

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment: catalasa para eliminar peróxido de hidrógeno residual en aguas residuales industriales

Equipo de investigación de Enzymes.bio · Wellington, Nueva Zelanda · June 21, 2026

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment es una solución enzimática para reducir peróxido de hidrógeno residual en efluentes industriales, especialmente después de blanqueo, oxidación, desinfección o limpieza. La catalasa convierte el H_2O_2 en agua y oxígeno, por lo que su función técnica principal es controlar un oxidante residual antes de descarga, tratamiento biológico, recirculación o una etapa de proceso sensible ^[1].

Qué problema resuelve la catalasa en aguas residuales industriales

El peróxido de hidrógeno se usa porque es un oxidante eficaz y relativamente limpio frente a otros agentes oxidantes: participa en blanqueo textil, tratamiento de pulpa y papel, limpieza, desinfección, oxidaciones químicas y procesos ambientales. Sin embargo, cuando queda H_2O_2 sin consumir, deja de ser útil y se convierte en una interferencia: puede afectar colorantes, alterar biomasa de tratamiento, modificar condiciones redox, reaccionar con otras especies de la matriz o incumplir criterios internos de descarga y reutilización. En ese punto, la catalasa no “trata todo el efluente”; actúa sobre un objetivo químico concreto: retirar el peróxido de hidrógeno residual ^[2].

La reacción global es directa:



Esta transformación explica su atractivo industrial. A diferencia de neutralizantes reductores que pueden añadir sales o subproductos, la catalasa acelera la descomposición del H_2O_2 hacia dos productos simples: agua y oxígeno. En la práctica, esto puede reducir la carga química añadida cuando el problema real es el oxidante residual y no otros contaminantes como metales, colorantes persistentes, materia orgánica recalcitrante o sales disueltas ^[1].

Enzymes.bio suministra Catalase Enzyme For Wastewater Treatment como proveedor B2B para uso industrial y de procesamiento. El producto se vende directamente en línea en unidades de 1 kg; el CoA y la SDS se proporcionan junto con el pedido, de modo que el usuario puede incorporarlos a su documentación interna de recepción, seguridad y trazabilidad .

Mecanismo: cómo la catalasa destruye H₂O₂ sin neutralizantes reductores

La catalasa es una enzima oxidoreductasa especializada en peróxido de hidrógeno. En muchas catalasas, el centro activo contiene un grupo hemo con hierro, que alterna entre estados redox durante el ciclo catalítico. Primero, una molécula de H₂O₂ oxida el centro férrico de la enzima y forma un intermedio altamente oxidado; después, una segunda molécula de H₂O₂ reduce ese intermedio, liberando oxígeno molecular y regenerando la enzima para otro ciclo ^[1].

Ese mecanismo de dos pasos es importante porque la catalasa no necesita un donador externo de electrones como sí ocurre en otras rutas enzimáticas de reducción de peróxidos. El propio H₂O₂ actúa como oxidante y como reductor dentro del ciclo: una parte se convierte en agua y otra en oxígeno. Por eso la reacción puede ser muy rápida cuando el pH, la temperatura, la mezcla y la composición del efluente son compatibles con la estabilidad de la enzima ^[1].

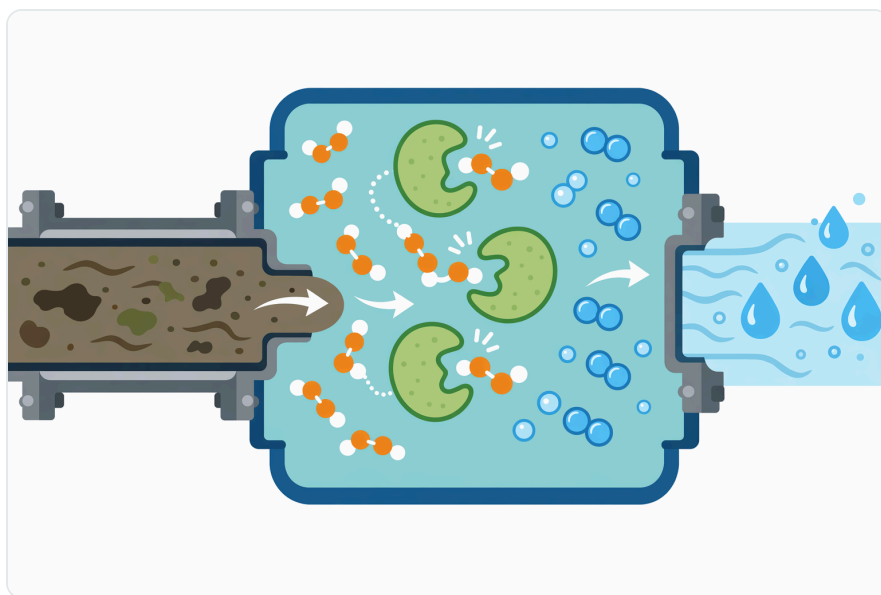


Figure 1. 카탈라아제는 산업 폐수에 남아 있는 과산화수소를 화학량론적 중화제를 추가하지 않고 물과 산소로 분해한다.

