



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

ELÉCTRICA

**Sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de la unidad de
nitrógeno para inertización de la refinería Talara**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Alban Reto, Jair Adolfo (orcid.org/0000-0002-1686-6234)

Sandoval Chuica, Cinthia Maribel (orcid.org/0000-0003-3312-7289)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de los Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, la salud y estar siempre delante de mí, a Él le debo todo lo que tengo y todo lo que soy.

A mis padres por su apoyo incondicional, me han enseñado a desafiar retos y alcanzar mis metas, a diario son el empuje para salir adelante.

Cinthia Maribel Sandoval Chuica

Esta tesis va dedicada para Dios, mi padre, a mi madre quien no está físicamente presente, sus enseñanzas siguen guiándome día a día, a mi esposa e hijos, quienes me han apoyado para poder llegar a estas instancias de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y psicológicamente.

Jair Adolfo Albán Reto

Agradecimiento

A Dios por haberme permitido llegar hasta esta etapa y por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Cinthia Maribel Sandoval Chuica

En primer lugar, le agradezco por brindarme salud para seguir adelante y poder concluir mis estudios.

A mis padres esposa e hijos que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas ante cualquier circunstancia.

También agradecer a mi tutor por su dedicación y paciencia, por su guía y consejos para llegar a esta instancia tan anhelada,

A mis docentes por haber brindado los conocimientos necesarios y haber sido parte de mi camino universitario.

Agradecer a mis compañeros por las horas compartidas y los trabajos realizados en conjunto.

Por último, agradecer a la universidad por permitir adquirir los conocimientos brindados por los docentes y poder concluir con mi carrera universitaria

Jair Adolfo Albán Reto

Declaratoria de autenticidad del asesor



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de la unidad de Nitrógeno para Inertización de la Refinería Talara.", cuyos autores son ALBAN RETO JAIR ADOLFO, SANDOVAL CHUICA CINTHIA MARIBEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 08 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 08-12- 2023 07:01:56

Código documento Trilce: TRI - 0688488

Declaratoria de originalidad de los autores



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, ALBAN RETO JAIR ADOLFO, SANDOVAL CHUICA CINTHIA MARIBEL estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de la unidad de Nitrógeno para Inertización de la Refinería Talara.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
ALBAN RETO JAIR ADOLFO DNI: 48535142 ORCID: 0000-0002-1686-6234	Firmado electrónicamente por: JAALBANA el 08-12- 2023 15:28:36
SANDOVAL CHUICA CINTHIA MARIBEL DNI: 72761735 ORCID: 0000-0003-3312-7289	Firmado electrónicamente por: CSANDOVALC el 08- 12-2023 15:17:21

Código documento Trilce: INV - 1438264

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Declaratoria de autenticidad del asesor.....	iii
Declaratoria de originalidad de los autores	iv
Índice de contenidos	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de gráficos y figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	8
3.2. Variables y operacionalización	9
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	9
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	9
3.5. Procedimientos.....	10
3.6. Método de análisis de datos.....	10
3.7. Aspectos éticos	10
IV. RESULTADOS.....	11
V. DISCUSIÓN	19
VI. CONCLUSIONES.....	21
VII. RECOMENDACIONES	22
REFERENCIAS.....	23
ANEXOS.....	25

Índice de tablas

Tabla 1 Cantidad de oxígeno en gas en el proceso.....	11
Tabla 2 Composición el gas rico en oxígeno.....	11
Tabla 3 Parámetros de diseño.....	12
Tabla 4 Especificaciones de diseño del sistema.....	12
Tabla 5 Presupuesto de implementación	18

Índice de gráficos y figuras

Figura 1 Esquema de diseño de investigación.....	8
Figura 2 Diagrama de proceso de adsorción para el sistema.....	13
Figura 3 Modelado del sistema en Simulink	16
Figura 4 Modelado dinámico del sistema de adsorción	17
Figura 5 Gráfica de concentración del oxígeno en función del tiempo.....	17

Resumen

La presente investigación consistió en el diseño de un sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de los sistemas de inertización para poder obtener gas de uso comercial o medicinal para el consumo. Para ello se empezó con el análisis de las propiedades del gas que se origina del sistema inertización donde se encontró que el flujo es de 5759 Nm³/h del cual sólo el 34.28 % es de oxígeno aprovechable. El diseño y selección del sistema de adsorción por presión se originó con las especificaciones de diseño dado en el primer estudio y toma de datos. Se seleccionó el compresor para acoplarse a la salida del NIS y los demás equipos que consisten en la preparación del gas rico en oxígeno. Finalmente, se realizó un análisis de costo beneficio donde se obtuvo la rentabilidad del proyecto.

Palabras clave: Adsorción, nis, oxígeno.

Abstract

The present investigation consisted of the design of a system for using oxygen-rich gas from inerting systems to obtain gas for commercial or medicinal use for consumption. To do this, we began with the analysis of the properties of the gas that originates from the inerting system where it was found that the flow is 5759 Nm³/h of which only 34.28% is usable oxygen. The design and selection of the pressure adsorption system originated with the design specifications given in the first study and data collection. The compressor was selected to be coupled to the outlet of the NIS and the other equipment that consists of the preparation of the oxygen-rich gas. Finally, a cost-benefit analysis was carried out where the profitability of the project was obtained.

Keywords: Adsorption, nis, oxygen.

I. INTRODUCCIÓN

El oxígeno es un elemento esencial para la vida, tanto humana como animal. Es necesario para la respiración, la fotosíntesis y la descomposición de la materia orgánica (Buchanan y Tagliabue 2021).

En los últimos años, el mundo se ha enfrentado a una creciente problemática de la falta de oxígeno (Chaudhary, Kujur y Singh 2023). Esta problemática se debe a una serie de factores, entre los que se incluyen el cambio climático que está provocando el aumento de la temperatura de la Tierra, lo que está afectando a la concentración de oxígeno en los océanos, la contaminación que está reduciendo la cantidad de oxígeno disponible en el aire y en el agua y la sobrepoblación que está aumentando la demanda de oxígeno, lo que está poniendo a prueba los recursos naturales (Qin et al. 2020).

La industria utiliza grandes cantidades de oxígeno para una variedad de procesos, como la producción de acero, la fabricación de productos químicos y la purificación de agua (Craig Weidensaul 2022).

En muchos casos, la industria produce oxígeno residual como subproducto de sus procesos. Este oxígeno residual puede ser reutilizado para otros fines, como la inertización de zonas peligrosas o la producción de productos químicos (Jaiswal, Borage y Shelotkar 2020).

Algunos ejemplos de cómo la industria puede reutilizar sus oxígenos residuales: Inertizar zonas peligrosas, en el que el oxígeno residual se puede utilizar para reducir el riesgo de incendios y explosiones en zonas peligrosas, Producir productos químicos en el cual el oxígeno residual se puede utilizar para producir una variedad de productos químicos, como el amoníaco y el cloro y finalmente purificar agua: el oxígeno residual se puede utilizar para purificar el agua, eliminando contaminantes como el hierro y el manganeso (Liu y Speranza 2021).

