

**DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y LINEAMIENTOS DE INTERVENCIÓN PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE LOS REACTORES UASB EN LA PTAR DEL MUNICIPIO DE PIOJÓ.**

Presentado por:

CRISTHIAN ANDRÉS BONILLA BECERRA
CC. 1.005.220.115

GINA ESTHER PINEDO SOLANO
CC. 1.118.848.901

Asesora:

DIANA MYLENA ZAMBRANO VÁSQUEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
2025**

ABSTRACT

This work develops a pathological diagnosis of the UASB reactors belonging to the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the municipality of Piojó, with the purpose of evaluating their structural condition and establishing intervention guidelines that allow optimizing their performance and ensuring their durability over time. The research focused on analyzing the behavior of concrete under service and environmental conditions, applying a methodology based on visual inspections, dimensional surveying, photographic recording, and non-destructive tests, among which the Schmidt hammer test stands out to determine the surface strength of the material.

The results obtained were favorable: the concrete maintains an average strength close to 4000 psi, a value consistent with the structural design, which confirms that the reactor retains its load-bearing capacity. Only localized damages were detected, such as areas with honeycombing and partial exposure of the reinforcing steel, mainly caused by irregularities during the execution of the work and the prolonged action of environmental agents.

Based on the technical analysis, maintenance and structural recovery actions are proposed, such as the repair of voids through grout injection, the cleaning and protection of steel with corrosion inhibitors, and the application of protective coatings on exposed surfaces. These measures will make it possible to restore the structural integrity of the reactor, extend its service life, and guarantee its proper performance within the plant's anaerobic treatment system, contributing to the sustainability of the municipality's sanitation service.

KEYWORDS

- **Pathology:** Study of deterioration and failures in structures.
- **Reactor:** Element under study; structure where biological processes of wastewater treatment occur.
- **Concrete:** Structural material made of cement, water, and aggregates.
- **Maintenance:** Actions to preserve structural functionality.
- **Sclerometry:** Non-destructive test that measures the hardness of concrete.
- **Corrosion:** Deterioration of steel due to chemical reactions with the environment.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	2
1. HISTORIA CLÍNICA.....	4
2. METODOLOGÍA.....	6
3. ANÁLISIS DE DATOS	7
4. DIAGNÓSTICO	8
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	9
6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	9
7. CRONOGRAMA.....	12
8. PRESUPUESTO	13
9. RESULTADOS.....	14
10. BIBLIOGRAFÍA	15
11. ANEXOS	15