La liberación de oxígeno no es un detalle menor en planta. Si la corriente contiene peróxido residual apreciable, la dosificación de catalasa puede generar burbujeo, espuma o aumento local de oxígeno disuelto. En sistemas abiertos suele manejarse mediante mezcla y ventilación; en equipos cerrados,

líneas presurizadas o tanques con control estricto de espuma, debe considerarse dentro del diseño operativo y de seguridad del proceso ^[3].

Dónde encaja en una línea de tratamiento

La catalasa se aplica cuando el H_2O_2 ya cumplió su función aguas arriba. En una planta textil, ese punto suele aparecer después del blanqueo y antes del teñido; en papel y celulosa, después de una etapa oxidativa; en alimentos, bebidas, cosmética o farmacéutica, después de limpieza, desinfección u oxidación; y en electrónica, después de operaciones de limpieza o tratamiento de superficies donde el oxidante residual no debe continuar al siguiente paso. La página de producto de Enzymes.bio describe su uso en efluentes industriales con peróxido residual procedentes de sectores como textil, papel, alimentos y electrónica .

El punto de adición debe permitir tres condiciones básicas: contacto efectivo entre enzima y efluente, tiempo suficiente para que el peróxido se descomponga y compatibilidad razonable con el entorno físico-químico. Si la corriente está excesivamente caliente, muy ácida, muy alcalina o contiene inhibidores fuertes, la enzima puede perder rendimiento antes de completar la reacción. La literatura sobre catalasa destaca que la estabilidad y la actividad dependen de la matriz, del pH, de la temperatura, de la concentración de H_2O_2 y de la exposición a especies que dañan el centro activo ^[1].

También conviene verla como una etapa auxiliar, no como sustituto de una planta completa. La eliminación de H_2O_2 puede proteger un reactor biológico, facilitar un teñido, reducir la carga oxidante antes de membranas o preparar el efluente para descarga; pero no elimina por sí sola DQO recalcitrante, nitrógeno, fósforo, metales, microplásticos, sales o colorantes persistentes. Las revisiones recientes sobre aguas residuales industriales subrayan que los efluentes reales suelen requerir trenes integrados de tratamiento, donde procesos biológicos, químicos, físicos y de membrana cumplen funciones diferentes ^[2].

Aplicaciones industriales principales

Efluentes textiles después de blanqueo con peróxido

La aplicación más intuitiva de la catalasa en tratamiento de aguas residuales es el sector textil, especialmente en líneas donde el H_2O_2 se usa para blanquear algodón u otras fibras celulósicas. El peróxido residual puede oxidar colorantes, afectar la repetibilidad del tono y obligar a lavados adicionales antes del teñido. Un estudio sobre eliminación de peróxido residual en blanqueo de algodón describe el uso de catalasa precisamente para descomponer H_2O_2 después del blanqueo y antes de etapas posteriores ^[3].

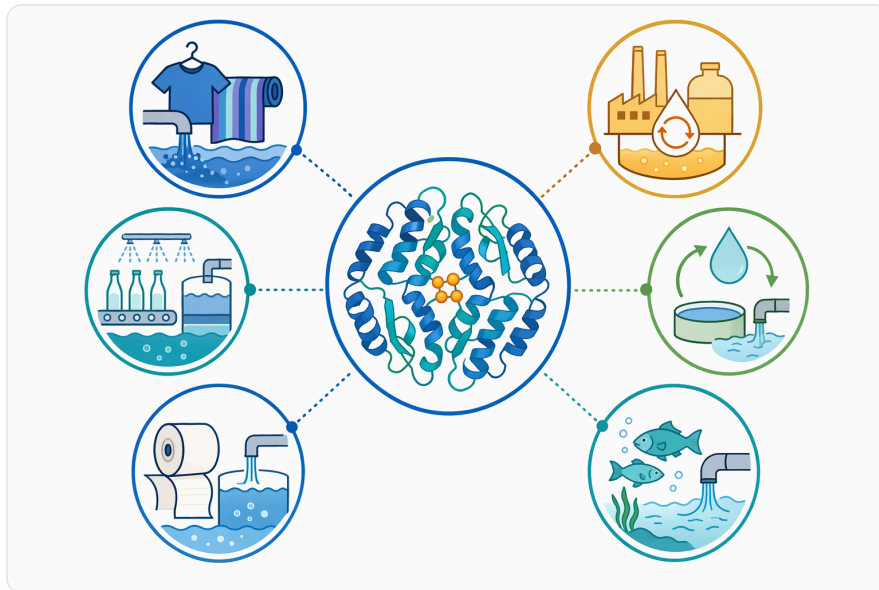


Figure 2. 과산화물을 함유한 폐수는 섬유 표백, 식음료 위생 처리, 유제품 관련 공정, 펄프 및 제지 표백, 제약 세정, 병원 소독, 화학적 산화, 산업용 세정에서 발생할 수 있다.