Los sistemas de inertización de nitrógeno son sistemas de seguridad que utilizan nitrógeno para reducir el contenido de oxígeno en una zona determinada. Esto se hace para prevenir incendios, explosiones o la oxidación de materiales (Roper 2008).

El nitrógeno es un gas inerte, lo que significa que no es combustible ni oxidante. Por lo tanto, si el contenido de oxígeno en una zona se reduce lo suficiente, no se podrá producir una combustión (Gualtieri *et al.* 2012).

Los sistemas de inertización de nitrógeno se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo: Industria química y petroquímica: para prevenir incendios y explosiones en tanques de almacenamiento, procesos químicos y tuberías (Kondaveeti *et al.* 2023). Industria farmacéutica: para proteger los medicamentos de la oxidación. Industria alimentaria: para proteger los alimentos de la oxidación y la contaminación (Wu, Lv y Zhao 2020). Industria electrónica: para proteger los componentes electrónicos de la oxidación (Kiebach *et al.* 2022).

Por lo anterior mencionado se plantea el siguiente problema, ¿Cómo implementar un sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de la unidad Nis de la refinería Talara? y a su vez las preguntas específicas: ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas del gas?, ¿Cuáles son las especificaciones de diseño de ingeniería del sistema?, ¿Cuáles son los componentes que conforman el sistema?, y ¿Cuál es el costo del sistema?

La investigación sobre el sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno de la unidad de nitrógeno para inertización se basa en sólidos fundamentos teóricos. La inertización es un proceso crítico en diversas industrias, como la química y la petrolera, donde se busca prevenir la combustión de materiales inflamables mediante la eliminación del oxígeno presente en el ambiente. La utilización de gas rico en oxígeno proveniente de la unidad de nitrógeno presenta un potencial considerable para mejorar la eficiencia y la seguridad de este proceso.

Desde el punto de vista técnico, el sistema de aprovechamiento propuesto implica la implementación de tecnologías avanzadas para la extracción, purificación y aplicación del gas rico en oxígeno. Se requerirá la adaptación de la unidad de nitrógeno para garantizar la obtención de un gas con concentraciones óptimas de oxígeno para la inertización. Además, será necesario desarrollar sistemas de control y monitoreo precisos para asegurar la eficacia y la seguridad del proceso.

Desde una perspectiva económica, la investigación busca evaluar la viabilidad financiera de la implementación del sistema propuesto. Se analizarán los costos asociados con la modificación de la unidad de nitrógeno, la instalación de equipos adicionales y la operación continua del sistema de aprovechamiento. Al mismo tiempo, se evaluarán los beneficios económicos derivados de la mejora en la eficiencia operativa, la reducción de riesgos de seguridad y la posible optimización de los recursos.

Desde el punto de vista medioambiental, la investigación aborda la importancia de reducir el impacto ambiental asociado con los procesos industriales. La inertización con gases

inertes, como el nitrógeno, es esencial para prevenir accidentes graves, pero el desarrollo de sistemas más eficientes y sostenibles puede contribuir a la minimización de residuos y emisiones. La investigación se centrará en evaluar el impacto ambiental del sistema propuesto, considerando aspectos como la reducción de consumo de recursos, la minimización de subproductos y la optimización de la eficiencia energética. La implementación exitosa de este sistema no solo mejoraría la seguridad industrial, sino que también promovería prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el ámbito industrial.

El objetivo general del proyecto es diseñar un sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno del sistema de inertización por nitrógeno (Nitrogen inertisation system, NIS) de la refinería Talara. Para llegar a este objetivo general se ha planteado los siguientes objetivos específicos: Determinar las propiedades físicas y químicas del gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara; dimensionar el sistema de aprovechamiento de gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara; simular el proceso de aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara y elaborar el presupuesto para la implementación de sistema y aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara.

La formulación de la hipótesis para el problema planteada obtenemos que el sistema de aprovechamiento de gas rico en oxígeno utilizando la metodología de diseño y las especificaciones de diseño dadas por los usuarios.

Por lo descrito, esta investigación se centra en determinar la configuración óptima de cada uno de los componentes que formarían el sistema de aprovechamiento de oxígeno, así como la ingeniería de detalle para su puesta a punto.

II. MARCO TEÓRICO

Se inició la revisión de artículos relacionados con las variables de estudio en revistas indexadas de las bases de datos científicas. En primer lugar, tenemos el artículo de Qiao *et al.* (2022) quien presenta el sistema de gestión de combustión espontánea ampliamente utilizado en Australia y presenta modelos de dinámica de fluidos computacional para la simulación de la dinámica del flujo de gas en el área de Goaf, basados en las condiciones del sitio de una mina de carbón subterránea donde el gas de la veta de carbón está compuesto predominantemente de dióxido de carbono. Los modelos se validaron con datos de monitoreo de gas y se utilizaron para realizar

estudios paramétricos para la optimización proactiva de la inertización de Goaf. El análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados de la simulación indicó que se podía lograr una mejor inertización del Goaf cuando se inyectaba nitrógeno a través de un corte a 250 m en el lado de la compuerta principal y mediante perforaciones de superficie a 100 m y 700 m en el lado de la compuerta trasera con un caudal de inyección total superior a 1750 l/s. La concentración de oxígeno en el lado de la compuerta principal y trasera cayó por debajo del 5% a distancias de 120 m y 75 m detrás del frente del tajo largo, con un área de zona de oxidación de 35375 m², que fue aproximadamente un tercio del área de la zona de oxidación del escenario sin inyección de gas inerte. Los resultados de la simulación ayudan a darnos datos sobre la mejora de las prácticas actuales de inertización para reducir eficazmente el riesgo de calentamiento en áreas de cabras y mejorar la seguridad del proceso minero según las condiciones y prácticas australianas.

Después tenemos la investigación de Verbeelen *et al.* (2021) quienes desarrollaron estrategias alternativas como tecnologías de base biológica llamadas sistemas de soporte vital bioregenerativos. Estos sistemas tienen como objetivo combinar procesos biológicos y fisicoquímicos, que permiten la producción in situ de agua, oxígeno y alimentos (a través de la recuperación altamente eficiente de minerales de flujos de desechos). Por lo tanto, se minimiza la necesidad de consumibles externos. Una de las iniciativas BLSS es el Sistema Alternativo de Soporte de Vida Microecológico (MELiSSA) de la Agencia Espacial Europea (ESA). Ha sido diseñado como un sistema de bioingeniería de cinco compartimentos capaz de producir alimentos frescos y oxígeno y reciclar agua. Como tal, podría satisfacer las necesidades de una tripulación humana para misiones de exploración espacial a largo plazo. Un requisito previo para la autosuficiencia de MELiSSA es la recuperación altamente eficiente de minerales valiosos de los flujos de residuos. Los nutrientes producidos se pueden utilizar como fertilizante para la producción de alimentos. En esta revisión, analizamos la necesidad de pasar del ECLSS a un BLSS, proporcionamos un resumen de los programas BLSS pasados y actuales y sus enfoques únicos para la recuperación de nitrógeno y el procesamiento de flujos de desechos de orina. Además, se revisa en profundidad el compartimento III del circuito MELiSSA, responsable de la recuperación de nitrógeno. Finalmente, se consideran las demostraciones terrestres y espaciales pasadas, actuales y futuras relacionadas y los desafíos relacionados con el espacio para esta tecnología.

