

Diseño industrial de máquinas de blanqueo de Caolín: mejora de la eficiencia a través de optimización de la geometría y materiales

Industrial design of Kaolin bleaching machines: enhancing efficiency through optimal geometry and materials

A. Jacinto-Juárez^a, E. Rodríguez-Vigueras^a, V. E. Reyes Cruz^{id}^a, M. Pérez-Reyes^{id}^a, J. A. Cobos-Murcia^{id}^{a,*}

^a Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

Este estudio se enfoca en el complejo proceso de diseño industrial de las máquinas de blanqueo del caolín, con el objetivo de mejorar su eficiencia. Se investigaron nuevas ideas y mejoras en la geometría del aparato para lograr resultados óptimos en el proceso de blanqueo. Se demostró que la utilización de una estructura cilíndrica puede reducir los esfuerzos en la estructura, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del proceso de blanqueo del caolín. Además, se identificaron dos materiales, el Celorón y el Nylamid, como opciones para la fabricación del aparato. Se encontró que el Celorón presenta mejores condiciones técnicas de operación y una relación de costo-beneficio más favorable en comparación con el Nylamid. Aunque no se estableció un límite óptimo o versátil para alcanzar una eficiencia máxima en el proceso de blanqueo del caolín, los resultados obtenidos indican que el diseño industrial de estas máquinas es un proceso dinámico que permite mejoras continuas. Por lo tanto, este estudio puede servir como punto de partida para futuras investigaciones que busquen mejorar la eficiencia de este proceso en la industria del caolín.

Palabras Clave:

Caolín, Proceso electroquímico, Depósito electroquímico, Cátodo de disco.

Abstract

This study focuses on the intricate process of industrial design for kaolin bleaching machines with the aim of improving their efficiency. Novel ideas and geometric enhancements were investigated to achieve optimal results in the bleaching process. It was demonstrated that employing a cylindrical structure can reduce structural stress, thereby enhancing the efficiency of kaolin bleaching. Additionally, two materials, namely Celorón and Nylamid, were identified as potential options for machine fabrication. Comparative analysis revealed that Celorón offers superior technical performance and a more favorable cost-benefit ratio compared to Nylamid. Although an ultimate or versatile threshold for achieving maximum efficiency in kaolin bleaching has not been defined, the findings indicate that the industrial design of these machines is an ongoing process that allows for continuous improvements. Therefore, this study serves as a starting point for future research endeavors aimed at enhancing the efficiency of the kaolin bleaching process in the industry.

Keywords:

Kaolin, Industrial design, Kaolin bleaching, Efficiency, Geometry, Materials.

1. Introducción

El caolín es un mineral industrial también conocido como arcilla de China debido a su origen en la montaña Kao-Ling Shan en la provincia de Jiangxi, China (Schroeder, 2012). Se encuentra presente en minerales como la dickita, nacrita y halloysita, todos con la fórmula ideal común de $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. El caolín se utiliza en diversas aplicaciones, como la absorción de contaminantes en la limpieza de sitios contaminados con residuos radioactivos (Wang, H., 2011), así como en procesos industriales como cerámica, catalizadores, papel, cemento, pinturas, cosméticos,

farmacéuticos, detergentes, plásticos, vidrio, entre otros (De la Torre & Guevara, 2010).

El caolín obtenido directamente de los minerales contiene impurezas que deben ser refinadas para mejorar su blancura, pureza y características comerciales importantes (Torres et al., 2011). Uno de los procesos de refinamiento del caolín es la separación por tamaño de partícula y la sedimentación para separar las impurezas por gravedad (Siuice, 2019).

Además, el caolín puede mejorar sus propiedades mediante procesos de reducción de contaminantes en superficies de

*Autor para la correspondencia: jose_cobos@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ja319389@uaeh.edu.mx (A. Jacinto-Juárez), esau-400@hotmail.com (E. Rodríguez-Vigueras), profe_4948@uaeh.edu.mx (V. E. Reyes Cruz), mreyes@uaeh.edu.mx (M. Pérez-Reyes), jose_cobos@uaeh.edu.mx (J. A. Cobos-Murcia)

electrodos de materiales conductores, como el latón (Trujillo-Estrada et al., 2021). Estos procesos electroquímicos tienen aplicaciones potencialmente escalables y pueden sustituir a los procesos convencionales contaminantes.

