

PROTOCOLO DEL SISTEMA DE NANO-BIORREMEDIACIÓN

Para la caracterización, el diseño, el montaje y el mantenimiento durante el tratamiento de aguas residuales de curtiembres

2024



UNIVERSIDAD
CENTRAL

Vigilada Mineducación



Gobernación de Cundinamarca



COLOMBIA
POTENCIA DE LA
VIDA



Ciencias

1. INTRODUCCIÓN

Los protocolos son documentos esenciales que detallan, paso a paso, las actividades necesarias, exigiendo una aplicación rigurosa en términos de tiempo y control. Su estricta observancia es crucial, ya que cualquier desviación podría afectar negativamente el éxito del proceso (Minciencias, 2020). En este sentido, este trabajo presenta protocolos diseñados para la instalación, operación y mantenimiento de un sistema de nano-biorremediación para tratar aguas residuales de curtiembres. La creación de estos documentos se fundamenta en la experiencia de los grupos de investigación, respaldada por un enfoque metodológico que se lleva a cabo mediante investigaciones en laboratorio y ensayos in situ, destacando la aplicación práctica de los protocolos en condiciones reales de campo.

La industria del curtido enfrenta retos significativos en la gestión de sus aguas residuales, especialmente en la Cuenca Alta del Río Bogotá. La necesidad de abordar estos desafíos de manera eficaz no solo responde a la demanda ambiental y regulatoria, sino también a la responsabilidad de garantizar prácticas sostenibles en el sector. La implementación de un sistema de nano-biorremediación se presenta como una respuesta innovadora y prometedora, no solo para mitigar los impactos negativos en los recursos hídricos locales, sino también para fortalecer la viabilidad económica de las curtiembres en la región. Este protocolo de investigación y desarrollo surge en este contexto, donde la colaboración entre entidades gubernamentales, académicas y empresariales se vuelve esencial para lograr soluciones integrales y sostenibles

Los protocolos que se presentan son el resultado del proyecto "Investigación y Desarrollo de un Sistema de Nano-Biorremediación para el Tratamiento de Aguas Residuales de las Curtiembres en la Cuenca Alta del Río Bogotá del Departamento de Cundinamarca". Este proyecto, identificado con el código 2020000100441, ha sido financiado por el Sistema General de Regalías del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. La ejecución de este proyecto se lleva a cabo gracias a la alianza interinstitucional entre la Gobernación de Cundinamarca y la Universidad Central. Es importante resaltar que, durante la formulación de estos protocolos, se consideraron las perspectivas y aportes del gremio empresarial de curtidores de Villapinzón y Chocontá. Se sugiere acompañar la revisión de estos protocolos con el manual que presenta los conceptos teóricos esenciales del sistema de tratamiento pasivo.

2. OBJETIVO

Proveer un protocolo para la gestión ambiental en el ámbito de las industrias de curtiembres, abordando la caracterización, el diseño y montaje, y el monitoreo y el mantenimiento de un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los procesos de curtido y de pelambre.

3. MARCO LEGISLATIVO

Las aguas residuales generadas en el proceso de transformación de las pieles exhiben una concentración significativa de metales, especialmente Cr y Fe. Posteriormente, se observa que los valores de pH y otros parámetros se sitúan fuera de los rangos permitidos por las normativas correspondientes para vertimientos puntuales en cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público para la cuenca alta del río Bogotá (Resolución 0631 de 2015/ Acuerdo 08 CAR de 2004) (Tabla 1).

Tabla1. Caracterización y normativa para las aguas residuales de curtiembre

PARÁMETROS	Cutido	Pelambre	RESOLUCIÓN 0631/2015	ACUERDO 08 CAR/ 2004
pH	3,8	9,32	6,0 A 9,0	6,0 A 9,0
DO (mg/L)	1,85	0,09	ND	ND
ORP (mV)	185,1	-587,9	ND	ND
DQO (mg/L)	12300	16550	1200	400
DBO (mg/L)	ND	4250,0	600	200
TDS (mg/L)	34,17	22,55	600	1000
Cr Total (mg/L)	3649,6	0	1,5	<0,01
Cr (VI) (mg/L)	49,6	0	SD	<0,01
ND= No Determinado				

Además, al concluir la vida útil, los tratamientos de nano-biorremediación pueden generar residuos sólidos que se clasifican como tóxicos, inertes, inapropiados para la disposición en rellenos sanitarios o peligrosos, de acuerdo con lo establecido en el decreto 4741 de 2005.

4. DEFINICIONES

Las definiciones esenciales están disponibles en el manual dedicado a la selección y operación de un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de aguas residuales en el sector de curtiembres.

5. PROTOCOLOS

A continuación, se presentan tres protocolos que corresponden a la caracterización del DAM con el fin de seleccionar las unidades operacionales, el diseño y montaje de la planta piloto de bio-nano tratamiento y los parámetros de operación y el mantenimiento de la misma.

		
Protocolo 1: Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de curtiembre.		
Enero 2024	Objetivo: Caracterizar las aguas residuales de curtiembre, con el propósito de seleccionar las unidades operacionales del sistema de nano-biorremediación	
Número de Páginas:		
Palabras Clave: parámetros fisicoquímicos; metales disueltos; oxígeno disuelto; potencial de oxido-reducción, demanda química de oxígeno		

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Muestreo

- 5 tubos falcón de polipropileno de 50mL previamente lavados con HNO₃ 1% y con tapa plástica; dos para muestra de metales, uno para muestras de DQO, uno para muestras de DBO, uno para muestras de sulfuro y uno para muestras de pH, ORP, DO.
- Un recipiente plástico de un galón con agua destilada}
- Una nevera Plástica de 50 L
- Tres geles de refrigeración
- Un rollo de papel de cocina
- 5mL de HNO₃ analítico
- 5mL de H₂SO₄
- Una Sonda multiparamétrica (pH/ORP/DO Hanna;HI 9828) previamente calibrado

Análisis en Laboratorio

- Micropipetas 250µL, 500µL, 1mL, 5mL
- Espectrofotómetro UV-VIS (Genesys™ 10; THERMO)
- Espectrómetro de Absorción atómica (Varian 240 FS)
- Balanza analítica
- Sonda multiparamétrica (Hanna;HI 9828) previamente calibrado

PROCEDIMIENTO

1. Caracterice las aguas residuales de la curtiembre al menos en tres eventos de muestreo (uno por mes) y tome muestras de datos en los contenedores de almacenamiento utilizando la sonda multiparamétrica (Hanna;HI 9828) previamente calibrado (Figura 1).



Figura 1-Muestreo de las aguas residuales de la curtiembre en la empresa Colombo Italiana de Curtidos (ITALCUR)

2. Determine In situ el pH, potencial de óxido-reducción (ORP) y oxígeno disuelto (OD) utilizando una sonda multiparamétrica (HI 9828, Hanna Instruments; Woonsocket, RI) previamente calibrada.
3. Recolecte cinco muestras (50mL) en tubos falcón de polipropileno; dos para cuantificación de metales disueltos que serán preservadas con HNO_3 (pH 2,0), uno para DQO que serán preservado con H_2SO_4 (pH 2,0), uno para determinación de sulfato y uno para DBO sin modificar su pH.
4. Refrigere todas las muestras a 4°C durante el transporte y hasta su análisis.
5. Cuantifique Los metales disueltos (Fe y Cr) por espectrometría de absorción atómica (Varian 240-FS, Agilent Technologies; Santa Clara, CA) usando el método 7000B (USEPA, 2007)
6. Cuantifique los Sulfuros por el método 4500-D utilizando espectrofotometría UV-VIS a 420 nm (Genesys 10, Thermo Scientific; Waltham, MA) (APHA, 2005).
7. Teniendo en cuenta la norma "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" de la Water Environment Federation, APHA, AWWA, WEF, publicada en 2012, Volumen 5, página 1360, llevar a cabo la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), mediante el método colorimétrico de reflujos cerrados.
9. DBO

RESUMEN DE LOS MÉTODOS

PARÁMETROS	VOLUMEN (mL)	PRESERVACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS	REFERENCIA
pH/ORP/OD	50	Análisis inmediato in situ	D1293 Sonda multiparamétrica	(ASTM, 1995)
Metales	50	500 µL de HNO ₃ -Refrigerado a 4 °C	7000B	(USEPA, 2007)
SO ₄ ²⁻	50	Refrigerado a 4 °C	9038	(USEPA, 2007)
DQO	50	500 µL de H ₂ SO ₄ -Refrigerado a 4 °C	Método colorimétrico de reflujo cerrado	(APHA, 2012)




REFERENCIAS

APHA, (American Public Health Association) (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater In: Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. (Eds.), Washington, DC, pp. 1–12.

APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater 22nd ed. Ed. American Public Health Association. Washington. 2012, 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0

ASTM, (American Society for Testing and Materials) (1995). Standard test method for pH in water: Annual book of ASTM standards Vol. 04.08, Section D D 2216 – 98 Washington, DC, pp.27-34.