A continuación, tenemos a Szakács *et al* (2022) donde evaluaron pilas de combustible microbianas que despliegan membranas heterogéneas de intercambio iónico. El comportamiento de las células en función de la membrana aplicada se evaluó en términos de densidad de corriente máxima, eficiencia de recuperación de electrones y tasa de producción de energía (hasta 427,5 mA, 47,7 % y 660 J m⁻²h⁻¹, respectivamente) en diferentes sustratos. (acetato) (2,15 – 8,6 mM). El rendimiento del sistema se caracterizó a la luz de cruces de oxígeno y acetato. Se investigó el efecto de las membranas (en relación con el coeficiente de transferencia de masa de oxígeno (kO) sobre la diversidad microbiana de biopelículas anódicas y de superficie de membrana. Según la abundancia relativa de órdenes bacterianos, las dos poblaciones podrían distinguirse y las membranas con mayor kO tendieron a promover más microbios tolerantes al aire en la capa de bioincrustación. Esto indica que el kO de la membrana tiene un efecto directo sobre la composición microbiana incrustante de la membrana y, por lo tanto, sobre la estabilidad temporal esperada de la membrana.

Además se analizó el artículo de Luberti y Ahn (2021) quienes idearon sistemas de adsorción por cambio de presión para concentrar argón a partir de una mezcla binaria de oxígeno y argón (O₂:Ar = 95:5 mol%) que una unidad industrial de adsorción por cambio de presión (Vacuum Swing Adsorption, VSA) produce a partir del aire. Los procesos de adsorción impulsados cinéticamente investigados en este estudio contienen un paso de autopurga y hasta dos pasos de equalización de presión de doble extremo. Se simularon tres configuraciones de ciclo de adsorción, cada una de las cuales tiene uno, dos y tres lechos. Los efectos de los rangos de presión del ciclo de adsorción, ya sea adsorción por cambio de presión (PSA, 1 a 3 bar) o adsorción por cambio de vacío (VSA, 0,1 a 1 bar), así como el tiempo del paso de adsorción, se evaluaron exhaustivamente con respecto a la siguiente separación. Indicadores clave de rendimiento (KPI): pureza del argón, recuperación de argón, productividad del lecho y consumo energético específico. Resultó que la pureza y recuperación del argón se podían mejorar significativamente en los ciclos VSA a expensas de la productividad del lecho y el consumo de energía. La unidad VSA única no podía concentrar argón hasta una pureza superior al 98 % que normalmente se requiere para ciertas aplicaciones como la producción de acero y la soldadura con gas inerte. Así, se añadió una segunda unidad VSA para aumentar aún más la pureza del argón y se descubrió que el sistema VSA integrado de dos etapas es capaz de lograr los siguientes rendimientos generales: pureza de argón del 98,1%, recuperación de argón del 20,3%,

productividad del lecho de $0,011 \text{ molAr kgads}^{-1}\text{h}^{-1}$ y consumo energético específico de $53,2 \text{ MJ kgAr}^{-1}$. Teniendo en cuenta las eficiencias reales de la turbomaquinaria, el consumo de energía de la unidad VSA propuesta resultó un 75% mayor que el de un sistema de destilación criogénica independiente convencional diseñado para lograr la misma separación. Sin embargo, se espera que la tecnología VSA sea una opción más atractiva que el proceso criogénico en términos de CAPEX.

La investigación de Ligen *et al.* (2020) nos mostró como principal objetivo el analizar la ingeniería e implementación de técnicas de eliminación en un electrolizador alcalino comercial de 50 kW. El sistema completo se caracterizó con diversas técnicas analíticas, incluidas la cromatografía de gases y la espectrometría de masas. Se logró una reducción de niveles de contaminantes compatible con la norma ISO 14687:2019. Desde el arranque en frío, se requieren 100 minutos de funcionamiento para alcanzar los niveles de nitrógeno deseados. El oxígeno se eliminó en un solo paso con un convertidor catalítico. El secado del hidrógeno se logró mediante el uso de un innovador sistema de adsorción por cambio de presión asistido por vacío. Se obtienen niveles de agua inferiores a ppm con un consumo de energía de sólo $0,5 \text{ kWh/kg H}_2$ y una recuperación del 98,4% del producto.

Finalmente tenemos el artículo de Zhu y Wang (2020) quienes propusieron un proceso RCPSA de lecho múltiple con válvula rotativa para mejorar el rendimiento del concentrador de oxígeno en miniatura. El sistema de separación de aire RCPSA está altamente integrado por cuatro lechos adsorbentes y una válvula rotativa. Los efectos de los parámetros del proceso sobre el rendimiento del sistema RCPSA se llevaron a cabo mediante experimentos. Los resultados mostraron que el sistema podía producir 1 L min^{-1} de $\sim 92\% \text{ O}_2$ con $\sim 30\%$ de recuperación de oxígeno y $\sim 78 \text{ kg} \cdot \text{TPD}^{-1}$ de factor de tamaño de lecho (BSF) a partir de aire comprimido a una baja relación de presión de adsorción y desorción ($\sim 250:101\text{kPa}$). El BSF mínimo con un tiempo de ciclo óptimo de $\sim 5 \text{ s}$ es una fuerte disminución con el aumento de la relación de presión. Sin embargo, se destaca una tendencia inversa entre BSF y potencia unitaria en diferentes relaciones de presión.

Con respecto a la fundamentación teórica de cada una de las variables del análisis en la investigación.

Los sistemas de inertización de nitrógeno están formados por una fuente de nitrógeno que puede ser un generador de nitrógeno, un cilindro de nitrógeno o una combinación de ambos,

también contiene un sistema de distribución que transporta el nitrógeno a la zona que se va a inertizar y un sistema de control que regula el flujo de nitrógeno y detecta posibles fugas.

Los dos tipos principales de sistemas de inertización de nitrógeno son los sistemas de inertización pasiva los cuales funcionan de forma continua, manteniendo un nivel de nitrógeno constante en la zona que se va a inertizar y los sistemas de inertización activas los cuales se activan solo cuando es necesario, por ejemplo, en caso de fuga de oxígeno.

Los sistemas de inertización de nitrógeno ofrecen una serie de ventajas, como es la eficacia en la prevención de incendios y explosiones, protección de materiales de la oxidación, reducción de costes de mantenimiento y la mejora de la seguridad de los trabajadores.

