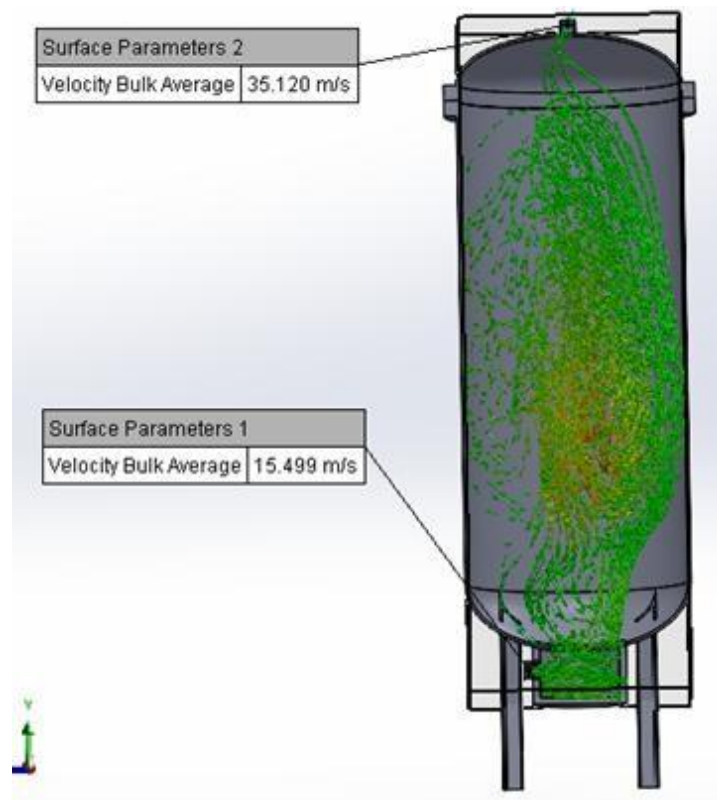
Estudio de flujo a una presión de 12 bares

Se observa el comportamiento del oxígeno a la máxima presión y como vemos esta es la interacción dentro del tanque.

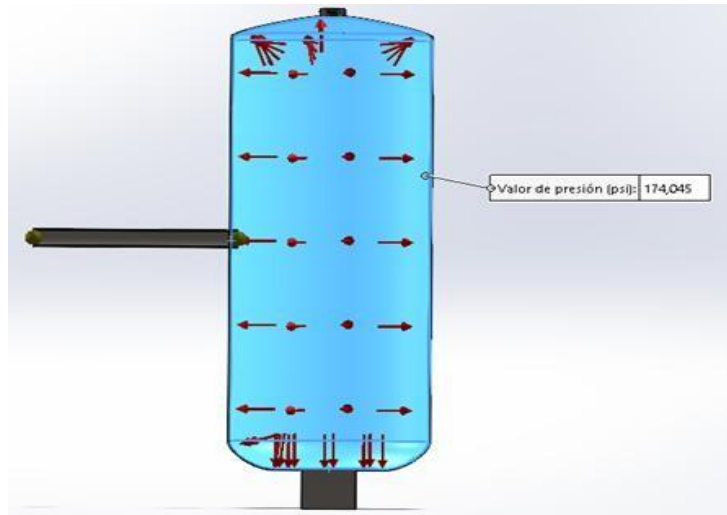


Trayectoria del sistema y medición de temperatura del fluido

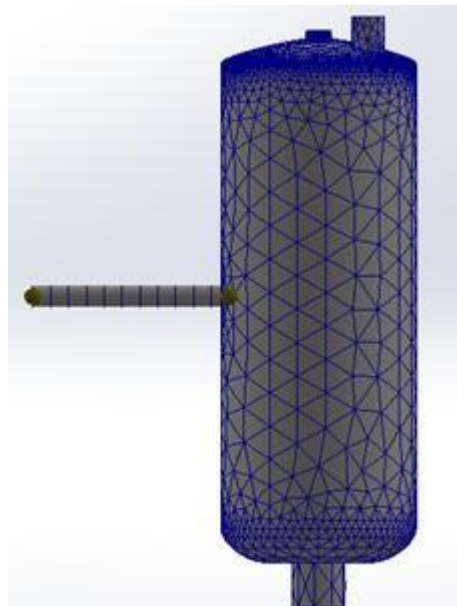
Y observamos la temperatura del fluido en este caso del oxígeno dentro del tanque a la presión de 12 bares.



