

Informe Técnico de Reingeniería Estratégica: Evolución del Eco Capturador hacia Sistemas de Extracción en Fase Sólida Magnética ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2-\text{SH}$) para el Arco Minero

Resumen Ejecutivo

Este documento, elaborado por la Dirección Técnica de **Eco Capturador** (filial de Ultra Seco, C.A.), presenta la hoja de ruta definitiva para la transformación de nuestra tecnología actual. Pasaremos de ser un recubrimiento estático de superficies (alfombras) a convertirnos en un sistema dinámico de nanoadsorbentes magnéticos recuperables. Esta evolución responde a la necesidad crítica de capturar el oro ultrafino (<0.01 mm) que la gravedad y las alfombras tradicionales —incluso las funcionalizadas con nuestra fórmula actual— pierden sistemáticamente en los relaves.¹

La modificación central implica la síntesis de un núcleo magnético de magnetita (Fe_3O_4), su recubrimiento con una capa protectora de sílice (SiO_2) utilizando silicato de sodio industrial (para viabilidad económica en Venezuela), y su funcionalización con nuestro agente de acoplamiento estándar KH-590 (3-mercaptopropiltrimetoxisilano).² Además, redefinimos el rol de la goma xantana: de ser un estabilizador de emulsión en spray, pasa a ser un modificador reológico crítico que permite la suspensión de partículas de alta densidad sin sacrificar su recuperabilidad magnética.⁴

Como Director Técnico, mi dictamen es claro: esta es la única vía para masificar una minería verdaderamente libre de mercurio que sea rentable para el pequeño minero. No estamos hablando de ciencia de cohetes, sino de química de superficies aplicada al barro. A continuación, detallo la ingeniería del proceso, desde el reactor hasta el canalón.

1. El Cambio de Paradigma: De la Captura Pasiva a la Interceptación Activa

1.1 Limitaciones de la Tecnología Actual en el Contexto del Arco

Minero

Actualmente, Eco Capturador opera bajo un principio de **funcionalización de superficie estática**. Nuestra fórmula (Nanopartículas de \$SiO₂\$ al 5% + KH-590 + Goma Xantana) crea una superficie superhidrofóbica ("Efecto Loto") y químicamente activa (grupos tiol -SH) sobre las alfombras.¹ Si bien esto mejora la recuperación en un 40% al reducir la colmatación por arcillas y atrapar oro por afinidad química, existe una limitación física insalvable: la **transferencia de masa**.

En un canalón (sluice box) con un flujo turbulento de lodo, la probabilidad de que una partícula de oro de 5 micras impacte físicamente contra los sitios activos de la alfombra es estadística, no determinista. Gran parte del oro fino viaja en la capa superior del flujo o queda suspendido por fuerzas hidrodinámicas, nunca tocando la alfombra ("el oro flota", como dicen los mineros).⁶

1.2 La Solución: Adsorción Volumétrica Magnética

La introducción de nanopartículas magnéticas funcionalizadas (\$Fe₃O₄@SiO₂-SH\$) transforma el mecanismo de captura. Ya no esperamos a que el oro toque la alfombra; enviamos "drones" químicos a buscar el oro en toda la columna de líquido.

Al dispersar estas nanopartículas en el tanque de agitación previo al canalón o en las piscinas de cianuración/lixiviación:

1. **Aumentamos el Área de Contacto:** Pasamos de los \$10 m²\$ de una alfombra a miles de metros cuadrados de superficie activa dispersa en el lodo.²
2. **Cinética Rápida:** La distancia que debe recorrer un ion de oro (\$Au⁺\$ o \$AuCl₄⁻\$) para encontrar un grupo tiol se reduce drásticamente. La adsorción ocurre en minutos, no en horas.⁹
3. **Separación Determinista:** Una vez cargadas con oro, las partículas son magnéticas. Ya no dependemos de la gravedad (que falla con el oro fino), sino del magnetismo. Un campo magnético externo puede recuperar el 99% de estas partículas, arrastrando el oro con ellas, independientemente de la densidad del fluido o la presencia de arcillas.¹¹

Esta tecnología no solo sustituye al mercurio; lo supera en eficiencia técnica para el oro que hoy se pierde.