Los sistemas de recuperación de oxígeno son sistemas que permiten reutilizar el oxígeno extraído de los sistemas de inertización de nitrógeno. Estos sistemas pueden ayudar a reducir el coste y el impacto medioambiental de los sistemas de inertización.

Los sistemas de recuperación de oxígeno utilizan un proceso de separación para separar el oxígeno del nitrógeno y otros gases. Este proceso puede ser físico o químico.

Los procesos físicos de separación utilizan las propiedades físicas de los gases para separarlos. Los procesos físicos más comunes son: Separación por membrana, donde las membranas permiten el paso de ciertos gases, mientras que bloquean el paso de otros. Separación por adsorción, que es un proceso mediante el cual una sustancia se adhiere a la superficie de otra sustancia.

Los sistemas de recuperación de oxígeno ofrecen una serie de ventajas, entre las que se incluyen reducir el coste de los sistemas de inertización, en lo que los sistemas de recuperación de oxígeno pueden ayudar a reducir el coste de los sistemas de inertización, que permiten reutilizar el oxígeno extraído y reducen el impacto medioambiental donde los sistemas de aprovechamiento de oxígeno pueden ayudar a reducir el impacto medioambiental de los sistemas de inertización, puesto que evitan la extracción de nitrógeno del aire.

Los sistemas de recuperación de oxígeno también presentan una serie de desventajas, entre las que se incluyen: Coste, dado que los sistemas de aprovechamiento de oxígeno pueden ser costosos, tanto en su instalación como en su mantenimiento, los sistemas de aprovechamiento de oxígeno no son 100% eficientes, ya que siempre hay una pequeña cantidad de oxígeno que se pierde en el proceso de separación.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

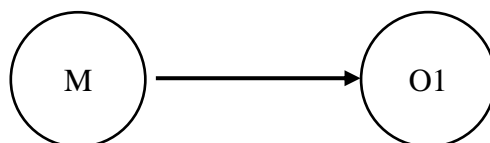
Tipo de investigación

Según la finalidad, la investigación es tipo aplicada porque busca la solución de un problema a través de la aplicación de los conocimientos adquiridos en un desarrollo teórico Coelho (2020). Además, se considerará un enfoque cuantitativo debido a que el análisis de la información será numérico con datos que se obtendrán del análisis Vásquez (2020).

Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que se manipularán las variables de flujo de gas rico en oxígeno para obtener las distintas componentes de nuestro diseño; es transversal ya que solo se medirá la variable en un solo instante de tiempo. Por su alcance es descriptivo, debido a que busca en explicar las características de la muestra a trabajar. (Hernández Mendoza y Samperio Monroy 2018)

Figura 1 Esquema de diseño de investigación



Donde:

M: Sistema NIS de la refinería.

O1: Sistema de aprovechamiento de oxígeno.

3.2. Variables y operacionalización

Variable: Sistema de aprovechamiento de oxígeno

Los sistemas de aprovechamiento de oxígeno son sistemas que permiten reutilizar el oxígeno extraído de los sistemas de inertización de nitrógeno (Yatabe *et al.* 2014).

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

La población de nuestra investigación consiste en el Sistema NIS de la refinería

- **Criterios de inclusión:**

Solo serán considerados los Sistema Nis operativos.

- **Criterios de exclusión:** No existe.

Muestra: Sistema Nis de la refinería.

Unidad de análisis: Sistema Nis de la refinería de Talara.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

La investigación consiste la recolección de información a través del análisis documental para la obtención de las propiedades del gas, para ello se analizó cada uno de los registros de uso del sistema de inertización donde se obtienen los valores de flujo y de composición.

Después se ha usado la encuesta para obtener la opinión del operario para corroborar que los valores que se visualizan en las hojas de datos son los correctos y que el consumo de oxígeno se puede emplear en la planta. Además, se obtuvo las características de oxígeno industrial que es necesario para el uso de la planta.

Instrumentos de recolección de datos

En primer lugar, se usó una ficha de registro donde se ingresarán los datos de cada una de las propiedades del gas. En segundo lugar, se elaboró un cuestionario de opción abierta con 05 preguntas sobre el uso del oxígeno.

3.5. Procedimientos

- El estudio comenzó con el levantamiento de información en campo de cada una de las propiedades del gas y parámetros de funcionamiento, para este caso se tomó muestras del registro del gas rico en oxígeno y se realizó una entrevista con el área encargada del Nis.
- En la segunda etapa, correspondiente al desarrollo del proyecto, se procedió con el manejo de la data obtenida para poder realizar las especificaciones de diseño de ingeniería. Se realizó una comprobación por medio del software Simulink para corroborar el rendimiento del sistema, así como el modelado de cada uno de los componentes.
- En la tercera etapa se realizó una predicción de los gastos que conllevaría la implementación, se calculará el VAN para ver la viabilidad del proyecto y el TIR para ver en qué tiempo se recuperaría la inversión.

3.6. Método de análisis de datos

La data que se ha obtenido con las fichas de registro y la encuesta fu procesada utilizando el software Microsoft Excel para poder obtener los valores de flujos.

En la etapa del diseño se ha realizado los cálculos en una hoja de cálculo Excel y añadido en el software Simulink para poder corroborar la performance del proceso de adsorción.

Finalmente para el análisis económico se utilizó el software Microsoft Excel para facilitar el cálculo de cada uno de los valores.

3.7. Aspectos éticos

La investigación contempla las buenas prácticas de ética en la investigación donde todos los antecedentes han sido citados según Norma ISO. También se ha respetado la normativa vigente de la Universidad César Vallejo para el desarrollo del Proyecto. Los porcentajes de similitud no son mayores al 20% con los filtros necesarios.

IV. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Determinar las propiedades físicas y químicas del gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara.

El registro de los datos de la Tabla 1, fueron obtenidos de la recolección de documentos de los sistemas de inertización, por lo que se revisó el historial de los tres primeros meses del año para poder obtener un promedio mensual.

Tabla 1 Cantidad de oxígeno en gas en el proceso

Indicadores	Ene-2023	Feb-2023	Mar-2023	Abr-2023	May-2023	Jun-2023
Cantidad de oxígeno recuperado (Sm³/h)	6088	6090	6089	6088	6089	6088
Cantidad de oxígeno total (Sm³/h)	10350	10350	10350	10350	10350	10350

Interpretación

En la Tabla 1 podemos visualizar que la cantidad de oxígeno que podemos recuperar es de promedio 6088 SN/m³

Dentro de los registros, también se obtuvo el porcentaje de cada uno los químicos que componen el gas de salida del sistema de inertización según se visualiza en la Tabla 2.

Tabla 2 Composición el gas rico en oxígeno

Componente	Composición
N₂	64.21%
Ar	1.51%
O₂	34.28%

Interpretación

En la Tabla 02, el 34.28% es oxígeno puro que puede ser reutilizado.

Objetivo específico 2: Dimensionar el sistema de aprovechamiento de gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara.