USEPA, (US.Environmental Protection Agency). (2007). Method 7000B, Flame atomic absorption spectrophotometry, pp. 1–12.

 <p>Gobernación de Cundinamarca</p>	 <p>COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA</p> <p>Ciencias</p>	 <p>UNIVERSIDAD CENTRAL</p> <p>Grupo de Investigación en Biotecnología y Nanotecnología</p>
<p>Protocolo 2: Diseño y montaje de la planta piloto de nano-biorremediación para las aguas residuales de curtiembre.</p>		
<p>Enero 2024</p>	<p>Objetivo: Diseñar y construir un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre, basándose en los resultados previamente obtenidos en los ensayos de laboratorio</p>	
<p>Número de Páginas:</p>		
<p>Palabras Clave: planta piloto; nano-biorremediación; aguas residuales; curtiembre; instalación</p>		

La iniciativa de diseñar y construir un sistema de nano-biorremediación para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre representa un hito técnico significativo en el marco de la investigación y desarrollo en la gestión ambiental industrial. La trascendencia de esta tarea radica en la convergencia de avances científicos, tecnológicos y ambientales, con el propósito de abordar los desafíos críticos que la industria del curtido enfrenta en términos de impactos ambientales y gestión de aguas residuales.

Este proyecto encuentra sus raíces en los resultados prometedores obtenidos en ensayos de laboratorio, donde la optimización de procesos y la eficacia de la nano-biorremediación se han validado de manera inicial. Ahora, la transición hacia la implementación en la planta busca no solo poner a prueba la viabilidad de estos resultados en un entorno real, sino también contribuir a la evolución de prácticas industriales hacia enfoques más sostenibles.

La introducción de esta tecnología innovadora en el ámbito de la curtiembre se alinea con la creciente necesidad de adoptar soluciones ambientales efectivas y eficientes. La complejidad inherente de los efluentes industriales de curtiembre, caracterizados por la presencia de compuestos como cromo y otros contaminantes, destaca la importancia de estrategias avanzadas, como la nano-biorremediación, para enfrentar estos desafíos de manera integral.

En esta fase de implementación, se abordan no solo los aspectos técnicos de la construcción del sistema, sino también consideraciones prácticas y logísticas que son esenciales para la transición exitosa desde el laboratorio hasta la planta. Este proceso no solo busca validar los resultados previos, sino también contribuir al cuerpo de conocimientos en torno a la aplicación de tecnologías emergentes en contextos industriales específicos.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Este protocolo proporciona una exhaustiva revisión de los componentes mecánicos y electrónicos incorporados en la planta piloto, abarcando detalles sobre sus materiales, principios de funcionamiento y suministrando información pertinente acerca de la capacidad, desplazamiento y de mantenimiento del equipo.

PLANTA DE NANORREMEDIACIÓN

SISTEMA MECÁNICO

La geometría general de la planta se puede describir a partir de la siguiente imagen:

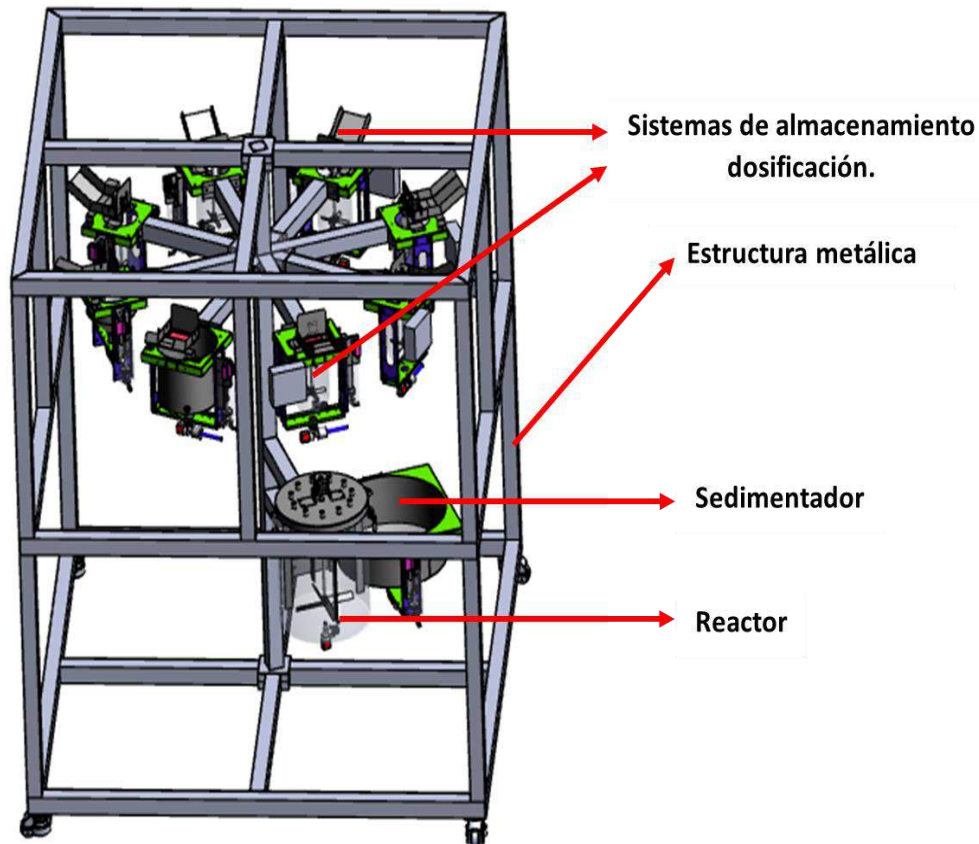


Imagen 1. Ensamble general del sistema mecánico.

Descripción General del Sistema de Almacenamiento y Dosificación

- 8 conjuntos de almacenamiento y dosificación.
- Operación automática y manual de cada conjunto.

Funcionamiento del Reactor

- Recepción de fluidos desde los conjuntos superiores (Dosificación).
- Conexión de una salida del reactor al sedimentador.

Retroalimentación del Sedimentador al Reactor

- Establecimiento de la retroalimentación de fluido para un proceso continuo

Integración de Subconjuntos

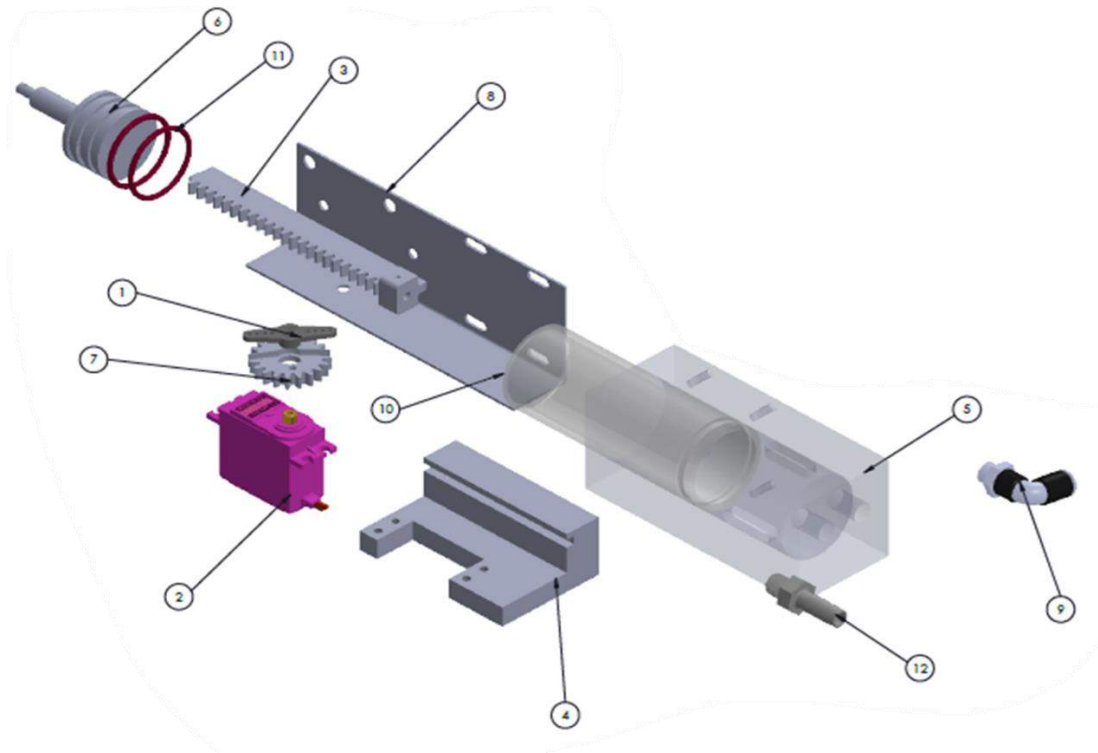
- Conexión segura a la estructura principal mediante tornillos.
- Formación de un conjunto integral (ver imagen 1).