2. Ingeniería Química del Nuevo Compuesto: \$Fe₃O₄@SiO₂-SH\$

Para fabricar esto en Maracaibo y que sea costeable para un minero en El Callao, no podemos usar reactivos de grado analítico importados (como el TEOS). Debemos adaptar la síntesis a

reactivos industriales.

2.1 Síntesis del Núcleo Magnético (Fe_3O_4)

El núcleo debe ser **magnetita** (Fe_3O_4) y debe ser **superparamagnética**. Esto significa que las partículas responden fuertemente a un imán, pero no se quedan pegadas entre sí cuando se retira el imán (remanencia magnética cero). Esto es vital para poder lavarlas, eluirlas y reutilizarlas.³

Protocolo de Co-Precipitación Industrial Adaptado:

Utilizaremos el método de co-precipitación química por ser escalable y económico.¹⁵

Reacción Principal:



Especificaciones del Proceso:

- **Precursosores:** Sulfato Ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y Cloruro Férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) o Sulfato Férrico. La relación molar $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ debe ser estrictamente 1:2. Si hay exceso de Fe^{3+} , obtendremos óxidos no magnéticos.¹⁷
- **Medio Alcalino:** Hidróxido de Sodio (NaOH) industrial o Amoníaco (NH_4OH). El NaOH es más accesible y barato en Venezuela.
- **Temperatura:** La reacción debe ocurrir entre **60°C y 80°C**. Esto mejora la cristalinidad y la saturación magnética (M_s), crucial para que el imán las capture rápido en un lodo viscoso.¹⁹
- **Atmósfera:** La magnetita se oxida a maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) o hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, no magnética) con el oxígeno del aire. Idealmente se usa Nitrógeno (N_2). En la "realidad del barro", utilizaremos agua previamente hervida (desgasificada) y mantendremos el reactor cerrado con mínima cámara de aire.²

2.2 El Recubrimiento de Sílice: El Método del Silicato de Sodio

Aquí es donde nos diferenciamos de la academia y entramos en la industria. La mayoría de los papers usan TEOS (Tetraetilortosilicato).²² El TEOS es caro, inflamable y requiere etanol. Nosotros usaremos **Silicato de Sodio (Vidrio Líquido)**, un insumo común en la industria de jabones y construcción.²³

Ventajas del Silicato de Sodio (Na_2SiO_3):

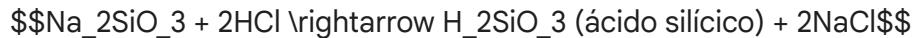
- **Costo:** Una fracción del costo del TEOS.²⁵
- **Solvente:** Agua (no etanol). Mucho más seguro y barato.²⁴
- **Escalabilidad:** Se puede realizar en reactores de tanque agitado estándar.²⁷

Protocolo de Recubrimiento "One-Pot" (Un solo reactor):

No necesitamos lavar y secar la magnetita antes de recubrirla. Podemos hacerlo

secuencialmente:

1. En la suspensión de magnetita fresca, añadimos la solución de Silicato de Sodio.
2. Acidificación Controlada: Titulamos lentamente con Ácido Clorhídrico (HCl) diluido hasta llegar a pH neutro (7-8).



3. La sílice precipita sobre los núcleos de hierro, formando una capa ("shell") de 5-10 nm.²⁴
4. **Función de la Capa:** Esta capa protege al hierro de disolverse cuando usemos ácido para recuperar el oro (regeneración) y provee los grupos hidroxilo (-OH) necesarios para anclar el KH-590.²

2.3 Funcionalización con KH-590 (La "Garra" Química)

El KH-590 (3-Mercaptopropiltrimetoxisilano) es el componente que ya conocemos y manejamos.

Reacción de Silanización:

Los grupos metoxi del KH-590 se hidrolizan y se condensan con los grupos -OH de la capa de sílice recién formada.