Por otro lado, el método de mejora progresista es una estrategia innovadora que ha ganado importancia en el campo de los estudios de materiales y procesos. Este enfoque se basa en la búsqueda continua de mejoras y optimizaciones a lo largo del proceso de investigación, diseño y aplicación de materiales. Su relevancia radica en su capacidad para promover la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en diferentes áreas, incluyendo la refinación y mejora de minerales como el caolín. Al adoptar el método de mejora progresista, los investigadores pueden abordar de manera sistemática y holística los desafíos asociados con la calidad, la pureza y las características comerciales de los materiales, utilizando enfoques multidisciplinarios que combinan aspectos mecánicos, químicos, electroquímicos y de ingeniería. Esto permite identificar variables críticas, evaluar diferentes condiciones y optimizar los procesos para obtener resultados superiores. En el caso del caolín, la aplicación del método de mejora progresista puede brindar oportunidades significativas para mejorar la eficiencia del refinamiento, la calidad del producto final y la reducción de impactos ambientales, lo que lo convierte en un enfoque valioso y prometedor para estos estudios.

Por ello, se planteó el diseño de un dispositivo a escala de laboratorio con electrodos de disco rotativos giratorios para evaluar las variables de diseño con criterios de resistencia mecánica, funcionalidad y ventajas en el escalado industrial. Este trabajo estudiará la dinámica y cinética mecánica y electroquímica para determinar las condiciones que influyen en la limpieza del caolín. La selección del dispositivo más eficiente para un proceso electroquímico puede ser compleja debido a la variedad de reactores que se pueden modificar para encontrar las condiciones óptimas de operación (Cobos-Murcia et al., 2023). Se deben considerar variables como la concentración de disoluciones, su interacción con el electrodo, el potencial de corriente, el tiempo, la facilidad de eliminación de los depósitos y la vida útil del reactor.

2. Metodología

Para el diseño de la planta de blanqueamiento de caolín se consideraron diferentes estructuras, como se muestra en la Figura 1. Inicialmente se construyó una estructura en forma de prisma rectangular, y posteriormente se propuso analizar la viabilidad de una estructura en forma de cilindro.

Es relevante resaltar la discusión en torno a estas dos estructuras, ya que cada una tiene sus propias ventajas y consideraciones. Se llevaron a cabo análisis y evaluaciones para determinar cuál de las dos estructuras sería más adecuada y eficiente para el proceso de blanqueamiento de caolín.

La ingeniería conceptual se empleó para proponer soluciones preliminares para la planta de blanqueamiento de caolín, basándose en las condiciones de operación y los requisitos funcionales. Estas propuestas conceptuales sirvieron como referencia para determinar los factores de la estructura y asegurarse de que se ajustaran a los requerimientos de operación (Pinajota & Geovanny, 2018).

Por otro lado, se utilizó la metodología de la función de calidad para identificar las funciones que debe cumplir el dispositivo para

su correcta operación de blanqueamiento del caolín. Estas funciones incluyen imponer el potencial eléctrico al sistema desde la fuente de alimentación hasta el ánodo y cátodo, inducir movimiento rotativo al cátodo de disco, remover electroquímicamente el hierro y las impurezas del caolín para generar el blanqueado y desmontar los discos para limpiar los depósitos y continuar con el proceso.

Para cumplir con los criterios establecidos, se propusieron dos estructuras conceptuales para el diseño de la planta. Estas estructuras permitirían llevar a cabo las funciones de manera eficiente y cumplir con los siguientes requisitos: no interferir con el potencial eléctrico del ánodo y cátodos, contar con un movimiento giratorio libre de los discos catódicos, fácil acceso a los discos para su limpieza y remoción de los depósitos, y proteger los cátodos de golpes y deformaciones. En la imagen 1 se muestran las dos propuestas conceptuales de las posibles geometrías para las estructuras que protegerán los discos catódicos.

Para evaluar la resistencia estructural se empleó la teoría de Von Mises, conocida como la teoría de distorsión, muy utilizada en los programas de elemento finito (Von Mises, 1968). Tomando en cuenta los esfuerzos más importantes que se mencionan a continuación:

Esfuerzo normal:

$$\sigma_b = \frac{p}{A} \quad (1)$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau_b = \frac{V}{A} \quad (2)$$

Esfuerzo flector:

$$\sigma_M = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

Teoría de la energía de distorsión empleando los esfuerzos principales (Salinas, 2023):

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

También se puede escribir de la siguiente manera:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Ecuación de diseño de la fluencia:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (6)$$

Para analizar el costo de construcción, se utilizó la metodología del análisis de costos, considerando la cotización como una parte fundamental del presupuesto completo. Para ello, se realizó una descripción técnica de la solución de manufactura, teniendo en cuenta las fechas de entrega y las condiciones generales o específicas solicitadas por el cliente.