Para la realización del diseño se inició con la obtención de los parámetros de diseño que fueron obtenidos de la encuesta realizado a los operarios, con ello se obtuvo cada uno de los datos de la Tabla 3.

Tabla 3 Parámetros de diseño

PARÁMETRO	DETALLE	VALOR
Flujo de trabajo	Flujo de gas obtenido desde el Nis	6088 SN/m³
Humedad relativa interior	Porcentaje de moléculas de agua dentro de las moléculas de aire	87%
Temperatura de bulbo seco	Temperatura que se mide	21 ° C

Interpretación

En la Tabla 3 podemos ver que los únicos datos que tenemos son los parámetros del ambiente ya que con ellos vamos a empezar a generar el proceso de separación.

Adicionalmente se formularon las especificaciones de diseño de ingeniería para poder satisfacer las necesidades del cliente, en este caso la empresa.

Tabla 4 Especificaciones de diseño del sistema

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE OXÍGENO		
Ítem	Condiciones de diseño	Opcional o requerimiento
Función	Obtener el 2070 SN/m ³	R
Energía	Utilizar energía eléctrica proporcionada en planta	R
Ensamblaje y mantenimiento	De fácil montaje y mantenimiento	O
Dimensión	No mayor a 10 m ² de área	O
Movilidad	Debe ser estático.	O
Costo	Acorde al mercado nacional	O

Interpretación

En la Tabla 4 podemos visualizar que el sistema debe obtener un total de 2070 SN/m³ el cual equivale al 34% del gas recuperado y debe ser alimentado con energía eléctrica, con un fácil mantenimiento y que no sea desplazable.

Considerando las tablas 3 y 4 se empezó a realizar el diseño del sistema de aprovechamiento de gas, se utilizará el método de adsorción por cambio de presión debido a que es muy utilizado para la obtención del nitrógeno y del oxígeno, cuyo proceso se especifica en el siguiente diagrama de flujo:

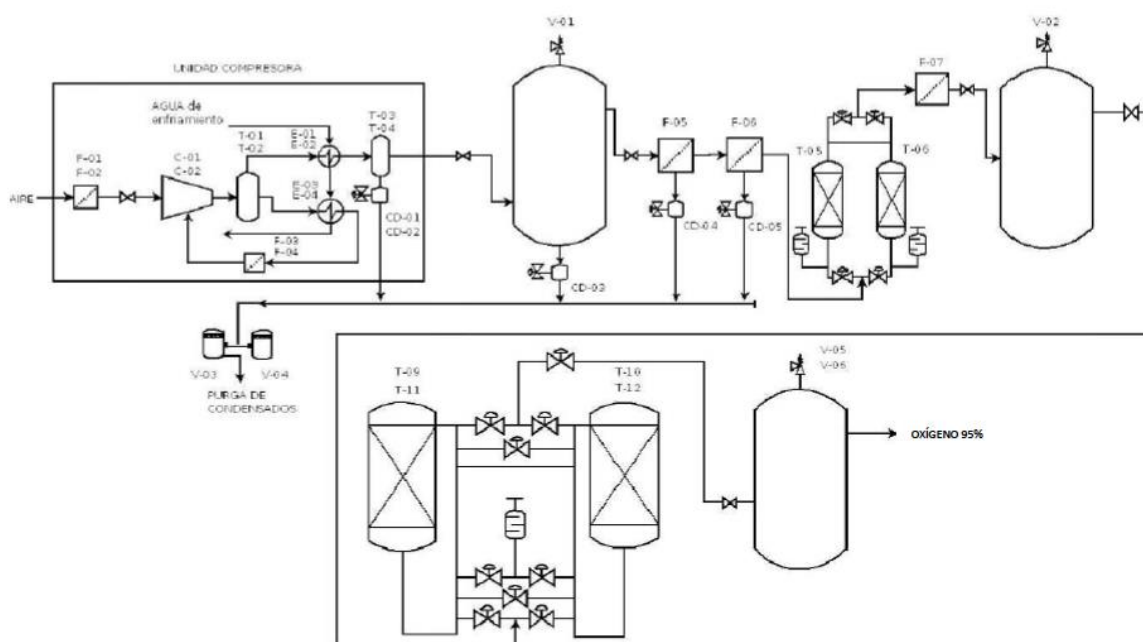


Figura 2 Diagrama de proceso de adsorción para el sistema

Se realizará con la selección de cada uno de los componentes que se visualizan en el diagrama

1. Compresor

Con los datos de caudal de trabajo de 5759 Nm³/h y presión de trabajo 1.35 kg/cm² (132.39 kPa) se busca la selección del compresor, por lo que se utilizará la ecuación de los gases ideales para obtener el flujo real de trabajo.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{101.3 \times 5759}{273.15} = \frac{132.39 \times V_2}{293.15}$$

$$V_2 = 4729.2 \frac{m^3}{h} = 78.82 \frac{m^3}{min}$$

Entonces los datos de selección son:

Caudal: 78.82 m³/min

Presión: 132.39 kPa

Por lo que se seleccionó un Compresore de aire ZR 500 - 10.4– Atlas Copco, cuyo caudal de trabajo es 1347 l/s = 5905 Nm³/h y cuya presión eficiente es de 9 bar.

2. Tanque de estabilización de aire húmedo

Para la selección del tanque se utilizará los datos de salida del compresor:

$$Q = 80.8 \frac{m^3}{min} \times 35.315 \frac{ft^3}{m^3} = 2853.452 \frac{ft^3}{min}$$

$$P_a = 1 atm = 14.7 psia$$

$$P_1 = 900 kPa \times \frac{17.4 psia}{101.3 kPa} = 154.59 psia$$

Entonces:

$$V = \frac{Q \times P_a}{P_1 + P_a} = \frac{2853.452 \times 14.7}{154.59 + 14.7} = 247.77 ft^3 \times \frac{1 m^3}{35.315 ft^3} = 7.01 m^3$$

Para seleccionar la presión de trabajo se utilizará un factor de seguridad con respecto a la presión máxima del compresor (P_{máx})

$$P > 1.2 \times P_{max} = 1.2 \times 10.4$$

$$P > 12.48 \text{ bar}$$

Con el dato de volumen y de presión se procedió a seleccionar el tanque de aire comprimido HTA de 8000 litros.

3. Sistema de purga para condensado

Para la selección del sistema de purga se utilizará el caudal del compresor por lo que se seleccionó el purgador electrónico EWD 1500. Para ello se utilizó la ficha técnica del proveedor.

4. Sistemas de separación de aguay aceite

Para el sistema se utiliza el mismo caudal de trabajo de salida del compresor por lo que se selecciona el separador OCS 1250 de Atlas Copco.

5. Sistema de secado por adsorción

Se utiliza el caudal de referencia con un factor de 1.22, que es considerado a criterio del diseñador.

$$Q_{ref} = 80.8 \frac{m^3}{min} \times 1.22 = 98.58 \frac{m^3}{min}$$

Con este caudal se selecciona el secador por adsorción CD 1400 + de Atlas Copco.