Desde el punto de vista ambiental y operativo, la catalasa puede ayudar a reducir agua de lavado y neutralizantes cuando el objetivo es retirar el oxidante residual. No sustituye los procesos de eliminación de colorantes ni corrige por sí sola problemas de salinidad o carga orgánica, pero puede mejorar la transición entre blanqueo y teñido al evitar que el oxidante siga reaccionando donde ya no se desea. Las revisiones sobre enzimas microbianas en procesamiento textil sostenible sitúan a las enzimas como herramientas relevantes para reducir intensidad química en determinadas operaciones textiles [4].

Papel, celulosa y corrientes de blanqueo oxidativo

En la industria de papel y celulosa, el peróxido de hidrógeno se emplea en etapas de blanqueo y tratamiento de fibras. Cuando una corriente con H_2O_2 residual se envía a recirculación, tratamiento biológico o descarga, puede ser necesario reducir su carácter oxidante. La catalasa es adecuada cuando la tarea definida es convertir ese peróxido remanente en agua y oxígeno antes de que interfiera con procesos posteriores [1].

En estos efluentes, la matriz puede contener extractivos, lignina residual, sólidos finos, cambios de pH y otros componentes que influyen en el rendimiento. Por eso la catalasa debe integrarse en un punto donde el contacto sea efectivo y la corriente no destruya rápidamente la proteína. La ventaja es que, si la etapa se ubica correctamente, el tratamiento enzimático puede ser compatible con una estrategia más amplia de reducción de reactivos y estabilización del efluente antes de procesos biológicos o físicos [2].

Alimentos, bebidas, cosmética y corrientes sanitarias

El H_2O_2 aparece en distintas operaciones de desinfección, limpieza y procesamiento. En efluentes de alimentos, bebidas, cosmética o entornos sanitarios industriales, el problema no es que el peróxido sea persistente indefinidamente, sino que su presencia residual en el momento incorrecto puede afectar biomasa, materiales, sensores, membranas o condiciones de descarga. La catalasa permite acelerar su desaparición sin introducir un reductor químico convencional [1].

En estas industrias, la función de la catalasa debe definirse con precisión: se aplica al efluente o a corrientes de proceso donde se requiere eliminar H_2O_2 residual; no convierte automáticamente una corriente compleja en apta para vertido o reutilización. Los sistemas de tratamiento siguen necesitando control de materia orgánica, nutrientes, sólidos, grasas, detergentes u otros contaminantes según el caso [2].

Electrónica y procesos de alta limpieza

En electrónica y procesos de alta limpieza, el peróxido puede participar en limpieza, oxidación controlada o preparación de superficies. El residuo oxidante puede ser incompatible con etapas posteriores, materiales sensibles o requisitos internos de calidad de agua. En este contexto, Catalase Enzyme For Wastewater Treatment se posiciona como una herramienta para reducir H_2O_2 residual en corrientes acuosas específicas antes de continuar el tratamiento o la gestión del efluente .

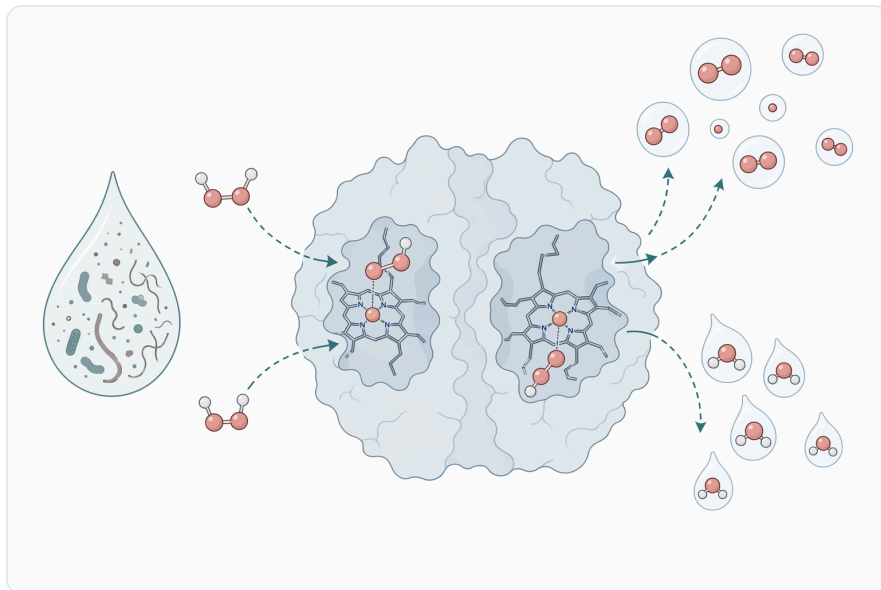


Figure 3. 카탈라아제는 활성 부위를 순환적으로 작동시켜 두 분자의 과산화수소를 두 분자의 물과 한 분자의 산소로 전환한다.

La matriz de efluentes electrónicos puede ser más compleja que una solución simple de peróxido: puede contener agentes complejantes, metales, surfactantes, ácidos, bases u otros componentes de limpieza. La catalasa solo actúa sobre el H₂O₂; si hay metales, sales o contaminantes específicos, deben abordarse con tecnologías separadas como precipitación, intercambio iónico, adsorción, membranas u otros procesos adecuados ^[5].