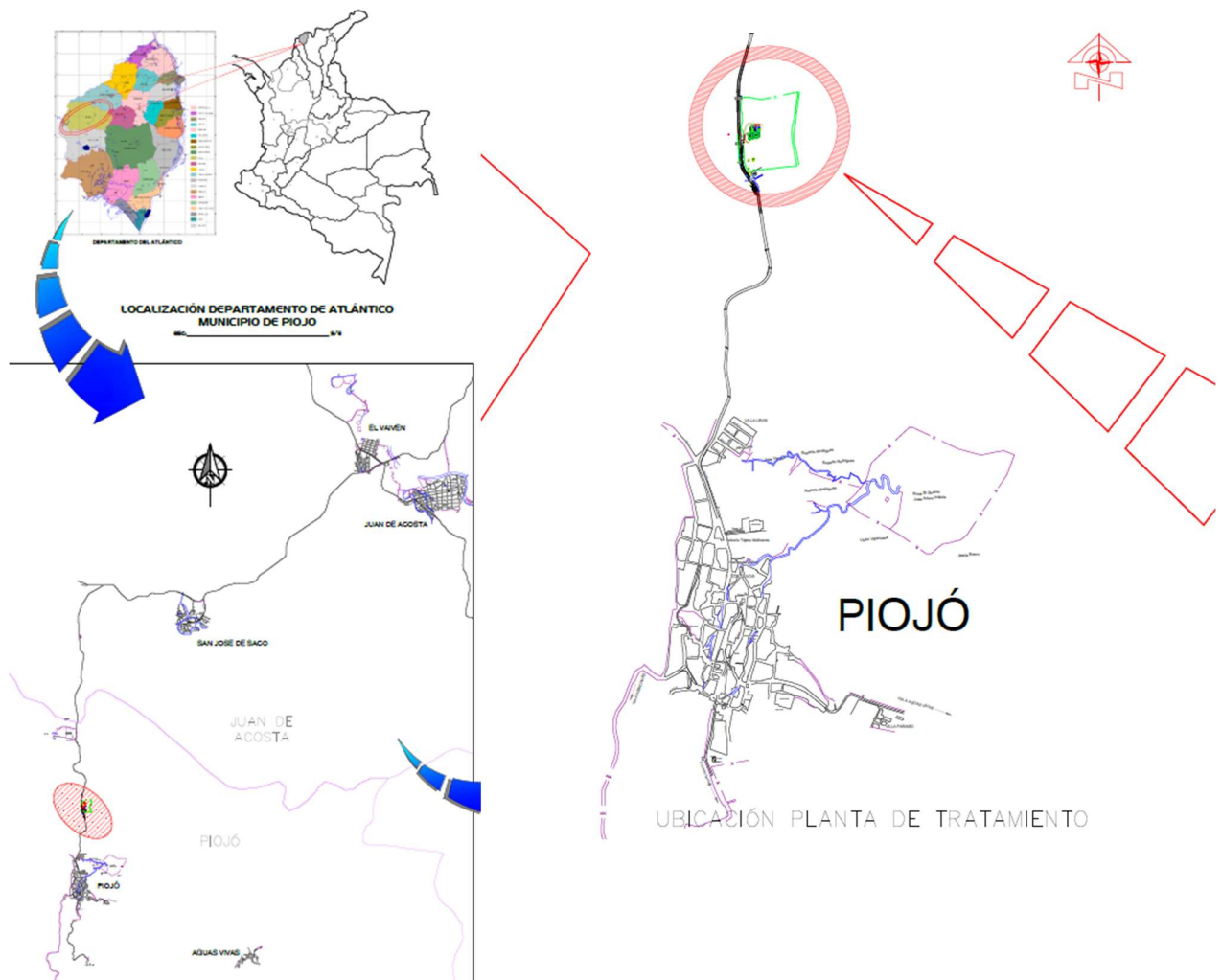
1. HISTORIA CLÍNICA.

Alcance:

En el municipio de Piojó se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales que incorpora diversos componentes estructurales destinados al saneamiento ambiental. Para el presente estudio se seleccionaron los reactores UASB, los cuales funcionan como tanques de tratamiento que emplean bacterias anaerobias —organismos que no requieren oxígeno— para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales. Estos sistemas permiten una depuración eficiente mediante procesos biológicos, contribuyendo significativamente a la mejora de la calidad del agua tratada

Ubicación:

El paciente en estudio reside en el municipio de Piojó, ubicado en el departamento del Atlántico.