COMPONENTES

A continuación, se describe por separado cada componente de la planta piloto de Nano-Biorremediación:

Dosificador

Sistemas de dosificación, que comprenden elementos de restricción y acumulación del fluido, accionados por un servomotor. Se describen los procesos específicos mediante los cuales se transforma el movimiento circular a rectilíneo mediante un sistema piñón-cremallera:



N ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	MATERIAL /REF
1	SOPORTE DE FIJACIÓN EJE SERVO	ABS
2	SERVOMOTOR MG996R	MG996 270 GRADOS
3	CREMALLERA M1.5	ABS
4	SOPORTE SERVOMOTOR	NYLON 6.6
5	CAMISA CILINDRO	NYLON 6.6
6	CODO NYLON 90 DRADOS 1_8	NYLON 6.6
7	VASTAGO CILINDRO	ACERO INOX 304
8	PIÑON 1,5 M X 20 DIENTES	ABS
9	L SOPORTE	INOX 304

10	CILINDRO ACRILICO	ACRILICO
11	ORING EPDM	EPDM 28 mm x 2,5 mm
12	ACOPLE RECTO 1_8	NYLON 6.6

Imagen 2. Mecanismo de dosificación.

Elementos de Restricción y Acumulación

- Componentes responsables de la restricción y acumulación del fluido.

Accionamiento por Servomotor:

- Transformación del movimiento circular a rectilíneo mediante el sistema piñón-cremallera.
- Limitación del recorrido final del vástago por la geometría de la cremallera y la rotación máxima programada en el servomotor.

Proceso de Dosificación:

- Movimiento del vástago (Ítem 7) para permitir la entrada del agua (Ítem 6).
- Limitación del recorrido final por la geometría de la cremallera y la rotación máxima programada en el servomotor

Válvulas y Redirección del Fluido:

- Sistema de válvulas que redirigen el fluido.
- Función de las válvulas en el proceso de dosificación.

Geometría y Elementos del Ensamble

- Partes del ensamble (ver imagen 2)

Identificación de Componentes

- Componentes clave, incluyendo la lámina soporte L, el soporte motor y la camisa del cilindro.

Ubicación de Agujeros y Alineación

- Especificación de la ubicación de los agujeros en los componentes.
- Aseguramiento de la alineación entre las piezas para un ensamblaje preciso.

Proceso de Ensamblaje

- Utilización de tornillos de sujeción para unir la lámina soporte L, el soporte motor y la camisa del cilindro.
- Consideraciones específicas para garantizar el correcto desplazamiento del vástago.

Zonas de Conexión, Ingreso y Salida de Fluido

- Identificación y descripción de las zonas clave en el sistema, incluyendo las áreas de conexión, ingreso y salida de fluido.

- Ilustración detallada de estas zonas en la imagen 3.

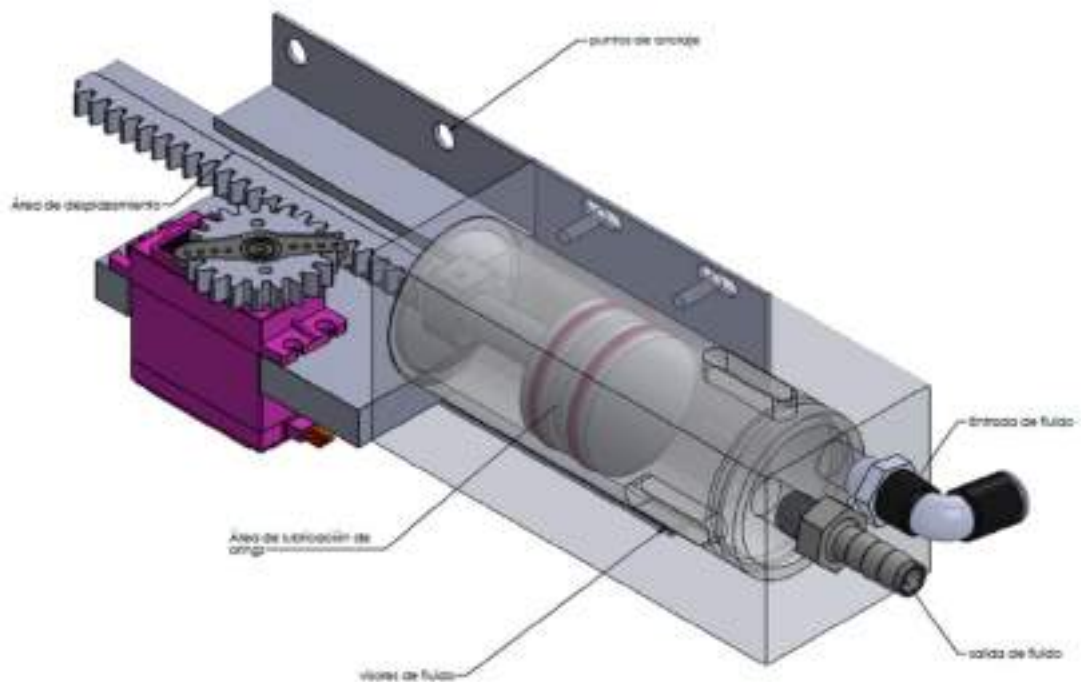


Imagen 3. Zonas de verificación del ensamble.

Este protocolo sirve como guía técnica para el ensamblaje de componentes, asegurando una alineación precisa y un funcionamiento eficiente del sistema.

Válvulas de entrada y salida

Cada uno de los ensambles servo controlados de dosificación está unido a dos servoválvulas de bola que limitan el paso a la entrada y salida como se muestra en la imagen 4.

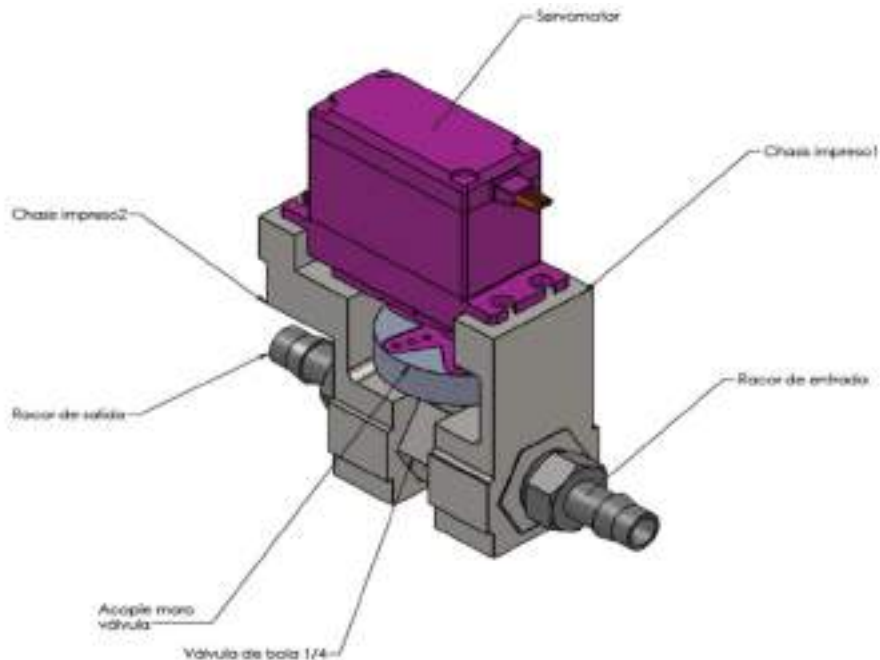


Imagen 4. Válvulas de apertura y cierre

Componentes Principales

- Componentes principales, incluyendo la válvula de bola, las entradas hembra de ¼ NPT.
- 32 racores plásticos para manguera de 8mm
- Un motor y el chasis de material ABS

Conexión de la Válvula de Bola

- Acoplamiento de la válvula de bola en las entradas hembra de ¼ NPT.
- Uso de racores plásticos para manguera de 8mm para asegurar una conexión hermética.

Montaje del Motor

- Sujeción del motor al chasis de material ABS.
- Fijación del chasis en la parte superior mediante dos tornillos M3 x 10mm de longitud.

Alineación y Ajuste

- Verificación de la alineación adecuada entre la válvula de bola y el motor.
- Ajuste de la posición si es necesario para garantizar un funcionamiento óptimo.