En el diseño industrial de las máquinas de blanqueado del caolín, se sigue un proceso complejo, relacionado con el desarrollo de nuevas ideas. En la literatura no se encuentra un análisis completo que defina un límite óptimo o versátil para lograr una eficiencia óptima, por lo que el diseño permite mejoras continuas.

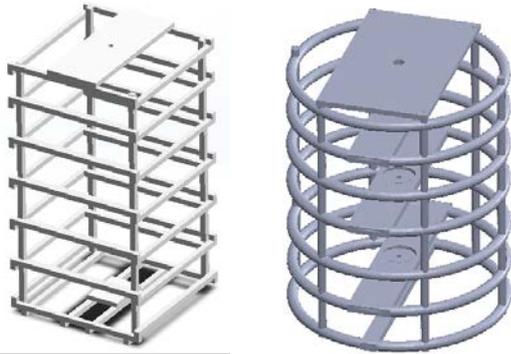


Figura 1: Estructuras soporte para el dispositivo propuestas y evaluadas.

Se evaluaron diferentes materiales para la manufactura del aparato, entre ellos el Nylamid y el Celorón. Después de un análisis técnico (Alarcón, 2023), se determinó que el celorón presentaba mejores condiciones de operación y una relación costo-beneficio más favorable.

3. Resultados y discusiones

3.1. Análisis estructura de las geometrías propuestas.

Los resultados del análisis de esfuerzos de la geometría cuadrada se presentan en la Figura 2. Se puede apreciar que la masa acumulada de los elementos para esta configuración es de 26.096 Kg, lo que resulta en un peso calculado de 256 N en la dirección vertical, como se muestra en la imagen adjunta. En cuanto a los esfuerzos, se observa un valor máximo de 10.7 MPa en la estructura.

En lo que respecta al análisis estructural de la geometría cilíndrica, se presentan los resultados detallados en la Figura 3. Se observa que esta configuración en particular exhibe una masa acumulada de 43.2 kg para los elementos correspondientes al segundo concepto propuesto. Esto se traduce en un peso calculado de 423.7 N en la dirección vertical, como se muestra claramente en la imagen adjunta.

Además de la masa y el peso calculado, es crucial analizar los esfuerzos generados en la estructura. En el caso de la geometría cilíndrica, se identifica un esfuerzo máximo de 1.83 MPa. Este valor es fundamental para evaluar la resistencia y la capacidad de carga del diseño propuesto.

Al comparar los resultados obtenidos para las geometrías cuadrada y cilíndrica, se puede observar una diferencia significativa tanto en la masa acumulada como en los esfuerzos generados. La geometría cuadrada muestra una masa acumulada de 26.096 kg y un esfuerzo máximo de 10.7 MPa, mientras que la geometría cilíndrica presenta una masa acumulada de 43.2 kg y un esfuerzo máximo de 1.83 MPa. Estos resultados sugieren que la geometría cilíndrica puede ofrecer una mayor eficiencia en términos de masa y esfuerzos estructurales.

Es importante destacar que la selección de la geometría adecuada para el diseño del dispositivo de blanqueamiento de caolín debe considerar no solo la eficiencia en términos de masa y esfuerzos, sino también otros factores como la funcionalidad, la facilidad de acceso para la limpieza y el mantenimiento, y la

capacidad de escalamiento industrial. Estos aspectos deben ser evaluados en conjunto para tomar una decisión informada sobre la geometría óptima que cumpla con los requisitos del proceso de blanqueamiento del caolín.

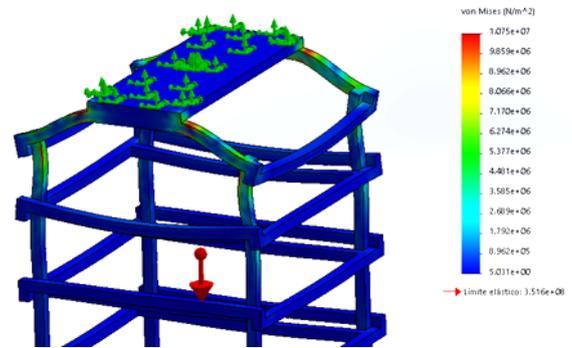


Figura 2. Análisis estructura de esfuerzos de la geometría cuadrada.