Comparación con alternativas para eliminar peróxido residual

La elección entre catalasa, neutralización química, aireación, dilución o tiempo de espera depende de la concentración de H₂O₂, la matriz, el espacio disponible, el tiempo de residencia y las restricciones de calidad del efluente. La tabla siguiente resume diferencias prácticas sin sustituir la validación interna de cada planta.

Enfoque	Qué hace con el H ₂ O ₂	Ventaja principal	Limitación principal	Encaje típico
Catalasa	Lo convierte en agua y oxígeno	Alta selectividad hacia H ₂ O ₂ y baja generación de sales	Sensible a condiciones extremas e inhibidores	Antes de teñido, biología, descarga, membranas o recirculación
Reductores químicos	Lo reducen mediante reacción química	Robustez y disponibilidad en muchas plantas	Pueden añadir sales, subproductos o demanda química adicional	Neutralización convencional cuando se aceptan los aportes químicos
Espera o descomposición natural	Permite que el H ₂ O ₂ disminuya con el tiempo	No requiere aditivo específico	Puede ser lenta e incompatible con producción continua	Corrientes con baja urgencia y suficiente volumen de retención
Dilución	Reduce la concentración aparente	Operación simple si hay agua disponible	No elimina la masa total de H ₂ O ₂ y aumenta volumen	Casos limitados donde la normativa y el balance hídrico lo permiten
Procesos integrados	Combinan eliminación de H ₂ O ₂ con otros tratamientos	Abordan matrices complejas	Mayor complejidad de diseño y control	Efluentes con múltiples contaminantes además del peróxido

La catalasa resulta más convincente cuando el objetivo está muy definido: retirar H_2O_2 sin aumentar innecesariamente la carga salina o química. En cambio, si la prioridad es remover metales, colorantes persistentes, sólidos, nitrógeno o compuestos orgánicos heterocíclicos, la catalasa debe considerarse una etapa complementaria dentro de un tren de tratamiento más amplio, no la tecnología principal [6].

Factores que influyen en el rendimiento en planta

pH, temperatura y tiempo de contacto

Como proteína, la catalasa tiene una ventana de estabilidad. Fuera de condiciones compatibles, la estructura puede alterarse y el centro activo puede perder capacidad de descomponer H_2O_2 . No todas las catalasas se comportan igual: la fuente biológica, la formulación y el entorno de uso influyen en su tolerancia, y la literatura sobre enzimas industriales muestra que la estabilidad frente a temperatura, pH y solventes es una variable central para la aplicación práctica [7].

El tiempo de contacto también importa. La reacción enzimática puede ser rápida, pero en una línea industrial no basta con añadir la enzima: debe distribuirse en la masa de agua, alcanzar el peróxido y permanecer activa durante el intervalo necesario. Una mala mezcla puede dejar zonas con H_2O_2 residual aunque la cantidad total de enzima parezca suficiente, mientras que una exposición prolongada a condiciones agresivas puede inactivar parte de la proteína [1].

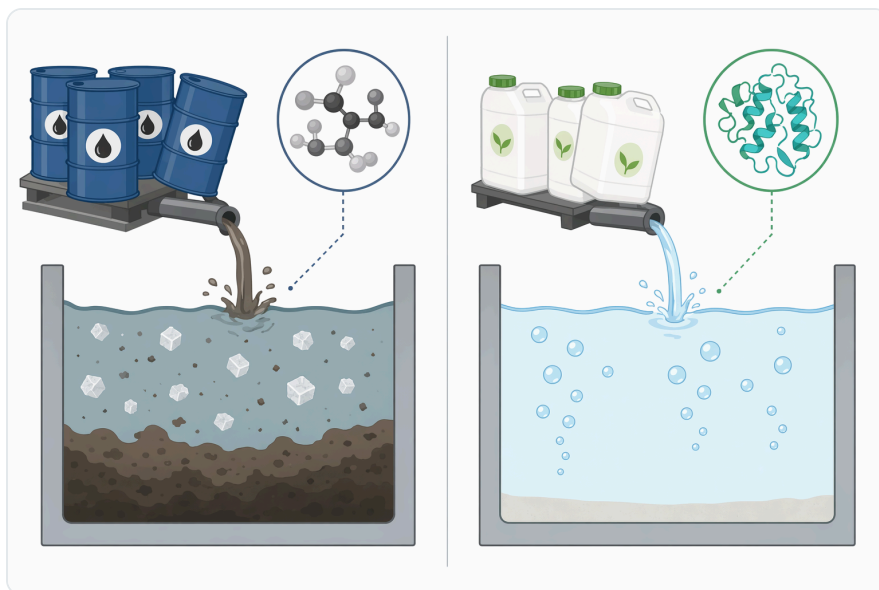


Figure 4. 카탈라아제는 과산화물 제거 반응이 중화제에서 유래한 용존 잔류물이 아니라 물과 산소를 생성한다는 점에서 아황산염 계열의 소거 방식과 다르다.