Estructura de soporte

Todos los ensambles de dosificación se encuentran integrados en estructuras modulares fabricadas con láminas dobladas de acero inoxidable. Estas estructuras se ensamblan

mediante el uso de tornillos para conformar tanto la cubierta del recipiente como el soporte destinado a la entrada del fluido. La disposición y unión de estas estructuras se exhibe claramente en la imagen 5:

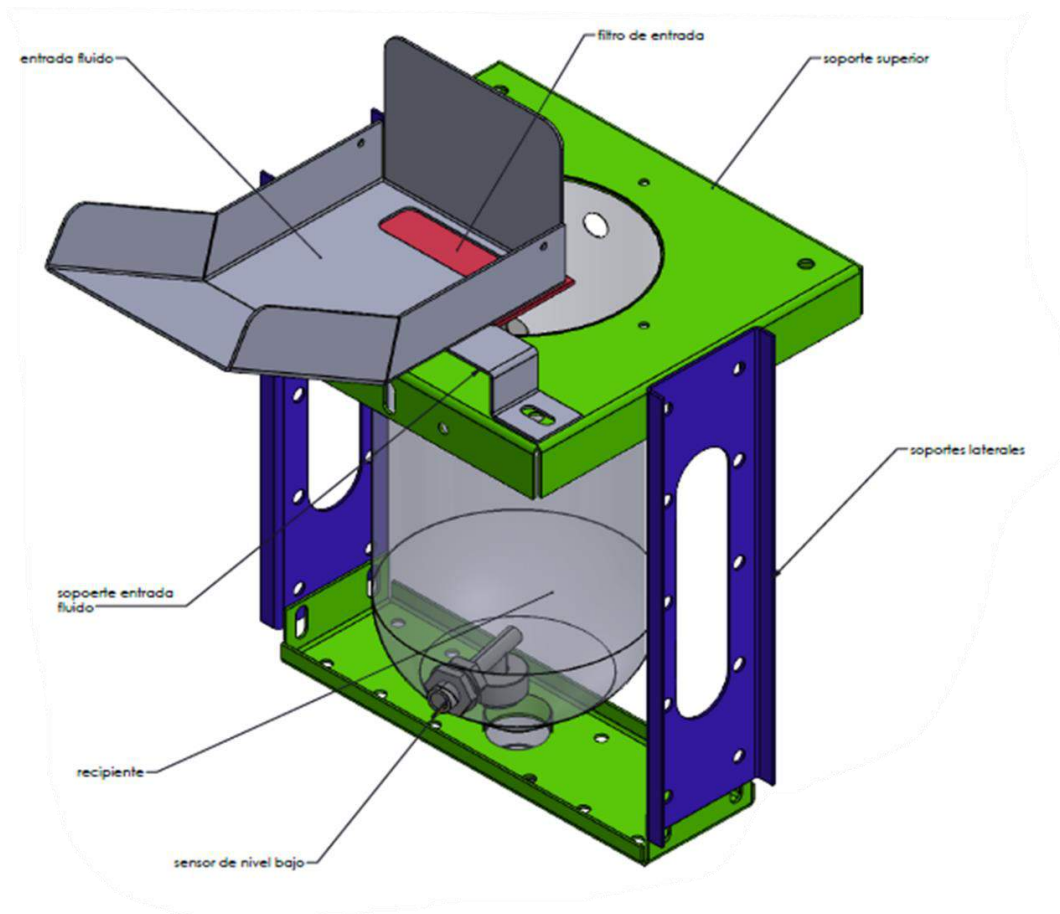


Imagen 5. Ensamble de soporte.

Soporte de Entrada de Fluido

- La estructura cumple la función de soportar la entrada controlada del fluido.

Filtración del Fluido

- La entrada del fluido obliga a pasar por un filtro ubicado en la parte inferior de la estructura.

Filtro Remplazable

- El filtro es un componente remplazable según el porcentaje de partículas y viscosidad del fluido.

Almacenamiento en Recipiente PET

- El fluido filtrado se almacena en un recipiente de PET.

Sensores de Nivel

- El recipiente cuenta con sensores que validan el nivel mínimo y máximo del fluido.

Condiciones de Retroalimentación

- Los sensores actúan como condiciones de retroalimentación al sistema de control de la planta.

La estructura puede ser modificada en altura, puesto que cuenta con agujeros y sistemas de correderas dispuestas para sujetar recipientes de diferentes condiciones de volumen.

Reactor

El recipiente construido en acero inoxidable 304, tiene como función principal la homogenización de los fluidos que ingresan en la parte superior provenientes de los sistemas de dosificación, para esta función cuenta con un agitador interno y unas placas deflectoras (Imagen 6):

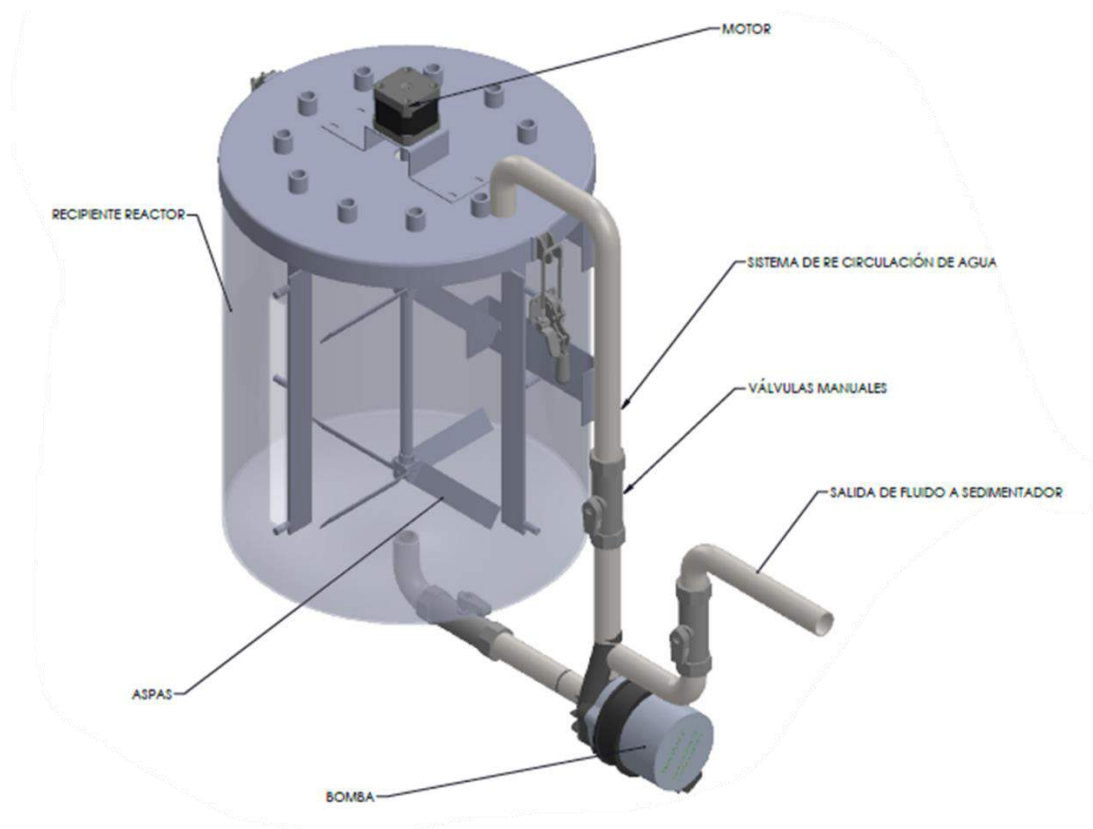


Imagen 6. Sistema general del reactor.

Función Principal:

- El recipiente está diseñado para la homogenización de los fluidos provenientes de los sistemas de dosificación.

Agitador Interno y Placas Deflectoras

- Cuenta con un agitador interno y placas deflectoras que contribuyen al proceso de homogenización.

Recirculación del Fluido

- El recipiente facilita la recirculación del fluido, tomando desde la parte inferior e impulsándolo para asegurar una mezcla homogénea.

Bomba Centrífuga:

- Se utiliza una bomba de tipo centrífuga para impulsar el fluido recirculado en el recipiente.

Proceso de Homogenización:

- La combinación del agitador interno, las placas deflectoras y la recirculación mediante la bomba garantiza un proceso efectivo de homogenización de los fluidos (Imagen 7).

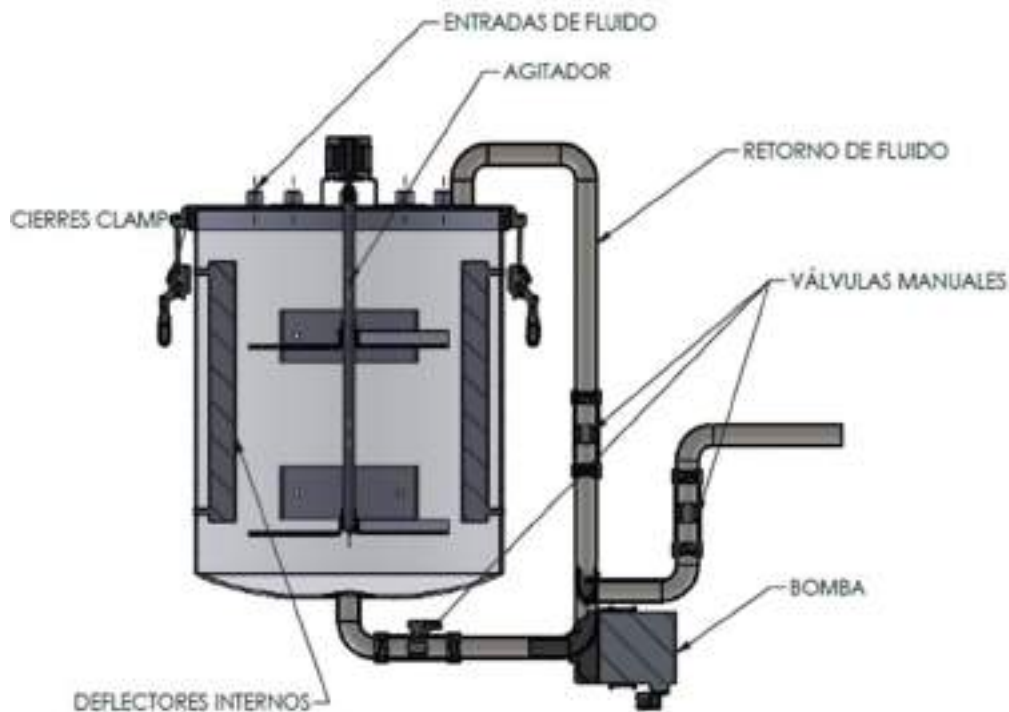


Imagen 9. Partes del reactor

Visor en la Parte Frontal

- El reactor está equipado con un visor ubicado en la parte frontal que facilita la observación directa del volumen interno.