6. Sistema de generación de oxígeno

Para la selección del generador del oxígeno se tiene que hallar el oxígeno esperado.

$$O_2 \text{ esperado} = Q \text{ aire comprimido} \times 21 \% v \times \text{rendimiento}$$

$$O_2 \text{ esperado} = 80.8 \times 0.21 \times 0.8 = 13.57 \frac{m^3}{min} = 477 \text{ scfm}$$

Sin embargo, para Atlas Copco el generador más grande solo brinda 119 scfm por lo que se tendrá que colocar un total de 4 generadores.

Objetivo específico 3: Simular el proceso de aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara.

Para nuestro análisis se realizará un modelo matemático en Simulink para poder simular el proceso de adsorción, con lo que se utilizó los fenómenos de adsorción y las fórmulas de transferencia de masa.

En este caso, se analizará la concentración de oxígeno en función del tiempo, el cual a través de la Figura 3, podremos obtener la solución de la ecuación diferencial.

$$\frac{dq}{dt} = k \left(\frac{KPY}{RT} - q \right)$$

Donde:

q: Concentración de oxígeno.

T: Temperatura.

R: Constante de los gases ideales.

k: coeficiente de transferencia de masa total.

K: constante de isoterma de Henry.

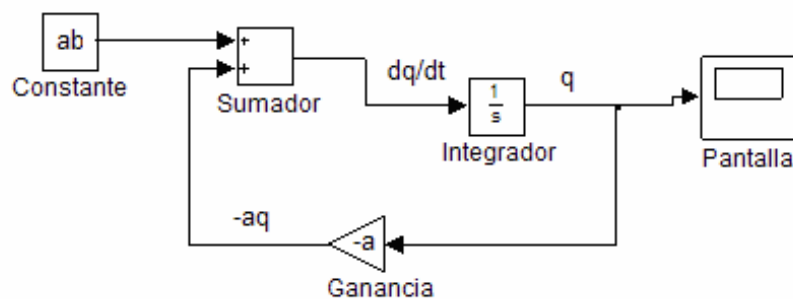


Figura 3 Modelado del sistema en Simulink

Además, se realizó un diagrama para analizar el factor de corrección de la ecuación diferencial parcial incluyendo la función el cual fue desarrollado con la Figura 4.

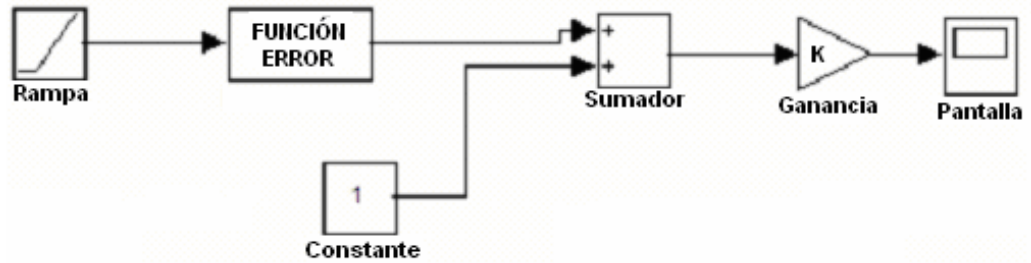


Figura 4 Modelado dinámico del sistema de adsorción

Por ello se obtuvo del análisis del Simulink se obtuvo la gráfica de la figura 5, donde podemos observar el tiempo en el cual se llega al porcentaje total de concentración de oxígeno.

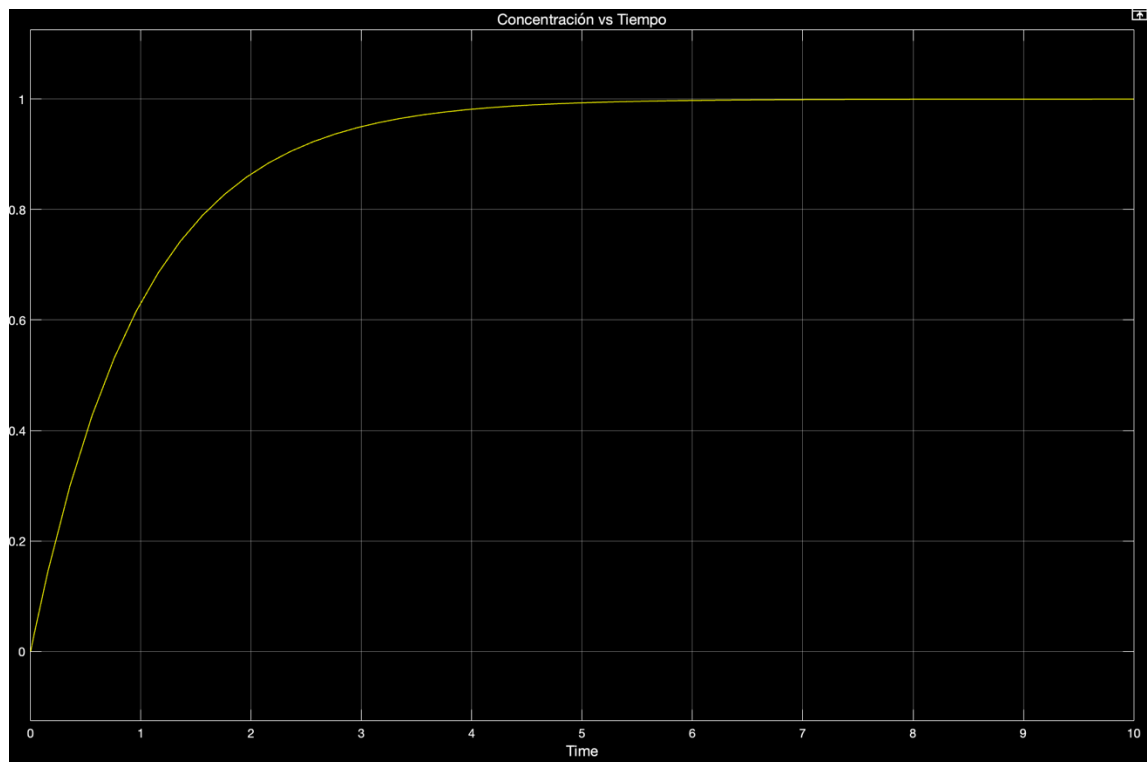


Figura 5 Gráfica de concentración del oxígeno en función del tiempo

Objetivo específico 4: Elaborar el presupuesto para la implementación de sistema y aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara.