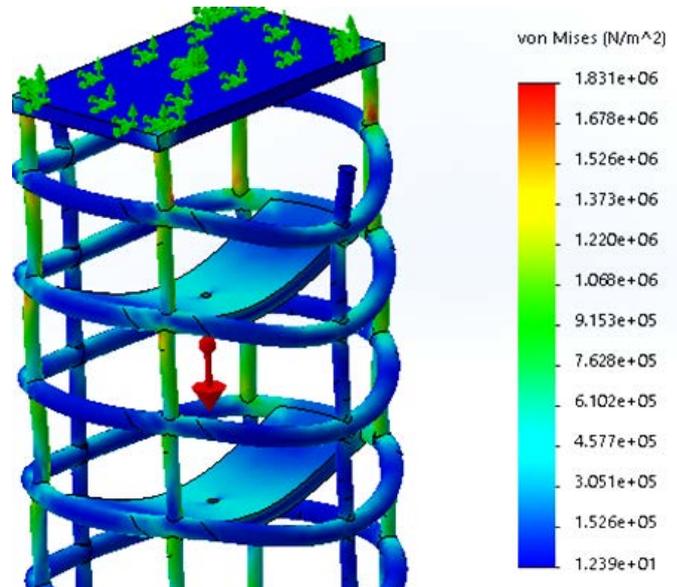


Figura 3. Análisis estructura de esfuerzos de la geometría cuadrada.

Los resultados obtenidos a través del análisis estructural revelan que la carga principal que afecta al arreglo se concentra en los soportes verticales que sostienen la estructura, especialmente en la parte superior. Esto se debe a que los soportes verticales son los componentes que soportan la mayor carga de peso, lo que los hace más propensos a sufrir deformaciones. En este sentido, se puede afirmar que los soportes verticales son elementos críticos del diseño y requieren una atención especial en su diseño y fabricación.

Además, los resultados muestran que los elementos sometidos a una mayor deformación son precisamente los soportes verticales. Por lo tanto, es crucial asegurarse de que los soportes tengan la resistencia necesaria para soportar la carga sin deformarse excesivamente. De lo contrario, podría comprometerse la estabilidad de la estructura y aumentar el riesgo de fallos.

En cuanto a la comparación entre las dos estructuras analizadas, se observó que la estructura cilíndrica presenta menores esfuerzos, a pesar de ser más pesada que la estructura prismática rectangular. Esto puede atribuirse al hecho de que la geometría cilíndrica distribuye mejor las cargas a lo largo de su superficie, mientras que la estructura prismática rectangular tiene áreas más susceptibles a concentrar tensiones.

Estas observaciones son de gran importancia en el diseño y selección de materiales para la planta de purificación de caolín, ya que la estructura desempeña un papel fundamental en su funcionamiento y seguridad. Es necesario evaluar cuidadosamente qué geometría es más adecuada para la aplicación específica y las cargas esperadas, considerando tanto la resistencia estructural como los costos de materiales y fabricación.

En cuanto a las ventajas y desventajas de cada estructura, la cilíndrica presenta una distribución más uniforme de tensiones y una mayor rigidez, aunque puede ser más complicada de fabricar y transportar debido a su forma curva. Por otro lado, la estructura prismática rectangular puede ser más fácil de fabricar y transportar, pero podría requerir refuerzos adicionales para soportar cargas específicas.

3.2. Selección de materiales

Se ha tomado como punto de partida la construcción de un prototipo de madera debido a que es un material económico, fácil de trabajar y con baja conductividad eléctrica. A pesar de estas ventajas, la madera presenta desventajas que afectan directamente el diseño y la construcción de la estructura, como su fragilidad en las fibras estructurales que provoca una baja resistencia a impactos, su susceptibilidad al ataque biológico por hongos o insectos, y su vulnerabilidad al fuego.

No obstante estas desventajas, el uso de la madera sigue siendo una opción eficiente y económica para la construcción de diversas estructuras debido a su fácil manejo durante la manufactura y a que el diseño de estructuras construidas con madera proporciona una mayor resistencia durante el funcionamiento de la planta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las características de las estructuras construidas con madera dependen en gran medida del tipo de árbol utilizado y del tratamiento aplicado.