Concentración de H₂O₂ y composición del efluente

El peróxido de hidrógeno es el sustrato de la catalasa, pero en exceso también puede contribuir a inactivación oxidativa de enzimas, especialmente si la exposición es intensa o prolongada. Por eso, en efluentes industriales con cargas variables, la ubicación del punto de dosificación y el control del proceso son tan importantes como la selección de la enzima. La catalasa funciona mejor cuando se aplica donde el H₂O₂ residual debe eliminarse, no necesariamente en el punto más agresivo de toda la línea ^[1].

La composición de la matriz puede modificar la respuesta. Metales, oxidantes adicionales, solventes, surfactantes, sólidos, aceites o pH extremos pueden dificultar el contacto o acelerar la pérdida de actividad. Este comportamiento no invalida el uso industrial de enzimas, pero obliga a tratarlas como biocatalizadores con límites físicos y químicos, no como reactivos inorgánicos universales ^[8].

Compatibilidad con biología, membranas y reutilización de agua

Una razón frecuente para eliminar H₂O₂ es proteger etapas posteriores. En tratamiento biológico, un oxidante residual puede afectar microorganismos encargados de degradar materia orgánica o transformar nutrientes. En sistemas con membranas, el exceso de oxidante puede interactuar con materiales, ensuciamiento, biopelículas o estrategias de limpieza. Las revisiones sobre tecnologías de membrana para tratamiento sostenible destacan que las membranas son eficaces, pero sensibles a la calidad de alimentación, ensuciamiento y compatibilidad química ^[9].

En esquemas de mínima descarga líquida, reutilización o recirculación, el control de oxidantes residuales se vuelve aún más relevante porque el agua vuelve a tocar equipos, biomasa o productos de proceso. La catalasa puede cumplir una función puntual dentro de esa arquitectura: reducir H₂O₂ antes de que la corriente pase a una etapa que no tolera oxidantes. No obstante, la reutilización segura del agua requiere evaluar todos los parámetros críticos, no solo el peróxido ^[5].

Inmovilización de catalasa: evidencia útil, pero no equivalente al producto líquido

La literatura científica dedica mucha atención a la catalasa inmovilizada, es decir, catalasa fijada o atrapada en soportes para facilitar recuperación, reutilización y mejora de estabilidad. Las revisiones recientes indican que la inmovilización puede ayudar a proteger enzimas frente a ciertas condiciones, ampliar su vida operativa y permitir configuraciones de reactor más controladas ^[1].

Esa evidencia es valiosa para comprender hacia dónde avanzan las aplicaciones industriales de catalasa, pero no debe confundirse con cualquier preparación comercial. Si un producto se suministra como enzima líquida o formulación soluble, su uso operativo se basa en dosificación directa y mezcla

con la corriente objetivo. Enzymes.bio actúa como proveedor del producto para uso industrial; no debe interpretarse que fabrica soportes inmovilizados, opera reactores ni realiza validaciones de laboratorio para cada efluente .

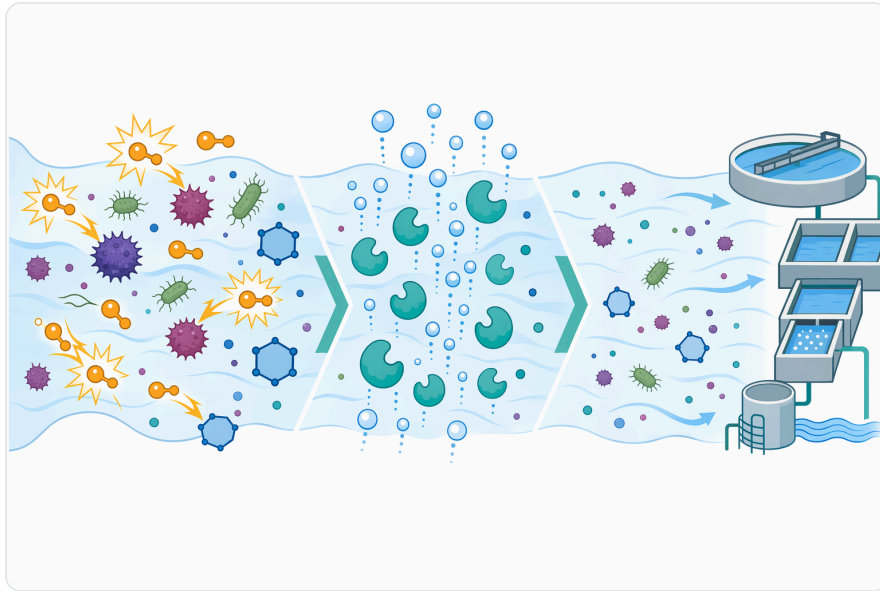


Figure 5. 카탈라아제는 과산화수소의 잔류 산화력을 제거하고 산소를 방출하지만, 그 자체로 다른 폐수 오염물질을 제거하지는 않는다.