Parámetros Críticos:

- Se añade directamente al reactor después de formar la capa de sílice.
- Temperatura: Mantener a ~80°C por 2-3 horas para asegurar un enlace covalente fuerte. Si el enlace es débil, perderemos el KH-590 (y el oro) durante el lavado ácido.²
- El resultado es un polvo negro (o suspensión) que responde al imán y tiene una avidez química extrema por el oro.

3. Reología y Estabilización: El Nuevo Rol de la Goma Xantana

En nuestro producto actual, la goma xantana es un ligante. En el **Eco Capturador Magnético**, su función es la **Estabilización de Suspensión**.⁴

3.1 El Problema de la Sedimentación

La magnetita es densa (~5.2 g/cm³). Si vendemos el producto líquido sin estabilizador, las partículas se irán al fondo del envase y se compactarán ("hard cake") antes de llegar a la mina.

3.2 La Solución Reológica

La goma xantana es perfecta porque es **pseudoplástica** (shear-thinning).⁴

- **En Reposo (Botella):** Tiene altísima viscosidad a baja tasa de corte. Forma una red tridimensional que atrapa las partículas pesadas de magnetita, impidiendo que sedimenten. Esto garantiza la vida útil en estantería (shelf-life).³²
- **En Uso (Bombeo/Agitación):** Cuando el minero agita el envase o lo vierte, la viscosidad cae dramáticamente, permitiendo que el producto fluya como agua y se disperse instantáneamente en el lodo.⁵

Concentración Óptima:

Los estudios indican que una concentración de 0.2% a 0.3% (2-3 g/L) de xanthan es el punto óptimo (critical threshold). Menos de eso, y la magnetita sedimenta en días. Más de eso, y la viscosidad será tan alta que interferirá con la separación magnética.⁵

3.3 El Conflicto Viscosidad vs. Separación Magnética

Aquí entra la física. Para recuperar las partículas, la fuerza magnética (F_m) debe vencer a la fuerza de arrastre del fluido (F_d).

$$F_d = 3\pi \eta d v$$

Donde η es la viscosidad. Si el lodo es muy viscoso (exceso de xantana o arcillas), el imán no podrá "sacar" las partículas del flujo a tiempo.¹³

Recomendación Operativa: El producto concentrado (con alta xantana) se diseña para diluirse en el tanque del minero. La concentración final de xantana en el proceso de lavado debe ser baja (<0.05%) para no frenar la captura magnética.

4. Diseño del Proceso Operativo en Campo

Para que esto funcione en el Arco Minero, debemos proveer no solo el químico, sino el método.

4.1 Etapa 1: Dosificación y Contacto (Tanque de Agitación)

El minero ya no rocía la alfombra. Ahora dosifica el "Eco Capturador Mag" (la suspensión negra) en un tanque donde está el lodo o la arena aurífera con agua.

- **Tiempo de Residencia:** Se requiere agitación por **15 a 30 minutos**. La cinética de las nanopartículas es rápida debido a su enorme área superficial, pero necesitan tiempo para "encontrar" el oro.⁹

4.2 Etapa 2: Separación Magnética (La Cosecha)

El lodo tratado pasa por un sistema de recuperación magnética. Aquí Ultra Seco tiene una oportunidad de negocio de hardware.

- **Opción Artesanal (Canalón Magnético):** Un canalón modificado donde, debajo de una superficie lisa (acero inoxidable no magnético o plástico), se colocan potentes imanes de Neodimio (NdFeB). Al pasar el lodo, las nanopartículas (ahora cargadas de oro) se "pegan" al fondo mientras la arena y la arcilla siguen de largo.³⁶
- **Opción Semi-Industrial (Tambor Magnético):** Un tambor rotatorio con imanes internos (Low Intensity Magnetic Separator - LIMS). El tambor gira en contraflujo, sacando el concentrado magnético del agua continuamente.³⁸

El resultado es un "concentrado magnético negro" de poco volumen, pero alto valor.