Por lo tanto, resulta crucial seleccionar un material de construcción adecuado que posea las características necesarias, incluyendo una mayor resistencia a sustancias corrosivas. Es por eso que se evaluaron dos materiales que cumplen con estas características. En la Tabla 1 se presentan las propiedades de los materiales considerados en este trabajo para la construcción del aparato. Aunque ambos materiales presentan similitudes en sus propiedades, el Nylamid se destaca por sus mejores propiedades eléctricas y mecánicas, con valores superiores de resistencia dieléctrica y resistencia a la tensión.

Se procedió a la construcción de la estructura cuadrada utilizando los dos materiales evaluados en este trabajo. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2, donde se puede observar que la estructura fabricada con Celorón (32.9 kg) tiene un peso mayor que la fabricada con Nylamid (27.8 kg). En particular, el Nylamid resultó ser un 84% más ligero que el celorón, lo que lo convierte en una opción más adecuada para reducir la masa total del aparato sin comprometer su resistencia mecánica. La elección adecuada del material de construcción puede tener un impacto significativo en el rendimiento y la

eficiencia del aparato, por lo tanto, es importante considerar no solo el peso, sino también otras propiedades como la resistencia mecánica, la durabilidad y la resistencia a la corrosión al momento de tomar una decisión.

Tabla 1. Propiedades de los materiales considerados para la construcción del aparato.

Propiedades	Celorón	Nylamid
Densidad (g/cm ³)	1.35	1.14
Temperatura de servicio (°C)	135	80
Dureza	100	100
Resistencia Dieléctrica KV/mm	15 – 300	20 – 533
Resistencia a la tensión (g/cm ²)	703	706 -12400

Tabla 2. Peso de los materiales considerados para la construcción del aparato.

Pesos de la estructura / kg	Peso / kg	
	Celorón	Nylamid
7 Barra hueca (50x46x5 cm)	27.3	23.03
6 Barra sólida (1.9cm x 1.5 m)	3.42	2.76
1 Barra sólida (1.23 cm x 1 m)	0.22	0.19
1 Barra sólida (3.1 cm x 2.54 cm)	0.05	0.03
Placa (1.9 x 30 x 60 cm)	1.95	1.74
Total	32.94	27.75

3.3. Celorón

La construcción de estructuras con Celorón presenta ventajas significativas en comparación con el uso de madera. Este material exhibe una alta resistencia a esfuerzos mecánicos, es capaz de soportar altas temperaturas (hasta 200°C), lo que facilita su mecanizado, y muestra una excelente resistencia a una variedad de líquidos y sustancias químicas, además de poseer buenas propiedades eléctricas. El Celorón también es capaz de resistir el contacto con diversos solventes y ácidos orgánicos que son comúnmente utilizados durante el proceso de blanqueamiento de caolín.

La estructura del Celorón se compone de telas y resina fenólica, que se conforman mediante compactación a altas temperaturas. Este material está disponible en diversas presentaciones, como cartuchos, barras, placas y láminas, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones mecánicas e impacto. Por ejemplo, los cartuchos son útiles en trabajos mecánicos de dispositivos como engranajes, mientras que las barras permiten la mecanización de piezas de diferentes diámetros. En resumen, el Celorón se presenta como una excelente opción para la construcción de estructuras resistentes y duraderas, capaces de soportar condiciones difíciles y ambientes agresivos. Su versatilidad y propiedades destacadas lo convierten en un material confiable y eficiente para garantizar la integridad y rendimiento de la planta de blanqueamiento de caolín.

3.4. Nylamid

El Nylamid es un material con numerosas ventajas en términos de uso y manipulación. Como parte de la familia de las poliamidas o Nylon, este material exhibe propiedades mecánicas y eléctricas similares a otros plásticos. Una de sus características más destacadas es su resistencia a la abrasión, lo que lo convierte en una opción sobresaliente para aplicaciones mecánicas. Además,

presenta una excelente relación entre resistencia y peso, lo que lo convierte en un material ligero.

La variedad más comúnmente utilizada y convencional del Nylamid es el Nylamid M-Aplicaciones, que ofrece propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para una amplia gama de opciones de fabricación de piezas. Entre sus características notables se encuentran su resistencia inherente al desgaste, su facilidad de manufactura, su buena resistencia térmica y su capacidad para resistir la corrosión.