Velocidad de entrada del fluido de 15.49m/s, velocidad de salida del fluido de 35.12m/s

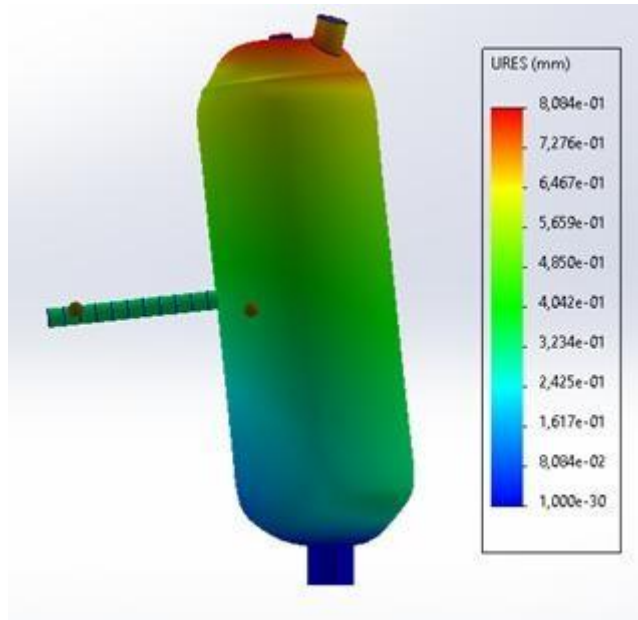


Presión interna en el estudio del tanque secundario

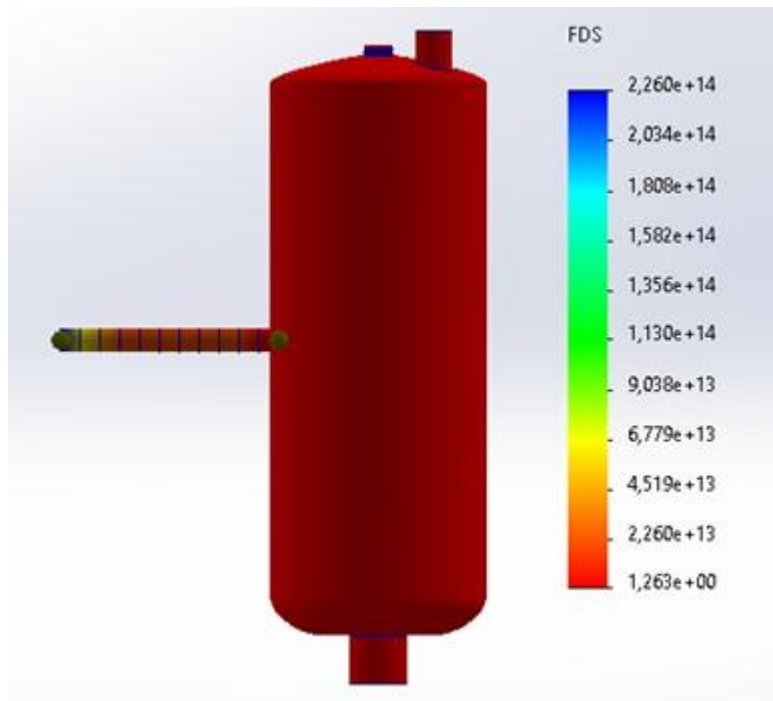


Mallado del tanque secundario

El desplazamiento generado con esa presión



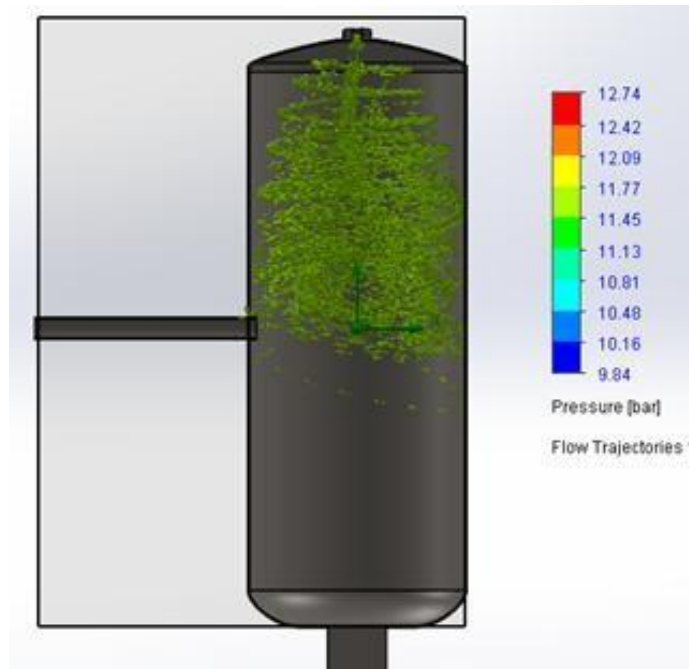
Resultado del desplazamiento del tanque a una presión de 12 bares, desplazamiento máximo de 0.808 mm



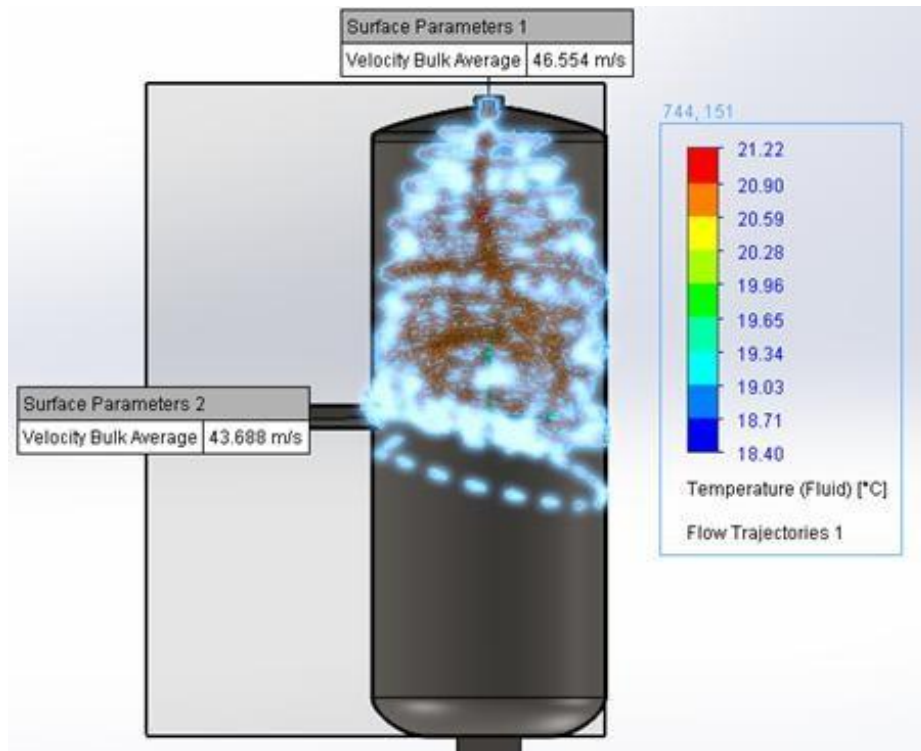
Resultado de factor de seguridad, FS=1.26

El factor de seguridad de 1.26 proporciona un margen adicional para asegurar que el tanque no falle bajo condiciones normales de operación, considerando posibles variaciones en la presión, defectos en el material, o errores en el diseño.

Por último, realizamos el estudio de flujo en el tanque el cual tenemos lo siguiente



Estudio de flujo del sistema a una presión de 12 bares



Velocidad de entrada del fluido 43.58m/s, velocidad de salida del fluido 46.55m/s