Tabla 5 Presupuesto de implementación

Equipo	Cantidad	C. U.	Sub total
Compresor	1.00	S/ 926,660.00	S/ 926,660.00
Depósito aire comprimido 8.000 L	2.00	S/ 59,072.00	S/ 118,144.00
Purgador de condensados	2.00	S/ 3,120.00	S/ 6,240.00
Separador agua y aceite	1.00	S/ 9,624.00	S/ 9,624.00
Secador por adsorción	1.00	S/ 342,120.00	S/ 342,120.00
Generador de oxígeno PSA	4.00	S/ 54,000.00	S/ 216,000.00
TOTAL			S/ 1,618,788.00

Finalmente se realizó el análisis de del retorno de la inversión:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto} - \text{inversión}}{\text{inversión}}$$

Para el beneficio neto, se considero un total de S/. 1300 por m³ , y con una valor de 73 m³/min

$$ROI = \frac{5,694,000 - 1,618,788}{1,618,788}$$

$$ROI = 200\%$$

V. DISCUSIÓN

Objetivo específico 1: Determinar las propiedades físicas y químicas del gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara.

Al analizar las propiedades físicas y químicas del gas residual de la unidad NIS, se obtuvieron un flujo de 6088 SN/m³ y con los porcentajes de oxígeno y de nitrógeno necesarios. Para su obtención se realizó las pruebas en campo con el análisis documental de los registros tomados por cada uno de los caudalímetros y manómetros de los sistemas de tuberías. Además, se solicitaron los datos de los ensayos químicos que se realizaron al gas rico en oxígeno. Sin embargo, (Huang et al. 2020) en su artículo instalaron sensores de etanol para facilitar en conjunto a un sensor de nanocompuestos la detección de las propiedades de los gases. Estos datos fueron de suma importancia para poder corroborar los parámetros de diseño de

Objetivo específico 2: Dimensionar el sistema de aprovechamiento de gas residual de la unidad NIS de la refinería Talara.

En nuestra investigación se utilizó la metodología de la norma VDI 2221 para la selección de las especificaciones de diseño del equipo de obtención de oxígeno, para el que se priorizó el caudal de trabajo para aprovechar el máximo de capacidad del Nis. Luego se realizó la priorización de cada uno de los parámetros de diseño para diferenciarlos de requerimientos y deseos. El diseño se basó en la tecnología de adsorción de gases para hacerlo netamente mecánico, debido a que la tecnología de membranas es más complicada de realizar la instalación y mantenimiento y no se encuentra un proveedor actual en el país que pueda proveer su venta y su mantenimiento.

Sin embargo, De Almeida *et al.* (2020) por el contrario utilizaron la tecnología del biocarbón, pero por motivos del alcance de la tesis se optó por un desarrollo más electromecánico y menos químico

Objetivo específico 3: Simular el proceso de aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara.

Al realizar la simulación en Simulink se pudo hacer la corroboración del funcionamiento de nuestro diseño, por el contrario (Anisuzzaman *et al.* 2016) realizaron una simulación dinámica netamente con el software Aspen que se centra en la comprobación de los componentes. La razón por la cual se utilizó el software Simulink y no Aspen fue debido a que no se posee la licencia completa de este último. Para este caso, nos servirá para poder darle un mejor sustento a nuestro diseño y darle una base física al diseño y se mas visual para los que observen la investigación.

Objetivo específico 4: Elaborar el presupuesto para la implementación de sistema y aprovechamiento de gas residual de la unidad Nis de la refinería Talara.

El presupuesto de ejecución de nuestro proyecto ronda los S/ 1,618,788.00 que a nivel desempeño no es monto muy alto comparando con los precios que se llegan a gastar en el uso de oxígeno medicinal. Además al realizar el análisis del ROI se obtuvo que es un valor positivo por lo que si se tendrán ganancias con la implementación de nuestro diseño.

VI. CONCLUSIONES

- La presente investigación determinó las propiedades físicas y químicas del gas de salida del Nis para poder utilizarlo en la obtención de oxígeno, con el cual se obtuvo un flujo de 6088 SN/m³ constituidas por porcentaje de oxígeno y nitrógeno.
- El diseño se realizó considerando la norma VDI 2221 y el uso de productos que se encuentren en el mercado nacional, por lo que se inició con el planteo de las especificaciones de diseño de ingeniería y el diseño paramétrico se basó en la selección de cada uno de los componentes.
- La simulación se llevó a cabo con modelo matemático en Simulink para poder corroborar el funcionamiento, con el cual se introdujo cada una de las variables de adsorción para poder verificar el buen funcionamiento del diseño.
- El costo del equipo será de S/. 1,618,788.00, que se puede obtener de los fondos de la empresa y el valor del ROI dará un valor positivo con lo que corrobora que se obtendrán ganancias con la implementación de nuestro diseño.

VII. RECOMENDACIONES

- La investigación debe ir contrastado con la fabricación de un prototipo a escala para poder verificar su efectividad.
- La investigación consistió únicamente en el análisis por adsorción con presión, sin embargo, se recomienda analizar el caso de una separación del oxígeno por membrana para poder realizar un análisis comparativo.
- La investigación solo asumió las condiciones dadas por la planta, sin embargo, se recomienda realizar una simulación con data real a través de sensores de concentración y flujo de gas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANISUZZAMAN, S.M., BONO, A., KRISHNAIAH, D. y TAN, Y.Z., 2016. A study on dynamic simulation of phenol adsorption in activated carbon packed bed column. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 28, no. 1, ISSN 10183639. DOI 10.1016/j.jksues.2014.01.001.
- BUCHANAN, P.J. y TAGLIABUE, A., 2021. The Regional Importance of Oxygen Demand and Supply for Historical Ocean Oxygen Trends. *Geophysical Research Letters*, vol. 48, no. 20, ISSN 19448007. DOI 10.1029/2021GL094797.
- CHAUDHARY, K.R., KUJUR, S. y SINGH, K., 2023. *Recent advances of nanotechnology in COVID 19: A critical review and future perspective*. 2023. S.l.: s.n.
- COELHO, F., 2020. Metodología de la investigación. *Significados.com*, no. September,
- CRAIG WEIDENSAUL, T., 2022. Importance of Plants in Oxygen Production, Carbon Dioxide Consumption, and Air Purification1. *HortScience*, vol. 9, no. 1, ISSN 0018-5345. DOI 10.21273/hortsci.9.1.8.
- DE ALMEIDA, L.S., ORESTE, E.Q., MACIEL, J. V., HEINEMANN, M.G. y DIAS, D., 2020. *Electrochemical devices obtained from biochar: Advances in renewable and environmentally-friendly technologies applied to analytical chemistry*. 2020. S.l.: s.n.
- GUALTIERI, A.F., VERATTI, L., TUCCI, A. y ESPOSITO, L., 2012. Recycling of the product of thermal inertization of cement-asbestos in geopolymers. *Construction and Building Materials*, vol. 31, ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.087.
- GUERRINI, A., ROMANO, G. y INDIPENDENZA, A., 2017. Energy efficiency drivers in wastewater treatment plants: A double bootstrap DEA analysis. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 9, no. 7, ISSN 20711050. DOI 10.3390/su9071126.
- HERNÁNDEZ MENDOZA, S.L. y SAMPERIO MONROY, T.I., 2018. Enfoques de la Investigación. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, vol. 7, no. 13, DOI 10.29057/icea.v7i13.3519.
- HUANG, X.Y., CHI, Z.T., LIU, J., LI, D.H., SUN, X.J., YAN, C., WANG, Y.C., LI, H., WANG, X.D. y XIE, W.F., 2020. Enhanced gas sensing performance based on p-NiS/n-In₂O₃ heterojunction nanocomposites. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 304, ISSN 09254005. DOI 10.1016/j.snb.2019.127305.
- JAISWAL, A., BORAGE, S. y SHELOTKAR, P., 2020. A clinical approach to COVID-19. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, vol. 11, no. Special Issue 1, ISSN 09757538. DOI 10.26452/ijrps.v11iSPL1.3073.
- KIEBACH, R., PIROU, S., MARTINEZ AGUILERA, L., HAUGEN, A.B., KAISER, A., HENDRIKSEN, P.V., BALAGUER, M., GARCÍA-FAYOS, J., SERRA, J.M., SCHULZE-KÜPPERS, F., CHRISTIE, M., FISCHER, L., MEULENBERG, W.A. y BAUMANN, S., 2022. A review on dual-phase oxygen transport membranes: from fundamentals to commercial deployment. *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 10, no. 5, ISSN 20507496. DOI 10.1039/d1ta07898d.
- KONDAVEETI, S., GOVINDARAJAN, D., MOHANAKRISHNA, G., THATIKAYALA, D., ABU-REESH, I.M., MIN, B., NAMBI, I.M., AL-RAOUSH, R.I. y AMINABHAVI, T.M., 2023. *Sustainable bioelectrochemical systems for bioenergy generation via waste treatment from petroleum industries*. 2023. S.l.: s.n.