Validación Interna del Sistema:

- Para validar internamente el sistema, se han incorporado seguros laterales tipo clamp que, al removerse, permiten levantar la tapa por completo.

Accesibilidad Mejorada

- La disposición del visor y los seguros laterales tipo clamp se ha diseñado con el objetivo de ofrecer una accesibilidad mejorada para inspecciones internas y validaciones del sistema.

SISTEMA ELÉCTRICO

Este documento tiene como finalidad: Exponer, clarificar y adentrar como opera la planta desde una perspectiva sencilla y práctica, enfocada a partir de su electrificación hasta la operación de la misma. En términos de lo anterior, se emplea una segmentación en tres (3) ejes de aplicación que corresponden al ámbito de lo eléctrico, electrónico y como operarla pues abarca el control de todo el sistema por parte del usuario.

Para garantizar el desarrollo correcto de las actividades en la planta por parte del operativo o grupo de estos, se recomienda leer atentamente este documento antes de iniciar alguna actividad, con el fin de prevenir cualquier percance, dado que el fallo que se genere es posible que no pueda ser reparado de forma inmediata.

Se remarca que el contenido de esta información aquí presente, no constituye nada del ensamble o desarrollo mecánico del mismo, por lo tanto, consultar el documento que tiene dicha finalidad. Las fallas son un aspecto que pueden surgir, en ese contexto, el manual realiza muchas sugerencias, pero es muy difícil abarcarlas todas, por lo tanto, ande con discreción. Si no se puede gestionar de forma autónoma (responsabilidad y riesgos propios) contacte al personal correspondiente, el manual no es la verdad absoluta

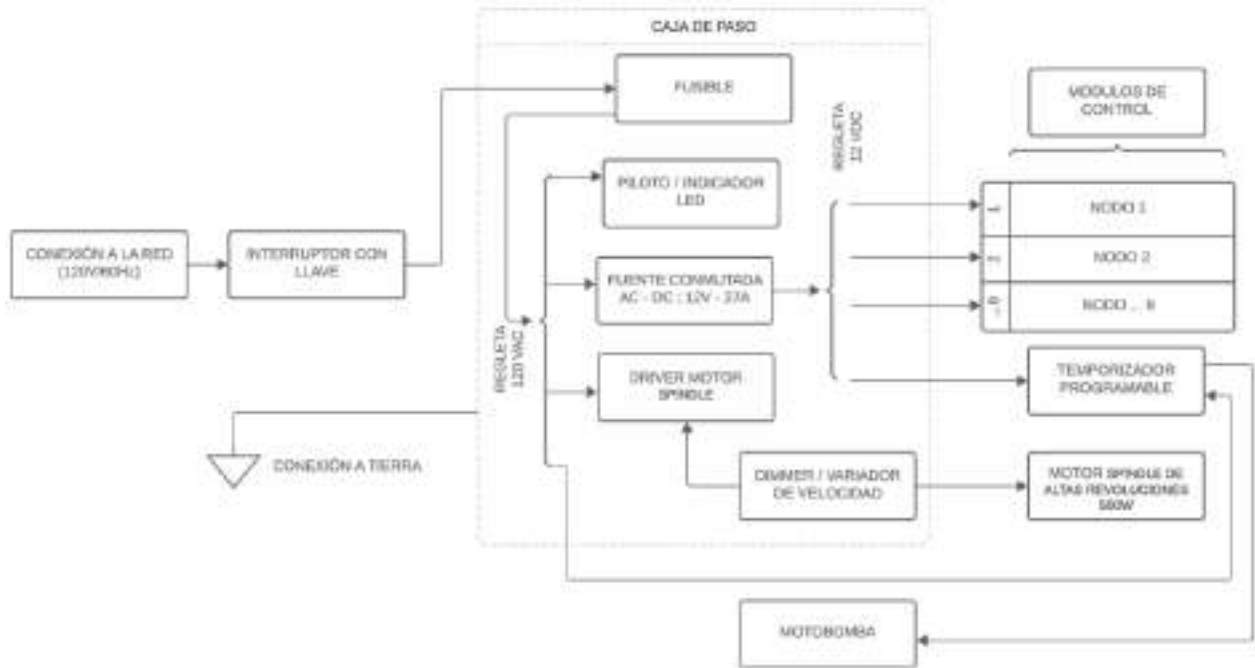


Imagen 10. Diagrama de bloques del sistema eléctrico.

Caja de Paso

También conocida como caja de derivación, contiene todos los componentes y conexiones para el funcionamiento de la planta:

- Fusible a una corriente límite, en caso de algún percance (accesible por el costado de la caja).
- Regletas de conexión (120Vac) y 12Vdc.
- Fuente conmutada AC – DC (SMPS) (12V/27A)
- Driver para el Motor SPINDLE

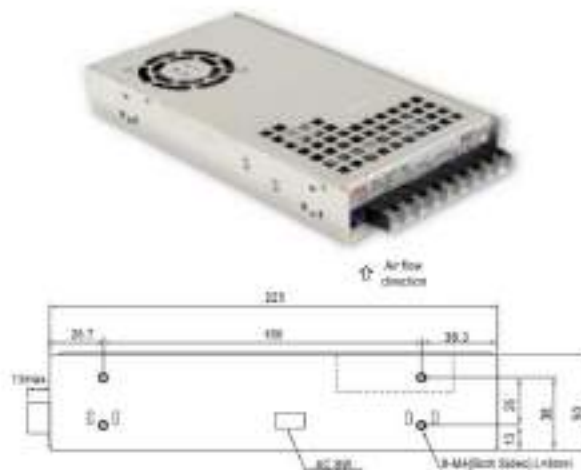


Imagen 11. Fuente conmutada: A) Visualización completa, B) Toma lateral, tomada de Mean Well

- Conexión de tierra a toda la estructura.
- Cableado a cada nodo de la planta.
- Regulador de Velocidad del Motor.
- Indicador de alimentación.

Todo el cableado que pasa por la caja, se deriva en corazas (tipo de tubería plástica flexible) de 5/8" de diámetro a cada nodo. Se sugiere:

Desconexión Obligatoria

- Desconectar la planta es esencial antes de acceder a la caja para evitar posibles riesgos y garantizar la seguridad del operario.

Corroboración de Conexiones:

- Verificar minuciosamente la instalación correcta de las conexiones antes de iniciar cualquier operación, asegurándose de respetar el fusible limitador y gestionar eficientemente los cables.

Gestión de Cables Eficiente:

- Una gestión eficiente de cables es clave para garantizar el funcionamiento sin inconvenientes y mantener la seguridad operativa.

Prevención de Reacciones Químicas

- Evitar la exposición de la caja de paso a líquidos o gases que puedan desencadenar reacciones químicas perjudiciales.
- Recubrir la caja con material plástico es una medida preventiva.

Validación de Voltajes

- Antes de la puesta en marcha, asegurarse de que la fuente SMPS y el driver del motor SPINDLE suministren voltajes dentro del rango especificado para un funcionamiento seguro y eficiente.

Alimentación

La planta debe ser alimentada con una fase y neutro de una diferencia de potencial de 120Vac, se recomienda que el punto de conexión implementado tenga su terminal de tierra/earth correspondiente, tal como se muestra en la imagen 12.



Imagen 12. Tomacorriente con conexión a tierra, tomada de Edelco.

En caso de que desee conectar a un punto de 220 Vac se debe realizar los siguientes cambios, consideraciones e inconvenientes:

- Cambiar el fusible.
- Abrir la caja de paso.
- Cambiar la fuente AC – DC (SMPS) y Driver del Motor de altas revoluciones a 220Vac. En la fuente está por uno de los costados, mire la ilustración de la fuente conmutada.
- Si la bomba en el tanque del reactor fallaría. Está diseñada a 120 Vac/60Hz, por lo que se debe cambiar.