La investigación en inmovilización también muestra un principio más amplio: las enzimas pueden integrarse en procesos industriales de forma más robusta cuando se controla su microentorno. Soportes, encapsulación, matrices poliméricas o materiales funcionales pueden mejorar recuperación y estabilidad, aunque añaden complejidad técnica y económica. Las revisiones generales sobre tecnologías de inmovilización enzimática describen estas ventajas y limitaciones para aplicaciones industriales [8].

Catalasa frente a nanozimas y catalizadores tipo enzima

En los últimos años se han investigado “nanozimas”, materiales que imitan actividades enzimáticas, incluida la actividad tipo catalasa. Carbon dots, nanoclústeres metálicos y otros nanomateriales pueden catalizar reacciones relacionadas con peróxidos, y se estudian para sensores, biomedicina, degradación de contaminantes y procesos ambientales. Sin embargo, una actividad tipo catalasa en un nanomaterial no equivale automáticamente a una enzima catalasa comercial ni a una solución lista para cualquier efluente industrial [10].

La comparación es útil porque muestra dos caminos tecnológicos. La catalasa enzimática ofrece especificidad biológica y una reacción conocida hacia agua y oxígeno; los catalizadores tipo enzima pueden aportar estabilidad material, pero pueden introducir preocupaciones sobre recuperación,

toxicidad, liberación de partículas, selectividad y compatibilidad regulatoria. La selección depende del caso de uso, del riesgo ambiental y de la arquitectura del tratamiento [11].

Para un usuario industrial que solo necesita retirar H_2O_2 residual en una corriente acuosa, la catalasa sigue siendo una opción directa y comprensible. Las nanozimas son un campo de investigación activo, pero su adopción práctica en aguas residuales exige evaluar no solo la velocidad de reacción, sino también el destino del material catalítico y su interacción con la matriz [12].

Relación con procesos Fenton y oxidación avanzada

El peróxido de hidrógeno también se usa en procesos de oxidación avanzada, como sistemas tipo Fenton, donde se generan especies oxidantes para degradar contaminantes orgánicos. En esos procesos, el H_2O_2 es parte activa de la química de tratamiento; eliminarlo demasiado pronto reduciría la eficacia oxidativa. La catalasa, por tanto, se ubica después de la etapa oxidativa, cuando el peróxido residual ya no es deseado [13].

Esta distinción evita errores de diseño. La catalasa no debe añadirse a una etapa donde el peróxido aún debe reaccionar con contaminantes objetivo; se usa cuando se quiere terminar la acción oxidante. En una línea integrada, puede funcionar como “apagado” enzimático del H_2O_2 antes de biología, membranas, descarga o reutilización, siempre que las condiciones de la corriente sean compatibles con la enzima [1].

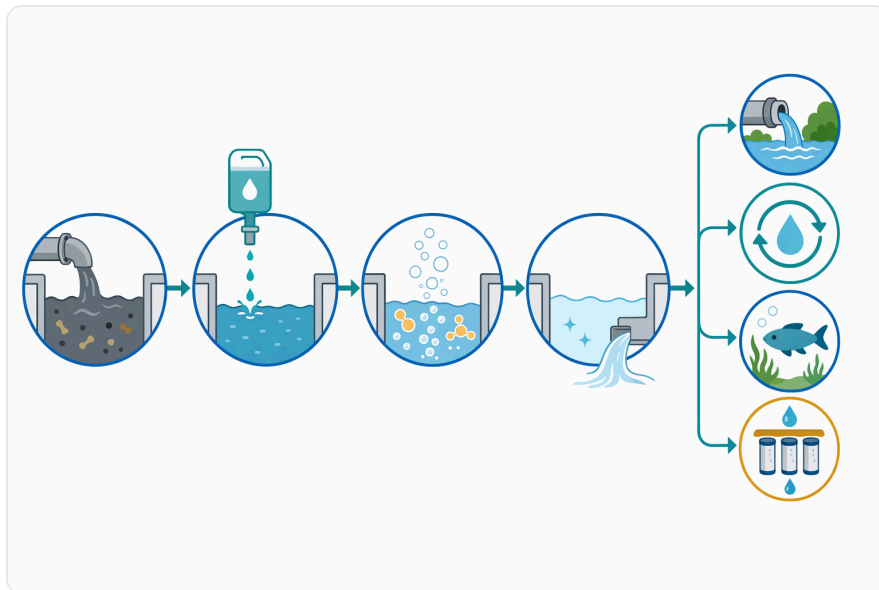


Figure 6. 실용적인 카탈라아제 처리 단계는 처리수와의 적합성, 효과적인 혼합, 충분한 접촉 시간, 산소 관리, 잔류 과산화물 감소 확인에 달려 있다.

Beneficios técnicos realistas

El beneficio principal es la selectividad. La catalasa se dirige al H_2O_2 , lo que permite resolver un problema definido sin rediseñar todo el tratamiento de aguas. En efluentes donde el oxidante residual es la causa de interferencia, esta selectividad puede ser más valiosa que una reacción química menos específica que modifique otras características del agua ^[1].