4.3 Etapa 3: Regeneración y Elución (Sin Mercurio)

Aquí sustituimos el "quemado de la amalgama" por la química verde (o menos tóxica). Usaremos **Tiourea Ácida** para separar el oro de las partículas magnéticas sin destruirlas, permitiendo su reutilización.

Reactivos de Elución:

Una solución de Tiourea (\$0.5 M\$) + Ácido Clorhídrico (\$0.5 - 1.0 M\$).²

- El HCl es necesario para estabilizar la tiourea y evitar que se degrade.
- La Tiourea compleja el oro más fuerte que el grupo tiol del KH-590, "arrancándolo" de la nanopartícula.

Protocolo de Elución (El "Balde de Lavado"):

1. Colocar el concentrado magnético en un recipiente plástico.
2. Añadir la solución de Tiourea/HCl.
3. Agitar suavemente por 20 minutos. El oro pasa al líquido.
4. Usar un imán para retener el polvo negro en el fondo y decantar (verter) el líquido amarillo claro (solución rica).
5. **Lavar el polvo negro:** Enjuagar con agua limpia para quitar el ácido. ¡Listo para usarse de nuevo! (Ciclo 2 de 8).⁹

Recuperación final del Oro:

Al líquido rico se le añade polvo de Zinc o Aluminio (cementación), o se usa electrólisis, para precipitar el oro metálico sólido.⁴²

5. Análisis de Seguridad y Manejo de Riesgos

Es mi deber ser franco: la Tiourea es más segura que el cianuro y no se bioacumula como el

mercurio, pero **no es agua bendita**. Es un sospechoso carcinógeno y tóxico para la vida acuática.⁴⁴

5.1 Protocolo de Circuito Cerrado

La elución **NO PUEDE** hacerse en el río. Debe establecerse un protocolo estricto de "Circuito Cerrado".

- La elución ocurre en un recipiente confinado.
- La solución de tiourea se reutiliza hasta que se satura.
- Los residuos deben neutralizarse (con cal o soda cáustica) antes de desecharse en pozos de relave, nunca al cauce de agua.

5.2 Estabilidad del Recubrimiento

Si la capa de sílice ($\$SiO_2\$$) no es perfecta, el ácido clorhídrico de la elución atacará el núcleo de magnetita ($\$Fe_3O_4\$$), disolviéndolo ($\$Fe_3O_4 + 8HCl \rightarrow FeCl_2 + 2FeCl_3\$$).

- **Prueba de Calidad (QC):** Antes de vender un lote, sumergir una muestra en HCl 1M por 24 horas. Si el líquido se torna amarillo intenso (hierro disuelto), la capa de sílice falló. El recubrimiento con Silicato de Sodio debe optimizarse (pH y velocidad de adición) para garantizar esta impermeabilidad.²⁸

6. Análisis Económico Comparativo

Factor	Método Académico (TEOS)	Método Industrial (Silicato de Sodio)	Impacto para Ultra Seco
Costo Precursor ($\\$SiO_2\\$)	Alto (> \$20/kg)	Muy Bajo (< \$1/kg)	Viabilidad: Permite un precio competitivo. ²⁵
Solvente Requerido	Etanol (Inflamable/Caro)	Agua	Seguridad: Elimina riesgo de incendio en planta. ²⁴
Calidad de Partícula	Esferas perfectas (Monodispersas)	Irregulares (Polidispersas)	Aceptable: Para minería no necesitamos perfección farmacéutica,

			necesitamos resistencia. ²⁵
Subproducto	Etanol	Sal (NaCl)	Manejo: La sal se lava fácil.

Conclusión Financiera: La síntesis con Silicato de Sodio reduce el costo de materias primas en un **90%** comparado con el método TEOS, haciendo viable la producción de toneladas de producto.