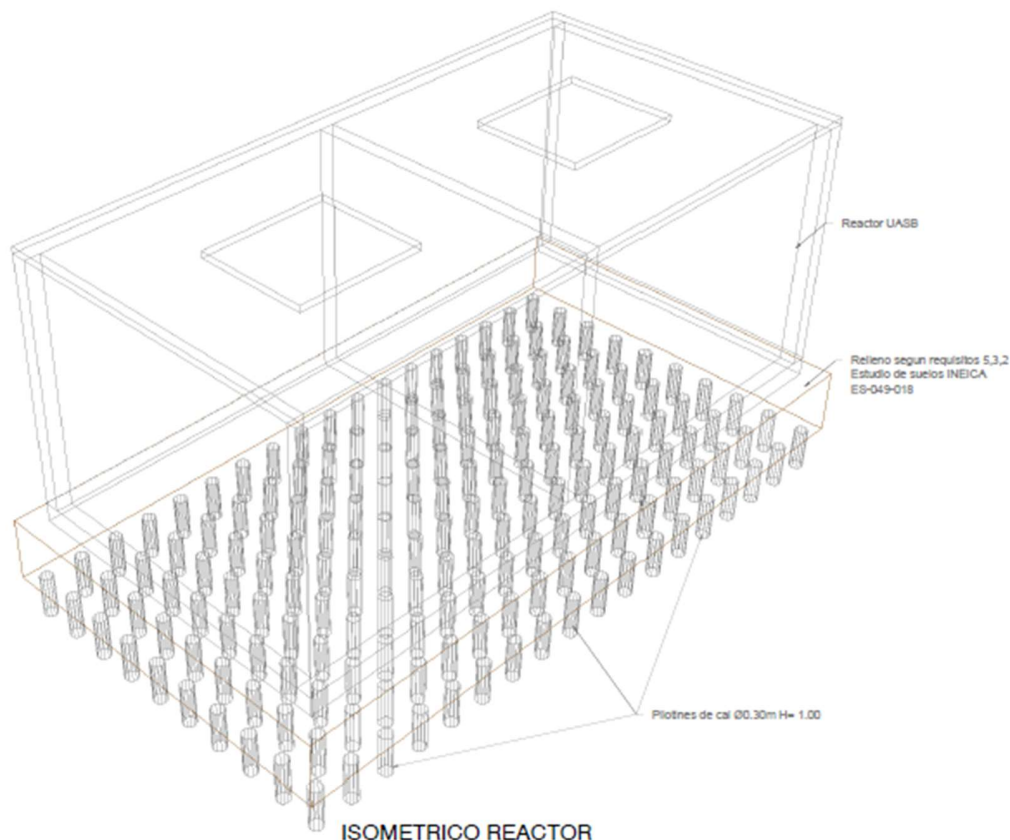


Descripción del elemento:

El reactor UASB es una estructura en concreto reforzado destinada al tratamiento anaerobio de aguas residuales, siendo este el segundo proceso dentro de la planta de tratamiento, posterior al pretratamiento. Su función principal es reducir la carga orgánica del agua afluyente mediante la acción de microorganismos anaerobios que generan biogás, lodos estabilizados y un efluente parcialmente tratado que pasa luego a las unidades de pulimento.

Está construido con concreto de resistencia característica de 4000 psi y acero de refuerzo, diseñados para soportar las condiciones hidráulicas y biológicas del proceso. El reactor tiene capacidad para almacenar aproximadamente 548 m³, con las siguientes dimensiones:

DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (m)
Largo	15.05 mts
Ancho	07.70 mts
Alto	6.35 mts



Dentro del sistema de la PTAR, los reactores UASB constituyen el núcleo del tratamiento biológico, ya que permiten la mayor remoción de materia orgánica. Una falla en su operación o disminución de volumen afecta directamente la eficiencia global de la planta, incrementando la carga contaminante del efluente final y comprometiendo el servicio de saneamiento del municipio.

Debido a los problemas constructivos presentados durante su ejecución, la capacidad efectiva del reactor se redujo, lo que disminuye el volumen de tratamiento y genera un impacto negativo en la proyección futura de la planta frente al crecimiento poblacional.

Antecedente:

El área donde se ubican los elementos objeto de estudio está clasificada como zona de amenaza sísmica baja, conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Sismo Resistente NSR-10. Tras la realización de estudios geotécnicos en el perímetro de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales —específicamente en la zona que alberga los reactores UASB, foco principal de esta investigación— se identificó la presencia de suelos cohesivos, clasificados como arcillas de baja plasticidad.

Durante la revisión de antecedentes constructivos de estos elementos, se evidenció una irregularidad significativa ocurrida en la etapa de fundición de concreto del primer nivel de los muros exteriores del reactor (media altura). En ese momento, se presentaron lluvias intensas que provocaron la inestabilidad del terreno donde se apoyaban los puntales encargados de sostener la formaleta. Esta condición adversa generó aperturas y desalineaciones en la formaleta, excediendo las tolerancias recomendadas por las buenas prácticas constructivas, lo que pudo comprometer la calidad estructural del elemento.