En la construcción de estructuras completas, el Nylamid es un material extremadamente versátil que puede emplearse en la fabricación de accesorios de unión, como tuercas u opresores. Además, su composición lo hace seguro e inofensivo, libre de impurezas.

Es posible encontrar el Nylamid en diversas presentaciones, como barras sólidas, barras huecas y láminas de diferentes espesores. Esto ofrece una amplia variedad de opciones para seleccionar el material más adecuado según cada aplicación específica. En resumen, el Nylamid es un material sumamente útil y versátil que brinda múltiples opciones para la construcción de estructuras y piezas mecánicas. Su combinación de propiedades lo convierte en una elección confiable y eficiente en numerosos proyectos industriales.

3.5. Relación análisis de costos

Nuestro análisis exhaustivo de costo-beneficio ha arrojado resultados significativos que respaldan la viabilidad y conveniencia de la solicitud del cliente. Al considerar diversos criterios iniciales y recopilar un amplio conocimiento, hemos identificado los principales factores que afectan los costos y beneficios del proyecto.

En primer lugar, hemos evaluado los costos involucrados en la adquisición de materiales, la mano de obra requerida, la fabricación y la construcción de la estructura. También hemos tenido en cuenta los gastos de mantenimiento y reparación a lo largo del tiempo. Estos aspectos nos han permitido calcular de manera precisa los costos totales del proyecto.

Por otro lado, hemos considerado los beneficios esperados como resultado de la implementación de la estructura. Entre ellos, destacan la mejora en la eficiencia de la planta y la prolongación de la vida útil de los equipos. Estos beneficios se traducen en ahorros a largo plazo, tanto en términos de tiempo como de recursos, lo que contribuye a la rentabilidad del proyecto.

Además, hemos analizado el impacto ambiental del proyecto. Al evaluar la sostenibilidad y la eficiencia energética de la estructura, hemos identificado oportunidades para reducir el consumo de recursos naturales y minimizar la huella ambiental. Estas medidas no solo tienen un impacto positivo en el medio ambiente, sino que también pueden resultar en ahorros económicos a través de la optimización de los procesos y la reducción de residuos.

En términos sociales, hemos considerado el impacto del proyecto en la comunidad y los posibles beneficios que puede generar. La creación de empleo local, el desarrollo de habilidades y la mejora de las condiciones laborales son aspectos que hemos tenido en cuenta al evaluar los beneficios sociales del proyecto. Estos factores contribuyen al desarrollo sostenible y al bienestar de la comunidad.

Finalmente, hemos abordado los aspectos de seguridad relacionados con el proyecto. Al identificar y mitigar los riesgos asociados, nos hemos asegurado de proteger la salud y seguridad de los trabajadores y del entorno. Esto no solo tiene implicaciones éticas y legales, sino que también contribuye a la continuidad operativa y la reputación del proyecto.

3.6. Método de manufactura

En el análisis de los métodos de manufactura para los materiales Nylamid y Celorón, se han evaluado las diferentes técnicas y condiciones mecánicas para determinar cuál sería el enfoque más adecuado para la construcción de la estructura. El objetivo principal es garantizar la calidad, resistencia y eficiencia en la fabricación de las piezas.

Para lograr esto, se han considerado varios factores, como la geometría requerida, los esfuerzos esperados y los requisitos operativos del proyecto. Se han realizado investigaciones exhaustivas y estudios comparativos para determinar la viabilidad y efectividad de los diferentes métodos de manufactura.

En este contexto, se han evaluado técnicas como el moldeo por inyección para el Nylamid y la laminación y conformado térmico para el Celorón. Estas técnicas han sido seleccionadas debido a su capacidad para proporcionar formas y dimensiones precisas, así como la capacidad de trabajar con los materiales específicos.

Es importante destacar que en esta etapa del análisis no se ha realizado la construcción real de la estructura, sino que se está evaluando cuál sería el método de manufactura más adecuado. Se han tenido en cuenta consideraciones técnicas, económicas y de eficiencia para seleccionar el enfoque óptimo.

En futuras etapas del proyecto, una vez seleccionado el método de manufactura adecuado, se llevarán a cabo las construcciones reales y se aplicarán los procesos y pruebas de calidad necesarios para asegurar la integridad y funcionalidad de la estructura final.