7. Conclusiones y Recomendaciones Estratégicas

Para transformar Eco Capturador en un sistema de **Recuperación Magnética Activa**, debemos ejecutar los siguientes pasos:

1. **Escalar la Síntesis:** Construir reactores de co-precipitación de hierro y recubrimiento con silicato de sodio. La clave es el control de temperatura (80°C) y pH.
2. **Reformular el Producto:** Crear la suspensión "Eco Capturador Mag" con una carga de magnetita funcionalizada del 10-20% y xantana al 0.2% para estabilidad.
3. **Desarrollar el Kit de Hardware:** Fabricar y vender "Trampas Magnéticas" (sluices o insertos magnéticos) adaptables a los equipos existentes de los mineros.
4. **Educación y Seguridad:** Capacitar a los mineros en el proceso de elución con Tiourea (el "lavado químico") enfatizando que **recupera el oro que el mercurio no puede tocar**, incentivando así el abandono del mercurio por codicia (más oro) y no solo por ecología.

Estamos ante la oportunidad de estandarizar la nanotecnología en la selva. El barro es sucio, pero nuestra química debe ser impecable.

AuroGéminis
Director Técnico
Eco Capturador / Ultra Seco, C.A.

Fuentes citadas

1. one page eco capturador.docx
2. Preparation of thiol-modified Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles and their application for gold recovery from dilute solution - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/273412333_Preparation_of_thiol-modified_Fe3O4SiO2_nanoparticles_and_their_application_for_gold_recovery_from_dilute_solution
3. Magnetic behavior of Fe₃O₄ nanoparticles on post- HCL treatment in synthesis - Research India Publications, acceso: diciembre 18, 2025,

- https://www.ripublication.com/ijpap17/ijpapv13n3_01.pdf
- 4. Effect of Silica Nanoparticles in Xanthan Gum Solutions: Evolution of Viscosity over Time, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.mdpi.com/2079-4991/12/11/1906>
 - 5. Transport in Porous Media of Highly Concentrated Iron Micro- and Nanoparticles in the Presence of Xanthan Gum | Request PDF - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/40036823_Transport_in_Porous_Media_of_Highly_Concentrated_Iron_Micro-_and_Nanoparticles_in_the_Presence_of_Xanthan_Gum
 - 6. FINE GOU) RECOVERY OF SELECTED SLUICEBOX CONFIGURATIONS, acceso: diciembre 18, 2025,
https://ygsftp.gov.yk.ca/ygsftp/publications/tech/fine_gold_recovery_sluiceboxes.pdf
 - 7. optimal design of sluice-boxes for fine gold recovery, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://publicacoes.entmme.org/filebase/1992/G.K.N.S.%20SUBASINGHE%20-%20OPTIMAL%20DESIGN%20OF%20SLUICE-BOXES%20FOR%20FINE%20GOLD%20RECOVERY.PDF>
 - 8. acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.trymintly.com/blog/role-of-nanotechnology-in-gold-extraction-process/#:~:text=One%20key%20application%20is%20the,efficiency%20of%20the%20extraction%20process.>
 - 9. Recovery of Gold in Au/Cu/Mg System from SH/Fe₃O₄@SiO₂ as a Magnetically Separable and Reusable Adsorbent - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/354404757_Recovery_of_Gold_in_AuCuMg_System_from_SHFe3O4SiO2_as_a_Magnetically_Separable_and_Reusable_Adsorbent
 - 10. High-efficiency adsorption of phenanthrene by Fe₃O₄-SiO₂-dimethoxydiphenylsilane nanocomposite: Experimental and theoretical study - PubMed, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34449349/>
 - 11. Magnetic Adsorbents for the Recovery of Precious Metals from Leach Solutions and Wastewater - MDPI, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.mdpi.com/2075-4701/7/12/529>
 - 12. Functional nanomaterials: Study on aqueous Hg(II) adsorption by magnetic Fe₃O₄@SiO₂-SH nanoparticles | Request PDF - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/284232199_Functional_nanomaterials_Study_on_aqueous_HgII_adsorption_by_magnetic_Fe3O4SiO2-SH_nanoparticles
 - 13. Optimizing the performance of wet drum magnetic separators - SAIMM, acceso: diciembre 18, 2025, <https://www.saimm.co.za/Journal/v110n11p643.pdf>
 - 14. Synthesis and Characterization of Hybrid Core-Shell Fe₃O₄/SiO₂ Nanoparticles for Biomedical Applications - NIH, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5762829/>
 - 15. Synthesis of Silica-Coated Fe₃O₄ Nanoparticles by Microemulsion Method:

- Characterization and Evaluation of Antimicrobial Activity - PMC - NIH, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7153004/>
16. Synthesis and Characterization of a pH- and Temperature-Sensitive Fe₃O₄-SiO₂-Poly(NVCL-co-MAA) Nanocomposite for Controlled Delivery of Doxorubicin Anticancer Drug - NIH, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9963235/>
17. Synthesis and Characterization of a Novel Fe₃O₄-SiO₂@Gold Core-Shell Biocompatible Magnetic Nanoparticles for Biological and Medical Applications - Nanomedicine Research Journal, acceso: diciembre 18, 2025, https://www.nanomedicine-rj.com/article_36904.html
18. Thermal stability of silica-coated magnetite nanoparticles prepared by an electrochemical method | Request PDF - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025, https://www.researchgate.net/publication/236617005_Thermal_stability_of_silica-coated_magnetite_nanoparticles_prepared_by_an_electrochemical_method
19. Tailored Magnetic Fe₃O₄-Based Core–Shell Nanoparticles Coated with TiO₂ and SiO₂ via Co-Precipitation - Semantic Scholar, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pdfs.semanticscholar.org/1557/bedcc27e2188228f7a6b024ac14c2faa4183.pdf>
20. Fe₃O₄ Coated SiO₂ Magnetic Nanoparticles for Enhanced Antibacterial Activity and Electrochemical Sensing - MDPI, acceso: diciembre 18, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-4701/12/12/2145>
21. Functionalization of Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles with Cu(i)-thiosemicarbazone complex as a robust and efficient heterogeneous nanocatalyst for N-arylation of N-heterocycles with aryl halides - PMC - NIH, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10577646/>
22. Core-shell Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles synthesized with well-dispersed hydrophilic Fe₃O₄ seeds, acceso: diciembre 18, 2025, [https://n04.iphy.ac.cn/allpdf/NANOSCALE3\(2011\)701-N04.pdf](https://n04.iphy.ac.cn/allpdf/NANOSCALE3(2011)701-N04.pdf)
23. Effect of concentration of sodium silicate solution in the synthesis of silica-coated magnetite nanoparticles by ultrasonication - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025, https://www.researchgate.net/publication/313264740_Effect_of_concentration_of_sodium_silicate_solution_in_the_synthesis_of_silica-coated_magnetite_nanoParticles_by_ultrasonication
24. Coating of magnetite with mercapto modified rice hull ash silica in a one-pot process - PubMed Central, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4177443/>
25. "comparative study of sodium silicate and TEOS for silica synthesis" - Benchchem, acceso: diciembre 18, 2025, https://www.benchchem.com/pdf/comparative_study_of_sodium_silicate_and_TEOS_for_silica_synthesis.pdf
26. Sodium silicate-derived aerogels: effect of processing parameters on their applications, acceso: diciembre 18, 2025, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/ra/d0ra09793d>