Antes de conectar la planta se sugiere:

- Red estable.
- Inspeccionar si hay presencia de algo anormal (ejemplo: cable suelto).
- El interruptor del motor de altas revoluciones () esté apagado y/o su DIMMER se encuentre en su valor mínimo (se logra girándolo a la izquierda por completo).
- La motobomba se encuentre en su estado OFF por defecto o de lo contrario que tenga líquido el reactor.
- Validar las recomendaciones también previas presentadas en la parte electrónica.

Nota: Si todo lo anterior está correcto se puede iniciar la planta, para testear (pero no se recomienda aún). Para ello, debe ingresar la llave en el interruptor y girarlo a la derecha (sentido de las manecillas del reloj), ese momento el piloto (indicador led) se iluminará y todos los módulos de control iniciaran.

Fuente, Motor y Driver

- Si no se está empleando el motor SPINDLE mantener este apagado a revoluciones mínimas.
- Limpiar adecuadamente el motor, entre más riguroso mejor, dado que este en particular se encuentra en el depósito de las nanopartículas y su precio en el mercado es considerable.
- En caso de que el motor no se mueva, reinicie la planta. Pues el driver se protege y no permite arrancar debidamente la agitación.

- No modificar el dimmer que se encuentra en la fuente SMPS dado que varía la tensión y puede comprometer toda la parte electrónica.

Motobomba

- No mantener la motobomba durante tiempos muy prolongados para alargar la vida útil del componente.
- Hacer circular agua cuando se deje de operar, para que las nanopartículas o cualquier otro sólido o líquido la afecte.
- Los ciclos de trabajo se pueden ajustar con el driver/temporizador mencionado más adelante.

Cableado

Nodos:

- Los cables empleados para cada nodo son de calibre 18". Que permite un paso de corriente máxima de 6 A.
- Cada nodo se alimenta con 12V y ninguno supera 1 A en funcionamiento completo.

Consumo Integrado:

- La pantalla gráfica.
- El motor de agitación DC (No todos los nodos tienen).
- Tres servos motores (empleados para la dosificación e inyección, funciona uno a la vez generalmente).
- Electroválvula.

$$CxN = \text{Corriente (Sobredimensionada)} \times \#Nodos = 7^a$$

Todos los nodos en conjunto no suman más del 26% de la SMPS. Eso sería el caso más crítico, que son todos funcionando al tiempo, que es casi improbable que suceda.

Motor SPINDLE

- Al igual que los nodos, se implementó el mismo calibre de cable. El motor consume 500W (Pmax) a un voltaje de 110VDC, por lo tanto, la corriente máxima es de 4.5A.

Motobomba

- La potencia es de 50W (Pmax), eso se traduce a próximamente 0.5A de corriente real, por lo que, el calibre del cable es el mismo.

Alimentación de la planta:

Toda la energía de la planta ingresa por un cable encauchado calibre 14, se seleccionó en función del consumo de las funcionalidades: Dosificación, agitación (baja y alta velocidad), recirculación/desagüe (motobomba), entre otras.

Sin considerar pérdidas, el cálculo es:

$$P_{INP} = P_{OUT}$$

$$V_{INP} I_{INP} = V_{OUT} I_{OUT}$$

$$V_{INP} I_{INP} = 12V \cdot 7A + 50W + 500W ; V_{in} = 120V (RMS)$$

$$I_{INP} = 12V \cdot 7A + 50W + 500W / 120V = 5.3A$$

Recordar que el cálculo no considera otros aspectos, pues salen del alcance de este documento, por lo que debe ser tomado simplemente como una referencia.

SISTEMA ELECTRONICO

La mayoría de los elementos de esta fase están integrados en una placa de circuito impreso (PCB) de 2 capas (Imagen 13)

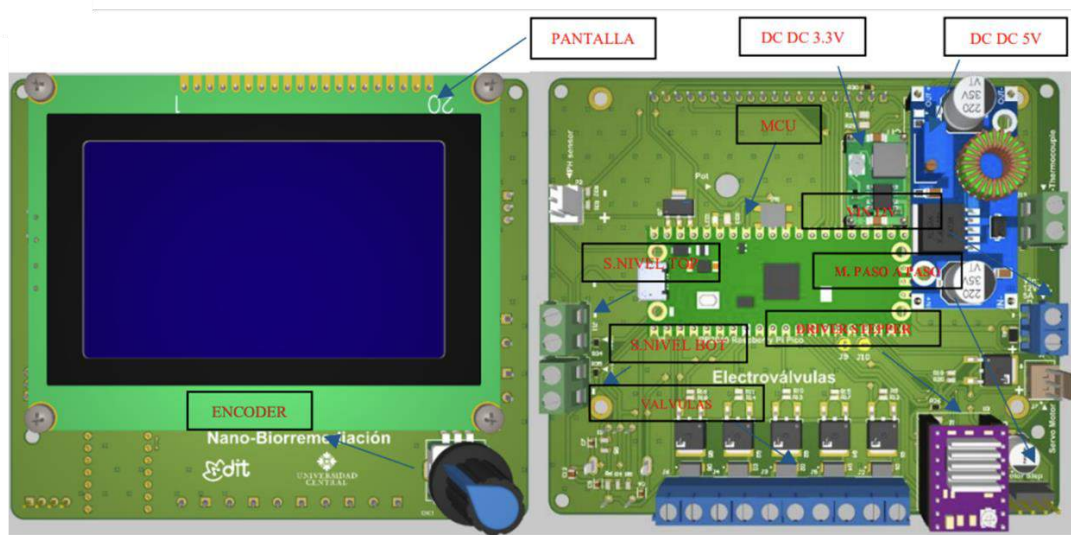


Imagen 13. Visualización de la PCB del módulo de control. A) Frontal, B) Trasera

- Reguladores de voltaje.
- Conectores esenciales.
- Transistores.
- Un microcontrolador (MCU).
- Una pantalla para visualización.
- Un encoder rotativo, utilizado para la navegación por los menús y opciones.

Esta disposición en la PCB optimiza la organización y conexión de los componentes clave, facilitando el control y la eficiencia operativa del sistema.

Desde una perspectiva global, la estructura del componente electrónico se compone de un sistema de 10 etapas o segmentos. Estas etapas cumplen funciones específicas, trabajando de manera conjunta para proporcionar una caracterización detallada y mejorada de la funcionalidad y las tareas ejecutadas por el prototipo.

- Fuente DC-DC: Genera una salida de 5V y 3.3V por un par de convertidores DC – DC.
- Encoder: Otorga las señales a medida que el usuario gira la perilla.
- Auxiliar: Emplea un módulo para realizar la lectura de temperatura por una termocupla tipo K.
- PH: Recibe los cambios de pH (leídos con un sensor), y realiza unos ajustes para enviarlo al MCU.
- Sensor Nivel: Realiza cambios lógicos, a medida del nivel de líquido en el tanque del nodo.
- U_MCU: Contiene el microcontrolador y todo lo indispensable para la generación y recepción de lecturas.
- LCD: Contiene principalmente es la pantalla gráfica y otros componentes adicionales.
- ServoInyector: Cuando el MCU genera una señal de control específica, emplea una apertura para iniciar el servo que se encarga de inyectar el líquido del nodo al reactor.
- Evalvule: Recepción de la señal del MCU y la amplifica para abrir la válvula encarga de limpiar el tanque.
- Stepper: Es conformado por un módulo enfocado a manipular los agitadores, su funcionamiento proviene de un conjunto de señales digitales.

Todas las tareas q en la ejecución de la planta y lo mencionado anteriormente, se establecieron mediante un código en lenguaje C.

Motores DC y Servo motor

La agitación de los líquidos se emplea de dos formas:

- Por motores paso a paso o motorreductores, el hardware del circuito impreso permite las dos implementaciones. Sin considerar al que se implementa para las nanopartículas, hay 3 motores adicionales.
- Los motorreductores son a 12V y 1A y los paso a paso funciona con una cuadrada +12V, - 12V y la corriente de funcionamiento lo limita el driver del mismo.
- Los servos motores en esta aplicación operan con una alimentación de 5V y una corriente no superior a los 300mA.

Consideraciones:

- La implementación con motor paso a paso implementa el driver Stepper, no modificar el limitante de corriente (observe la ilustración) de no ser necesario. (Puede ocasionar su daño).
- En el uso de motorreductor dejar en su defecto el toroide, para no inducir ruido al circuito impreso.
- Limpiar adecuadamente los motores regularmente para que los líquidos no lo deterioren.

- Si estos motores no se mueven, validar la tensión en los terminales de ellos y si los fusibles que tienen implementados no se abrieron.
- Si los fusibles se dañaron reemplazarlos por un valor igual o no muy superior al que viene por defecto.
- Los servomotores realizan un ciclo de movimiento recién enciende la planta, si este proceso no se realiza revisar las conexiones inferiores.

Temporizador Motobomba

Configuración del Temporizador Programable

- Emplear un temporizador programable para gestionar la operación de la motobomba.
- Se sugiere seguir la configuración predeterminada que implica operar durante 2 minutos cada 15 minutos.
- Establecer un ciclo continuo con un número determinado de repeticiones.