El segundo beneficio es la reducción de aportes químicos secundarios. Al convertir H_2O_2 en agua y oxígeno, la catalasa puede disminuir la necesidad de neutralizantes reductores que añaden sales o incrementan la carga química del efluente. Este beneficio es especialmente relevante cuando la planta busca reducir conductividad, lodos, subproductos o variabilidad asociada a adiciones químicas ^[4].

El tercer beneficio es la protección de etapas posteriores. Retirar H_2O_2 antes del teñido puede mejorar consistencia de color; antes de un reactor biológico puede reducir estrés oxidativo; antes de membranas o recirculación puede evitar interacciones no deseadas con materiales y biofilms. La utilidad no proviene de que la catalasa sea una solución universal, sino de que elimina una especie reactiva concreta en el momento adecuado ^[9].

Límites: lo que la catalasa no debe prometer

La catalasa no elimina todos los contaminantes de aguas residuales industriales. No precipita metales, no desaliniza, no retiene sólidos, no degrada por sí sola todos los colorantes, no sustituye carbón activado, membranas, coagulación, oxidación avanzada ni tratamiento biológico completo. Su alcance técnico es la descomposición de H_2O_2 residual ^[6].

Tampoco corrige una matriz incompatible. Si el efluente contiene condiciones extremas o sustancias que inactivan rápidamente la proteína, el rendimiento puede disminuir. En ese caso, puede ser necesario ubicar la etapa en otro punto del proceso o acondicionar la corriente dentro de los procedimientos normales de la planta. Las enzimas industriales ofrecen ventajas de selectividad y sostenibilidad, pero su desempeño depende del entorno operativo ^[7].

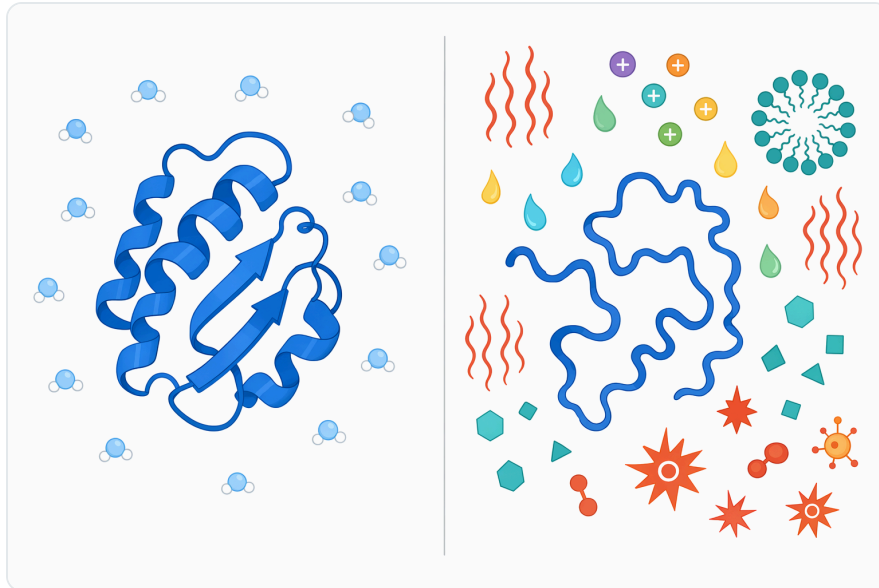


Figure 7. 페수 조건이 단백질 구조를 손상시키거나 효소의 활성 부위를 억제하면 카탈라아제의 성능이 저하될 수 있다.

Finalmente, la catalasa no sustituye la responsabilidad del usuario de cumplir normativa local y controles internos. El CoA y la SDS incluidos con el pedido apoyan documentación y manejo seguro, pero la decisión de uso, validación en planta y cumplimiento regulatorio corresponden al usuario industrial y a sus procedimientos establecidos .

Suministro por Enzymes.bio

Enzymes.bio ofrece Catalase Enzyme For Wastewater Treatment como proveedor en línea para uso industrial y de procesamiento. El producto se comercializa en unidades de 1 kg, y la documentación CoA y SDS se proporciona junto con el pedido. Esta guía tiene finalidad técnica y educativa: explica el fundamento, aplicaciones y límites de la catalasa para efluentes con H_2O_2 residual, sin presentar a Enzymes.bio como fabricante, laboratorio o diseñador de plantas .

Para compradores técnicos, lo esencial es entender el encaje de proceso. La catalasa es adecuada cuando existe una corriente con peróxido de hidrógeno residual que debe eliminarse antes de una etapa sensible o antes de descarga. Si el problema principal del efluente son otros contaminantes, la catalasa puede formar parte de un tren de tratamiento, pero no debe ser la única medida ^[2].

Conclusión

Catalase Enzyme For Wastewater Treatment es una herramienta enzimática específica para eliminar peróxido de hidrógeno residual en aguas residuales industriales. Su fundamento es sólido: la catalasa transforma H_2O_2 en agua y oxígeno mediante un ciclo catalítico especializado, lo que permite reducir la

carga oxidante sin recurrir necesariamente a neutralizantes reductores convencionales ^[1].