27. Synthesis and Characterization of Magnetic Fe₃O₄@SiO₂ Core/Shell Nanocomposite - AIP Publishing, acceso: diciembre 18, 2025,
https://pubs.aip.org/aip/acp/article-pdf/doi/10.1063/5.0093462/16203535/020010_1_online.pdf
28. One-step synthesis of silica-coated magnetite nanoparticles by electrooxidation of iron in sodium silicate solution - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/234045689_One-step_synthesis_of_silica-coated_magnetite_nanoparticlesby_electrooxidation_of_iron_in_sodium_silicate_solution
29. Synthesis of Silica Coated Magnetic Nanoparticles, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.ijnnonline.net/article_13476.html
30. Emulsions stabilized with mixed SiO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles: mechanisms of stabilization and long-term stability - PubMed, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30617357/>
31. Concentration and Temperature Dependence of Flow Behavior of Xanthan Gum Dispersions | Request PDF - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/229712556_Concentration_and_Temperature_Dependence_of_Flow_Behavior_of_Xanthan_Gum_Dispersions
32. Viscoelastic gels of guar and xanthan gum mixtures provide long-term stabilization of iron micro- and nanoparticles - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/252627258_Viscoelastic_gels_of_guar_and_xanthan_gum_mixtures_provide_long-term_stabilization_of_iron_micro- and_nanoparticles
33. Effect of xanthan gum on aqueous stability of iron-based nanoparticles and their transport in sand porous media, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://agu-do03.confex.com/agu/fm19/meetingapp.cgi/Paper/582310>
34. High Gradient Magnetic Separation of Pure Gd₂O₃ Particles from Pure La₂O₃ Particles - MDPI, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.mdpi.com/2075-4701/13/2/241>
35. A Facile Synthesis of Fe₃O₄@SiO₂@ZnO for Curcumin Delivery - Biointerface Research in Applied Chemistry, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2021/12/20695837126.79948002.pdf>
36. MAGNETIC SLUICE BOX WITH HIGH CONTACT ABILITY - B. Pachejjeff, I. Nishkov and S. Stoev - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Nishkov/publication/308208817_Magnetic_Sluice_Box_with_High_Contact_Ability_for_Heavy_Fine_Minerals/links/57de6f2d08ae4e6f184b4245/Magnetic-Sluice-Box-with-High-Contact-Ability-for-Heavy-Fine-Minerals.pdf
37. Cleangold Sluice | The Mercury Free Technology Atlas, acceso: diciembre 18, 2025, <https://app.mercuryfreetechnology.org/app/technology/cleangold-sludge/>
38. Unlocking the Power of Magnetic Separation Method - JXSC, acceso: diciembre 18, 2025, <https://www.minejxsc.com/blog/magnetic-separation-method/>
39. Which factors influence the performance of magnetic separation systems, and

- why?, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.goudsmitsmagnetics.com/uploads/pdf/Whitepaper_Performance_Factors_For_Magnetic_Separation_Systems.pdf
40. Gold elution curves function of the hydrochloric acid concentration - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/figure/Gold-elution-curves-function-of-the-hydro-chloric-acid-concentration_fig4_260234938
41. Selective recovery of gold from dilute aqua regia leachate of waste printed circuit board by thiol-modified garlic peel - PubMed, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35322369/>
42. Gold Recovery: Chlorination Leaching of Tailings - Start Your Own Gold Mine, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.startyourgoldmine.com/howto/Gold-Recovery-Chlorination-Leaching-of-Tailings.html>
43. Thiourea Gold Leaching - 911Metallurgist, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.911metallurgist.com/blog/thiourea-gold-leaching/>
44. HAZARD SUMMARY IDENTIFICATION REASON FOR CITATION HOW TO DETERMINE IF YOU ARE BEING EXPOSED WORKPLACE EXPOSURE LIMITS WAYS OF RE - NJ.gov, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1853.pdf>
45. METTLER TOLEDO SAFETY DATA SHEET Cleaning solution Thiourea / HCl - Carl ROTH, acceso: diciembre 18, 2025,
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-HTE5-GB-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNlY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3w1MDY4N3xhcHBsaWNhdGlvbi9wZGZ8c2VjdXJpdHIEYXRhc2hlZXRzL2gzNS9oYjkvODk3Mjl5NzA0Mzk5OC5wZGZ8MDMwNWRkZTFhNDVjYjNhYzk5YWVjMTMwNTJjNWQ0MGFiMTUwMTM5YWZiNzAxZmEzYWM0Y2EwYzNjYmZkNGYyMQ>
46. Stability of Fe₃O₄ nanoparticles in various model solutions | Request PDF - ResearchGate, acceso: diciembre 18, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/260995046_Stability_of_Fe3O4_nanoparticles_in_various_model_solutions