Recomendaciones de Configuración

- Implementar la configuración por defecto cuando se mantiene la planta operativa constantemente.
- Activar la motobomba hasta que se descargue por completo el reactor si no se mantiene en operación continua.

Este enfoque garantiza un desagüe eficiente del reactor, adaptándose a las necesidades específicas del proceso y optimizando el rendimiento de la motobomba de manera controlada.

Visualización



Imagen 14. Visualización del módulo de control. A) Menú Principal, B) Submenú 2 – Inyector

EJECUCIÓN DE LA PLANTA- PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

PROCEDIMIENTO

Alimentación de la Planta

- Iniciar alimentando la planta y consultar todas las validaciones y recomendaciones previas, tanto eléctricas como electrónicas.

Energización del Sistema

- Si todas las validaciones post alimentación son exitosas y cada nodo opera según lo previamente establecido, proceder a energizar todo el sistema mediante la llave.

Tareas Programadas

Emplear las tareas programadas disponibles en la pantalla para diversas funciones:

- **Mezclador o Agitador:** Encender el motor del nodo predeterminado para mezclar sustancias según el proceso, incluyendo el nodo de nanopartículas.
- **Inyector:** Operar las válvulas con servomotores para succionar y posteriormente inyectar el volumen del tanque al reactor.
- **Medición de pH:** Visualizar la medición del pH donde se tenga instalado el sensor.
- **Limpieza de Tanque:** Llenar y desocupar el tanque de agua, coordinándolo con la subrutina de Inyector.

Simultaneidad de Tareas

- Realizar dos tareas simultáneas, especialmente activar el mezclador/agitador junto con cualquiera de las otras tareas, siendo la inyección la más utilizada.

Inyección y Homogenización

- La tarea de inyección tiene una duración específica según el volumen a inyectar. Monitorear el progreso en la pantalla, observando el estado actual y el restante.
- La homogenización durante el proceso Fenton puede llevar varias horas, registrando la temperatura del motor correspondiente. En situaciones controladas, la motobomba no opera de manera continua durante largos períodos.

Finalización de Pruebas

- Al concluir cada prueba, llenar los tanques de los nodos con agua e inyectarlos al reactor.
- Realizar una mezcla breve y hacer circular al sedimentador mediante la motobomba para un ciclo completo de limpieza.
- Apagar la planta si no está operativa para evitar consumos innecesarios.

Registro de Resultados

- Importante anotar los resultados obtenidos en cada prueba para el seguimiento y análisis del desempeño del sistema.



Imagen 15. Equipo UC clúster de investigación NIBC- Proyecto regalías 441

PLANTA BIORREMEDIACIÓN

Protocolo detallado para la implementación, operación y mantenimiento eficaz de una planta de biorremediación basada en un humedal de flujo superficial, utilizando zeolita, grava y plantas del género *Phragmites australis*.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Zeolita
- Grava
- Tubo PVC ½"
- Cruz PVC ½"
- Tapón PVC ½"
- Entrada de ½"

- Tanque Vanyplas 110 L
- Llave de bola 1/2" PVC
- Codo 1/2"
- Plantas del género Phragmites australis
- Pegamento y limpiador para PVC
- Tanque pulmón de 100 L
- Unión PVC

CONSTRUCCIÓN

Preparación del Terreno

- Seleccionar un área adecuada para la construcción del humedal, considerando condiciones de luz solar y accesibilidad.
- Excavar el terreno según las dimensiones deseadas para el humedal.

Instalación de Tubos y Chimeneas de PVC

- Colocar los tubos PVC en forma de cruz en la parte inferior del humedal para permitir el paso del aire.
- Instalar chimeneas verticales conectadas a los tubos para facilitar la circulación del aire.



Imagen 16. Construcción planta Bio

Colocación de Capas de Gravilla y Zeolita

- Extender una capa de 20 cm de gravilla sobre el fondo del humedal.

- Colocar una geomembrana para asegurar la retención del agua.
- Agregar una capa de zeolita sobre la geomembrana para el soporte de las plantas.

Plantación de *Phragmites australis*

- Insertar las plantas del género *Phragmites australis* en la capa de zeolita.
- Distribuir las plantas uniformemente para una cobertura adecuada.



Imagen 17. Construcción planta Bio

Montaje de la Tubería de Suministro de Agua

- Conectar la tubería de PVC ½” al tanque pulmón de 100 L.
- Instalar una llave de bola y codo para controlar el flujo de agua hacia el humedal.

Llenado del Tanque Pulmón

- Llenar el tanque pulmón con agua para suministrar continuamente el humedal.

OPERACIÓN

Monitoreo del Flujo de Agua

- Verificar regularmente que la llave de bola permita un flujo constante de agua al humedal.
- Ajustar la cantidad de agua según sea necesario para mantener las condiciones óptimas.

Observación del Crecimiento de Plantas

- Monitorear el crecimiento y salud de las plantas *Phragmites australis*.
- Realizar inspecciones visuales periódicas para detectar posibles signos de estrés o enfermedades.

Control del Tanque Pulmón:

- Verificar regularmente el nivel de agua en el tanque pulmón.
- Asegurarse de que el suministro de agua sea constante y adecuado para las necesidades del humedal.



Imagen 17. Planta de Biorremediación en operación

PROCESO FENTON-LIKE PARA EL TRATAMIENTO DE NANO-BIORREMEDIACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES (PELAMBRE O CURTIDO) UTILIZANDO LA PLANTA PILOTO

procedimientos paso a paso para la puesta en marcha y operación de la planta piloto de nano-biorremediación, focalizada en el tratamiento de aguas residuales de curtiembres mediante el proceso Fenton-like.

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- Planta piloto de nano-biorremediación
- Nanopartículas de hierro cero Valente nZVI (NanoSTAR)
- Agua residual de curtiembre (Curtido o Pelambre desulfurado)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 50%
- Humedales de flujo superficial
- Equipamiento de laboratorio para análisis
- pHmetro

OPERACIÓN:

Encendido y Verificación de Sistemas:

- Encender la planta piloto y asegurarse de que todos los sistemas de inyección estén operativos.
- Verificar la correcta conexión de los tanques y la disponibilidad de reactivos.

Activación de Nanopartículas:

- Medir 62.5g de nanopartículas de hierro cero valente (NanoSTAR) y activar en 250ml de agua.
- Realizar la activación de las nZVI con 48 horas de antelación al tratamiento.



Imagen 18. Encendido de la Planta de Nanorremediación y sistema de activación de nZVI
Preparación del Agua Residual de Curtiembre

- Medir 10 L de agua residual de curtiembre.
- Filtrar y homogenizar el agua a pH 3.2.

Inyección al Reactor

- Inyectar el agua residual tratada al reactor mediante los tanques correspondientes.
- Suministrar la solución de nanopartículas de hierro cero valente al reactor de manera controlada.

Adición de Peróxido de Hidrógeno

- Inyectar peróxido de hidrógeno al 50% al reactor de forma gradual y controlada.

Agitación Constante en el Reactor

- Dejar en agitación constante durante 6 horas.
- Recircular el fluido cada 15 minutos de manera automatizada.

Neutralización en el Reactor

- Ajustar el pH del fluido en el reactor a 7.5 mediante la adición controlada de hidróxido de sodio.

Transferencia al Tanque Sedimentador

- Bombear el fluido del reactor al tanque sedimentador.

Reposo en el Tanque Sedimentador

- Dejar en reposo el fluido en el tanque sedimentador durante 12 horas.



Imagen 18. Proceso Fenton-Like en la Planta de Nanorremediación

Bombeo al Humedal de Flujo Superficial

- Bombeo del sobrenadante a los humedales de flujo superficial con un tiempo de retención hidráulica (THR) de 2 días.

Muestreo y Análisis

- Pasados los 2 días, tomar muestras del agua tratada en los humedales.
- Realizar análisis en el laboratorio para evaluar la eficacia del tratamiento.



Imagen 19. Planta Biológica- Resultados del tratamiento de Nano-Biorremediación

Consideraciones:

- La verificación inicial y la disponibilidad de reactivos son cruciales para el éxito del proceso.
- Se recomienda seguir las cantidades y proporciones indicadas para asegurar resultados consistentes.
- La automatización de procesos, especialmente la agitación y recirculación, garantiza una distribución homogénea de reactivos.
- Monitorear continuamente el pH y ajustar según sea necesario durante la operación.
- El periodo de reposo en el tanque sedimentador es esencial para la separación de sólidos sedimentables.
- El bombeo al humedal proporciona una última etapa de tratamiento antes del análisis final.

Este protocolo detallado asegura la correcta ejecución del proceso Fenton-like en la planta piloto de nano-biorremediación para aguas residuales de curtiembres.

REFERENCIAS

Vilardi, G.; Sebastiani, D.; Miliziano, S.; Verdone, N.; Di Palma, L. Heterogeneous NZVI-Induced Fenton Oxidation Process to Enhance Biodegradability of Excavation by-Products. *Chemical Engineering Journal* **2018**, *335*, 309–320, doi:10.1016/j.cej.2017.10.152.