Su mejor uso se encuentra en puntos del proceso donde el H₂O₂ ya cumplió su función: después de blanqueo textil, oxidación en papel y celulosa, limpieza, desinfección, procesos electrónicos o etapas con peróxido antes de biología, membranas, recirculación o descarga. Sus límites también son claros: no es un tratamiento integral para todos los contaminantes, depende de condiciones compatibles y debe integrarse dentro de la estrategia global de tratamiento de cada planta ^[5].

Pedir Catalase Enzyme For Wastewater Treatment en línea

Se vende en unidades de 1 kg, en stock y listo para enviar. Haga su pedido directamente en nuestra tienda: pague en línea y procesaremos su pedido. Con cada pedido se incluyen un Certificado de Análisis y una Ficha de Datos de Seguridad.

[Comprar Catalase Enzyme For Wastewater Treatment →](#)

Referencias

Numeradas por orden de primera cita. Fuentes de acceso abierto, verificadas como disponibles en el momento de publicación; los números de cita en el texto enlazan aquí.

1. Abdalbagemohammedabdalsadeg, S., Xiao, B., Ma, X., Li, Y., Wei, J., Moosavi-Movahedi, A., Yousefi, R., ... et al. (2024). Catalase immobilization: Current knowledge, key insights, applications, and future prospects - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133941 .
2. Tripathy, S., Kar, O., & Pradhan, A. (2025). Challenges and Innovations in Industrial Wastewater Treatment: Safeguarding Water Resources and Promoting Sustainable Practices. *Water, Air and Soil Pollution*, 236.
3. Fenta, W. A., Haile, A., & Nalankilli, G. (2017). Removal of Residual Hydrogen Peroxide in Cotton Bleaching using Catalase Enzyme. *International journal of industrial engineering*.
4. Khan, M. F. (2025). Recent Advances in Microbial Enzyme Applications for Sustainable Textile Processing and Waste Management. *The Scientist*.
5. Molla, N. U., Momotaj, M., Shingo, P. K., Ahammed, M., & Ahmed, M. I. (2024). Advancements in Membrane Technologies for Industrial Wastewater Treatment: Challenges, Benefits, and Future Directions. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*.
6. Ma, C., Zhang, H., Liu, Z., Meng, X., Chen, S., Zhang, J., Li, Y., ... et al. (2025). Treatment options of nitrogen heterocyclic compounds in industrial wastewater: From fundamental technologies to energy valorization applications and future process design strategies. *Water Research*, 281, 123575 .

7. Silva Amatto, I. V., Rosa-Garzon, N. G., Oliveira Simões, F. A., Santiago, F., Silva Leite, N. P., Martins, J. R., & Cabral, H. (2021). Enzyme engineering and its industrial applications. *Biotechnology and applied biochemistry*, 69, 00 - 00.
8. Maghraby, Y. R., El-Shabasy, R. M., Ibrahim, A. H., & Azzazy, H. M. (2023). Enzyme Immobilization Technologies and Industrial Applications. *ACS Omega*, 8, 5184 - 5196.
9. Panagopoulos, A., & Michailidis, P. (2025). Membrane Technologies for Sustainable Wastewater Treatment: Advances, Challenges, and Applications in Zero Liquid Discharge (ZLD) and Minimal Liquid Discharge (MLD) Systems. *Membranes*, 15.
10. Lopez-Cantu, D. O., González-González, R. B., Melchor-Martínez, E. M., Martínez, S. A. H., Araújo, R., Parra-Arroyo, L., Sosa-Hernández, J. E., ... et al. (2021). Enzyme-mimicking capacities of carbon-dots nanozymes: Properties, catalytic mechanism, and applications - A review.. *International Journal of Biological Macromolecules*.
11. Pan, X., Yao, Y., Zhang, M., Yuan, X., Yao, Q., & Hu, W. (2024). Enzyme-mimic catalytic activities and biomedical applications of noble metal nanoclusters.. *Nanoscale*.
12. Qasim, M., Arif, M., Naseer, A., Ali, L., Aslam, R., Abbasi, S. A., Qamar, M., ... et al. (2024). Biogenic Nanoparticles at the Forefront: Transforming Industrial Wastewater Treatment with TiO₂ and Graphene. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*.
13. Tanyol, M., Serdar, O., Ketenalp, Z., Yildirim, N., Erguven, G., & Yildirim, N. (2024). The RSM-CCD Optimization of Fenton Process for Industrial Wastewater Treatment and Determination of Treatment Efficiency Using Some Biochemical Responses in *Dreissena polymorpha*. *ChemistrySelect*.

Contactar con Enzymes.bio

¿Tiene preguntas sobre un pedido? Nuestro equipo estará encantado de ayudarle.

CORREO ELECTRÓNICO wholesale@enzymes.bio

TELÉFONO (EE. UU.) **+1 (507) 428-6057**

[Contáctenos →](#)



400+ Clientes B2B



60+ socios universitarios de investigación



54 atendidos en todo el mundo

© 2026 Enzymes.bio · Suministro de enzimas industriales y para procesamiento de alimentos · No apto para consumo humano ni venta minorista.