- LIGEN, Y., VRUBEL, H. y GIRAULT, H., 2020. Energy efficient hydrogen drying and purification for fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 18, ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2020.02.035.
- LIU, W. y SPERANZA, G., 2021. Tuning the Oxygen Content of Reduced Graphene Oxide and Effects on Its Properties. *ACS Omega*, vol. 6, no. 9, ISSN 24701343. DOI 10.1021/acsomega.0c05578.
- LUBERTI, M. y AHN, H., 2021. Design of an industrial multi-bed (V)PSA unit for argon concentration. *Separation and Purification Technology*, vol. 261, ISSN 18733794. DOI 10.1016/j.seppur.2020.118254.
- QIAO, M., REN, T., ROBERTS, J., YANG, X., LI, Z. y WU, J., 2022. New insight into proactive goaf inertisation for spontaneous combustion management and control. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 161, ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2022.03.074.
- QIN, Z., PENG, R., BARAVIK, I.K. y LIU, X., 2020. *Fighting COVID-19: Integrated Micro- and Nanosystems for Viral Infection Diagnostics*. 2020. S.l.: s.n.
- ROPER, B., 2008. The importance of reliable inertisation and grounding of ignition sensitive powder handling systems. *42nd Loss Prevention Symposium, LPS 2008, Topical Conference at the 2008 AIChE Spring National Meeting*. S.l.: s.n.,
- SZAKÁCS, S., KOÓK, L., NEMESTÓTHY, N., BÉLAFI-BAKÓ, K. y BAKONYI, P., 2022. Studying microbial fuel cells equipped with heterogeneous ion exchange membranes: Electrochemical performance and microbial community assessment of anodic and membrane-surface biofilms. *Bioresource Technology*, vol. 360, ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2022.127628.
- VÁSQUEZ, W., 2020. Metodología de la investigación, Manual de estudiante. *Universidad San Martín de Porres*,
- VERBEELEN, T., LEYS, N., GANIGUÉ, R. y MASTROLEO, F., 2021. *Development of Nitrogen Recycling Strategies for Bioregenerative Life Support Systems in Space*. 2021. S.l.: s.n.
- WU, Q., LV, H. y ZHAO, L., 2020. *Applications of carbon nanomaterials in chiral separation*. 2020. S.l.: s.n.
- YATABE, T., KIKKAWA, M., MATSUMOTO, T., NAKAI, H., KANEKO, K. y OGO, S., 2014. A model for the water-oxidation and recovery systems of the oxygen-evolving complex. *Dalton Transactions*, vol. 43, no. 8, ISSN 14779226. DOI 10.1039/c3dt52846d.
- ZHU, X. y WANG, X., 2020. Experimental study of a rotary valve multi-bed rapid cycle pressure swing adsorption process based medical oxygen concentrator. *Adsorption*, vol. 26, no. 8, ISSN 15728757. DOI 10.1007/s10450-020-00240-5.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Operacionalización de Variables

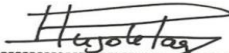
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable: Sistema de recuperación de oxígeno	Los sistemas de recuperación de oxígeno son sistemas que permiten reutilizar el oxígeno extraído de los sistemas de inertización de nitrógeno (Yatabe et al. 2014).	La variable se analizará a través de la eficiencia del sistema y la concentración de oxígeno en el fluido (Guerrini, Romano y Independencia 2017)	Eficiencia	Cantidad de oxígeno recuperado (Kg)	Razón
				Cantidad de oxígeno total (Kg)	
			Concentración de oxígeno	Volumen de oxígeno puro (m3) Volumen total del gas (m3)	Razón

Anexo 02: Ficha de registro


Indicadores	Ene-2023	Feb-2023	Mar-2023	Abr-2023	May-2023	Jun-2023
Kg de oxígeno recuperado						
Kg de oxígeno total						
Volumen de oxígeno puro						
Volumen total del gas						

Anexo 03: Matriz de evaluación por juicio de expertos



Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluación de flujos
Apellidos y nombres del experto	Peláez Chávez Víctor Hugo
Documento de identificación	47026994
Tiempo de experiencia profesional	5 años
Grado académico	Master en Ciencias e Ingeniería de Materiales
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número de teléfono	951603668
Firma y sello	 Víctor Hugo Peláez Chávez ING. MECANICO R. CIP. N° 197130
Fecha de validación	05-09-2022

Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluar los datos de flujo del gas
Apellidos y nombres del experto	Haro Castillo Albet Jhon
Documento de identificación	46430091
Tiempo de experiencia profesional	5 años
Grado académico	Master en Gestión de Proyectos
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Jefe de Proyectos
Número de teléfono	997859605
Firma y sello	
Fecha de validación	24-11-2023

Ficha para validación de instrumentos.

Nombre del instrumento	Guía de observación / Encuesta
Objetivo del instrumento	Evaluar los datos de flujo del gas
Apellidos y nombres del experto	Acosta Horna Juan Elí David
Documento de identificación	18156999
Tiempo de experiencia profesional	22 años
Grado académico	Ingeniero Mecánico
Nacionalidad	Peruano
Institución de estudios	Universidad Nacional de Trujillo
Cargo	Docente
Número de teléfono	931728539
Firma y sello	 
Fecha de validación	24-11-2023