En cuanto a los precios de los materiales, es importante tener en cuenta que pueden variar según sus dimensiones, aplicaciones y clasificación. Aunque existen diferencias en los costos, en la selección del material a utilizar no se considerará únicamente el aspecto económico como variable determinante. Sin embargo, es relevante destacar que el costo del Celorón representa aproximadamente el 96% del costo del Nylamid, lo que lo convierte en una opción a considerar si sus propiedades se ajustan adecuadamente a la aplicación requerida.

Tabla 3. Costo de los materiales considerados para la construcción del aparato.

Elementos estructurales	Precio total	
	Celorón	Nylamid
7 Barra hueca (50x46x5 cm)	\$52,500	\$67,550
6 Barra sólida (1.9 cm x 1.5 m)	\$1,872	\$1,650
1 Barra sólida (1.3 cm x 1 m)	\$100	\$140
1 Barra sólida (3.1 x 2.54 cm)	\$2,880	\$2,532
Placa (1.23 x 30 x 60 cm)	\$6,212	\$4,000
Mano de obra	\$151,050	
Total	\$279,114	\$291,422

Una vez que se han manufacturado todos los componentes que conformarán la estructura, se procede al ensamblaje utilizando dispositivos como tornillos, opresores o chavetas. Es importante resaltar que todos los puntos de ensamblaje se fabrican con Celorón, ya que garantiza un entorno libre de impurezas que podría afectar el rendimiento y la calidad de la estructura.

En la Tabla 3 se presentan los costos de los materiales considerados para la construcción del aparato. Se detallan los precios totales para cada elemento estructural, así como los precios específicos para el material Celorón y el material Nylamid.

Se puede observar que el costo varía dependiendo del tipo y tamaño de cada elemento. Por ejemplo, para las barras huecas de dimensiones 50x46x5 cm, el precio del Celorón es de \$52,500, mientras que el Nylamid tiene un costo de \$67,550. Esto indica que el Nylamid es más costoso en este caso particular.

Para las barras sólidas de 1.9 cm x 1.5 m, el Celorón tiene un costo de \$1,872, mientras que el Nylamid tiene un costo de \$1,650. Similarmente, se observa que el Nylamid presenta un precio ligeramente inferior en comparación con el Celorón para las barras sólidas de 1.3 cm x 1 m y 3.1 x 2.54 cm.

En cuanto a las placas de dimensiones 1.23 x 30 x 60 cm, el Celorón tiene un costo de \$6,212, mientras que el Nylamid tiene un costo de \$4,000. Aquí se puede apreciar una diferencia más significativa en los precios, siendo el Nylamid la opción más económica.

Además de los costos de los materiales, es importante destacar el costo de la mano de obra, que asciende a \$151,050. Este costo refleja la importancia de la mano de obra en el proceso de construcción y destaca la necesidad de considerar tanto los materiales como la mano de obra al realizar un análisis de costo-beneficio.

En conclusión, la selección del material para la construcción de la estructura de la planta piloto se basa en una evaluación exhaustiva de sus propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y de resistencia a soluciones corrosivas, así como en el costo y la disponibilidad de los materiales. Una vez seleccionado el material adecuado, se lleva a cabo la manufactura de los componentes utilizando técnicas de metalmecánica para asegurar la calidad y resistencia de la estructura final. El enfoque en la elección del material y el proceso de ensamblaje son fundamentales para garantizar el rendimiento óptimo y la durabilidad de la estructura en su funcionamiento. La tabla proporciona una visión detallada de los costos de los materiales considerados, mostrando diferencias en los precios dependiendo del tipo y tamaño de cada elemento. Estos costos, junto con el costo de la mano de obra, son elementos clave a considerar al evaluar la viabilidad económica del proyecto y tomar decisiones informadas sobre la selección de materiales.

Nuestros resultados destacan la efectividad de nuestra metodología para mitigar el daño y resaltar la importancia de implementar sistemas de control y toma de decisiones que sean capaces de minimizar el impacto de las fisuras de fatiga en entornos industriales reales. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y la eficacia de nuestra propuesta de aparato para el blanqueamiento de caolín.

Comparando nuestros resultados con el otro trabajo de diseño (Zhang, 1999), podemos resaltar que nuestra investigación ha logrado obtener resultados positivos y relevantes. Si bien es cierto

que existen diferencias en los entornos y condiciones de prueba entre los dos estudios, nuestros hallazgos demuestran de manera concluyente la capacidad de nuestro aparato para mitigar el daño por fisuras de fatiga de manera efectiva.