Plaza, J.; Arencibia, A.; López-Muñoz, M.J. Evaluation of NZVI for the Degradation of Atrazine in Heterogeneous Fenton-like Systems at Circumneutral PH. *J Environ Chem Eng* **2021**, *9*, 106641, doi:10.1016/J.JECE.2021.106641.

Vilardi, G.; Rodríguez-Rodríguez, J.; Ochando-Pulido, J.M.; Verdone, N.; Martínez-Ferez, A.; Di Palma, L. Large Laboratory-Plant Application for the Treatment of a Tannery Wastewater by Fenton Oxidation: Fe(II) and NZVI Catalysts Comparison and Kinetic Modelling. *Process Safety and Environmental Protection* **2018**, *117*, 629–638, doi:10.1016/j.psep.2018.06.007.

Yu, R.F.; Chen, H.W.; Cheng, W.P.; Lin, Y.J.; Huang, C.L. Monitoring of ORP, PH and DO in Heterogeneous Fenton Oxidation Using NZVI as a Catalyst for the Treatment of Azo-Dye Textile Wastewater. *J Taiwan Inst Chem Eng* **2014**, *45*, 947–954, doi:10.1016/j.jtice.2013.09.006.

Fang, Y.; Wu, X.; Dai, M.; Lopez-Valdivieso, A.; Raza, S.; Ali, I.; Peng, C.; Li, J.; Naz, I. The Sequestration of Aqueous Cr(VI) by Zero Valent Iron-Based Materials: From Synthesis to Practical Application. *J Clean Prod* 2021, *312*.

Vilardi, G.; Di Palma, L.; Verdone, N. On the Critical Use of Zero Valent Iron Nanoparticles and Fenton Processes for the Treatment of Tannery Wastewater. *Journal of Water Process Engineering* **2018**, *22*, 109–122, doi:10.1016/j.jwpe.2018.01.011.

 <p>Gobernación de Cundinamarca</p>	 <p>COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA</p> <p>Ciencias</p>	 <p>UNIVERSIDAD CENTRAL</p> <p>Grupo de Investigación en Biotecnología y Nanotecnología</p>
<p>Protocolo 3: Monitoreo y Mantenimiento de la planta piloto de nano-biorremediación para las aguas residuales de curtiembre.</p>		
<p>Enero 2024</p>	<p>Objetivo: Establecer un conjunto de procedimientos sistemáticos para el monitoreo efectivo y el mantenimiento preventivo de cada componente crucial en el sistema de nano-biorremediación.</p>	
<p>Número de Páginas:</p>		
<p>Palabras Clave: Monitoreo; Mantenimiento; Nano-biorremediación; Eficiencia operativa.</p>		

La eficacia de un sistema de nano-biorremediación depende en gran medida de su capacidad para mantenerse en óptimas condiciones de funcionamiento. Con el fin de garantizar un tratamiento continuo y efectivo de las aguas residuales de curtiembres, se ha desarrollado este protocolo exhaustivo que abarca el monitoreo y mantenimiento de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y la planta biológica asociada.

SISTEMA MECÁNICO

Revisión de Componentes

- Verificar visualmente todas las conexiones y ensamblajes mecánicos.
- Inspeccionar el estado de las estructuras metálicas y asegurarse de la integridad de los componentes.

Lubricación de émbolos

- Aplicar lubricantes según las especificaciones del fabricante en los puntos de fricción.
- Revisar y ajustar la tensión de las correas si es necesario.

Operación de Válvulas y Tuberías

- Comprobar el correcto funcionamiento de las válvulas y asegurarse de que no haya fugas.
- Inspeccionar las tuberías en busca de posibles obstrucciones o daños.

Inspección del Reactor

- Revisar el interior del reactor para detectar posibles acumulaciones de residuos o corrosión.
- Evaluar el estado de las paletas del agitador y realizar ajustes si es necesario.

Tanque Sedimentador

- Limpiar y eliminar sedimentos acumulados en el tanque sedimentador.
- Verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de bombeo asociados.



Imagen 20. Monitoreo y mantenimiento sistema mecánico

SISTEMA ELÉCTRICO

Inspección de Cables y Conexiones

- Revisar visualmente todas las conexiones eléctricas para detectar signos de desgaste o deterioro.
- Asegurarse de que no haya cables sueltos o pelados.

Verificación de Interruptores y Llaves

- Operar todos los interruptores y llaves para confirmar su funcionamiento correcto.
- Reemplazar cualquier interruptor defectuoso o desgastado.

Pruebas de Voltaje:

- Medir y registrar los voltajes en puntos clave del sistema para asegurar que estén dentro de los rangos especificados.

Mantenimiento de Fuentes de Alimentación:

- Inspeccionar las fuentes de alimentación y reemplazar cualquier componente defectuoso.
- Verificar la estabilidad del suministro eléctrico.

Sistema de Iluminación:

- Evaluar la operación de las luces indicadoras y reemplazar aquellas que estén fundidas.
- Limpiar las superficies de iluminación para mantener la visibilidad.

SISTEMA ELECTRÓNICO

Inspección Visual de Placas y Componentes

- Examinar visualmente las placas electrónicas en busca de daños o componentes quemados.
- Verificar la integridad de los componentes electrónicos.

Pruebas de Sensores y Medidores

- Realizar pruebas funcionales en sensores y medidores para garantizar mediciones precisas.
- Calibrar los sensores según sea necesario.

Verificación de Cableado

- Inspeccionar el cableado para identificar posibles cortocircuitos o cables sueltos.

- Sustituir o reparar cualquier cableado defectuoso.

Mantenimiento de Controladores y PLC

- Actualizar y revisar el software de los controladores y PLC según las recomendaciones del fabricante.
- Respaldo de programas y configuraciones para evitar pérdida de datos.



Imagen 20. Monitoreo y mantenimiento sistema eléctrico y electrónico

PLANTA BIOLÓGICA

Observación del Humedal

- Realizar inspecciones visuales periódicas de las plantas en el humedal para detectar signos de enfermedades o estrés.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Análisis del Agua Tratada

- Tomar muestras del agua tratada en el humedal y realizar análisis periódicos.
- Verificar la eficacia del tratamiento biológico y ajustar según los resultados.

Control de Población Microbiana

- Monitorear la población microbiana en el sistema y ajustar la dosificación de microorganismos según sea necesario.
- Implementar medidas para prevenir la proliferación de patógenos.

Inspección de Zeolitas y Gravilla

- Inspeccionar la capa de zeolitas y gravilla para asegurar su integridad y capacidad de retención.
- Reemplazar o rellenar según sea necesario.



Imagen 21. Monitoreo y mantenimiento sistema biológico (Humedales)

Este protocolo detallado proporciona una guía estructurada para el monitoreo y mantenimiento efectivo de cada área crucial en el sistema de nano-biorremediación. La frecuencia de estas actividades dependerá de las condiciones específicas de operación y las recomendaciones del fabricante.

La implementación rigurosa de este protocolo no solo busca prevenir fallos imprevistos sino también maximizar la vida útil de los equipos, asegurando así la eficiencia a largo plazo y contribuyendo al cumplimiento exitoso de los objetivos ambientales y de tratamiento establecidos.

REFERENCIAS

Vilardi, G.; Sebastiani, D.; Miliziano, S.; Verdone, N.; Di Palma, L. Heterogeneous NZVI-Induced Fenton Oxidation Process to Enhance Biodegradability of Excavation by-Products. *Chemical Engineering Journal* **2018**, 335, 309–320, doi:10.1016/j.cej.2017.10.152.

Plaza, J.; Arencibia, A.; López-Muñoz, M.J. Evaluation of NZVI for the Degradation of Atrazine in Heterogeneous Fenton-like Systems at Circumneutral PH. *J Environ Chem Eng* **2021**, *9*, 106641, doi:10.1016/J.JECE.2021.106641.

Vilardi, G.; Rodríguez-Rodríguez, J.; Ochando-Pulido, J.M.; Verdone, N.; Martinez-Ferez, A.; Di Palma, L. Large Laboratory-Plant Application for the Treatment of a Tannery Wastewater by Fenton Oxidation: Fe(II) and NZVI Catalysts Comparison and Kinetic Modelling. *Process Safety and Environmental Protection* **2018**, *117*, 629–638, doi:10.1016/j.psep.2018.06.007.

Fang, Y.; Wu, X.; Dai, M.; Lopez-Valdivieso, A.; Raza, S.; Ali, I.; Peng, C.; Li, J.; Naz, I. The Sequestration of Aqueous Cr(VI) by Zero Valent Iron-Based Materials: From Synthesis to Practical Application. *J Clean Prod* 2021, *312*.

Vilardi, G.; Di Palma, L.; Verdone, N. On the Critical Use of Zero Valent Iron Nanoparticles and Fenton Processes for the Treatment of Tannery Wastewater. *Journal of Water Process Engineering* **2018**, *22*, 109–122, doi:10.1016/j.jwpe.2018.01.011.