Es importante tener en cuenta que cada estudio tiene sus propias limitaciones y enfoques específicos. Sin embargo, la información obtenida en nuestro estudio proporciona una sólida base para futuras investigaciones y avances en el campo del blanqueamiento de caolín. Nuestro trabajo destaca la importancia de considerar el impacto del daño por fisuras de fatiga en el diseño de aparatos y resalta la necesidad de desarrollar enfoques innovadores y efectivos para mejorar el rendimiento y la durabilidad de las estructuras mecánicas en este contexto específico.

4. Conclusiones

En conclusión, el presente trabajo ha abordado de manera exhaustiva la evaluación del requerimiento del cliente y el cálculo práctico necesario para la selección del material y el proceso de manufactura en la construcción de la estructura de la planta piloto. Se ha considerado la viabilidad, conveniencia e importancia estratégica de la solicitud, así como la recopilación de conocimiento para identificar posibles riesgos y requerimientos especializados.

Se ha destacado la importancia de evaluar las propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y de resistencia a soluciones corrosivas de los materiales, así como el costo y la disponibilidad de los mismos. Si bien el aspecto económico no es la única variable determinante, se ha señalado que el costo del material Celorón representa aproximadamente el 96% del costo del material Nylamid, lo que lo convierte en una opción a considerar si sus propiedades se ajustan adecuadamente a la aplicación requerida.

En cuanto al proceso de manufactura, se ha resaltado la importancia de utilizar técnicas y condiciones mecánicas de construcción que garanticen la calidad y resistencia de la estructura final. El ensamblaje de los componentes se realiza utilizando dispositivos adecuados, fabricados con Celorón para garantizar un entorno libre de impurezas que puedan afectar el rendimiento y la calidad de la estructura.

La tabla de costos presentada en el trabajo ha proporcionado una visión detallada de los costos de los materiales considerados, destacando las diferencias en precios dependiendo del tipo y tamaño de cada elemento. Además, se ha enfatizado el costo de la mano de obra como un elemento relevante a considerar en el análisis de costo-beneficio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la UAEH por el apoyo brindado para la realización del trabajo y A. Jacinto-Juárez agradece la publicación de este trabajo para realizar su proceso de titulación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Alarcón, J., Celaschi, F., & Celi, M. (2023). Diseño de materiales: del Basic design al Material Driven Design. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (114), 71-83.
- Cobos-Murcia, J., Hernández-Aguilar, E., Trujillo-Estrada, A., Gallegos-Ortega, G., & Reyes-Cruz, V. (2023). Geometry optimization of an electrochemical reactor for bleaching kaolin. *Clay Minerals*, 1-9. doi:10.1180/clm.2022.36
- De la Torre, E., Cando, M., & Guevara, A. (2010). Desarrollo y caracterización de caolines modificados para aplicaciones industriales.
- Pinajota Ilbay, Oscar Geovanny. (2018). Desarrollo de una ingeniería conceptual para el proceso de pirólisis térmica de residuos plásticos de polipropileno y poliestireno. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- Salinas Guzmán, M. I. (2023). Diseño y construcción de un prototipo de reactor solar mediante CAD-CAE.
- Schroeder, Paul (12 de diciembre de 2003). «Kaolin». *New Georgia Encyclopedia* (en inglés). Archivado desde el original el 11 de octubre de 2012. Consultado el 30 de noviembre del 2022.
- Siuce Bonifacio, R. (2019). Espesamiento, floculación de relave para la obtención de pasta de la compañía minera CAOLÍN SAC–Pasco 2018.
- Torres, J., de Gutiérrez, R. M., Castelló, R., & Vizcayno, C. (2011). Análisis comparativo de caolines de diferentes fuentes para la producción de metacaolín. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 31(1), 35-43.
- Trujillo-Estrada, A., Reyes-Cruz, V. E., Cobos-Murcia, J. A., Reyes-Morales, Q. L., Legorreta-García, F., & Juárez-Tapia, J. C. (2021). Escalamiento de prueba electroquímica para blanqueamiento de arcillas caoliniticas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 46-49.
- Von Mises, L. (1968). *La acción humana*. Unión editorial.
- Wang, H., Li, C., Peng, Z. et al. Characterization and thermal behaviour of kaolin. *J Therm Anal Calorim* 105, 157–160 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1385-0>.
- Zhang, H., & Ray, A. (1999). Robust damage-mitigating control of mechanical systems: Experimental validation on a test apparatus.