Actualmente, el reactor UASB se encuentra fuera de operación. Sin embargo, se halló evidencia documental de la realización de pruebas de estanqueidad, ejecutadas conforme a los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017), lo que indica que se llevaron a cabo procedimientos de verificación técnica para evaluar su capacidad de contención.

2. METODOLOGÍA.

Este cuadro presenta las etapas aplicadas para diagnosticar y tratar las afectaciones estructurales identificadas en los reactores UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de Piojo. Cada fase incluye su descripción, los instrumentos utilizados y los resultados esperados, como parte del proceso de evaluación y propuesta de intervención técnica.

Etapas	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
Inspección Visual.	Evaluación visual del estado.	Cámaras fotografías y Fisurómetro.	Registro fotográfico Identificación de lesiones.
Levantamiento de plano.	Medición detallada para planos.	Cinta métrica.	Planimetría dimensional precisa.
Ensayos.	Verificación estructural.	Esclerómetro.	Resistencia superficial del concreto.
Reporte de inspección estructural.	Verificar condiciones estructurales actuales.	Datos obtenidos de inspección y laboratorio.	Valoración del estado estructural y recomendaciones de seguridad.
Propuesta de intervención estructural.	Procedimiento orientado al diagnóstico, solución y mejora estructural.	Los análisis de resultados obtenidos en la etapa diagnóstica, complementado con criterios normativos y metodologías de evaluación estructural.	La propuesta da lugar al diseño del plan operativo conforme a las recomendaciones estructurales obtenidas.

3. ANÁLISIS DE DATOS

Aspecto analizado	Datos recopilados	Métodos de análisis	Resultados del análisis
Espesor mayor al diseñado	Medias de los espesores y dimensiones finales	Comparación con medidas de diseño	Identificación de sobre espesor, posibles fallas de ejecución y repercusión estructural
Condiciones ambientales	Humedad relativa, temperatura, exposición a agentes químicos, nivel de contaminación	Medición in situ, registro meteorológico, observación directa	Determinación del nivel de agresividad ambiental y su influencia en la durabilidad de la estructura

Presencia de Hormigqueo	Resistencia del concreto, homogeneidad de la mezcla, porosidad	Interpretación de ensayos de resistencia y pruebas no destructivas (esclerómetro)	Identificación de zonas con baja compactación y riesgo de pérdida de capacidad estructural
Acero expuesto	Registro fotográfico, ubicación y extensión de la exposición, grado de corrosión	Inspección visual, medición de recubrimientos, potencial de corrosión	Identificación de riesgo de corrosión acelerada y necesidad de intervención inmediata
Cumplimiento normativo	Revisión de planos, memoria de cálculo, fichas técnicas de materiales, normativa aplicable (NSR-10, ACI, etc.)	Comparación con normativa vigente y especificaciones de diseño	Determinación de conformidad o incumplimiento con la normativa y recomendaciones de ajuste

4. DIAGNÓSTICO

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
Espesor mayor al diseñado	Revisión de espesores frente a planos y normativa	Diferencias en espesores que pueden generar sobrecargas o problemas de acabado	Realizar corrección mediante nivelación o retiro de material en exceso si afecta funcionalidad; en caso contrario, documentar y controlar.
Condiciones ambientales	Evaluación de exposición al ambiente (humedad, CO ₂ , cloruros, temperatura)	Ambiente agresivo que favorece corrosión y deterioro del concreto	Implementar medidas de protección superficial (recubrimientos, pinturas epóxicas) y mantenimiento periódico.
Presencia de hormigqueo	Inspección visual y ensayos de homogeneidad del concreto	Zonas con vacíos y pérdida de continuidad del material	Reparar mediante inyección de lechada o mortero; reforzar con recubrimientos protectores.

Acero expuesto	Verificación de recubrimientos y corrosión	Corrosión incipiente en varillas y pérdida de recubrimiento	Limpieza del acero, aplicación de inhibidores de corrosión, reposición del recubrimiento y mortero de reparación.
----------------	--	---	---

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Área/ componente	Propuesta de intervención	Objetivo
Concreto con hormiguelo	Relleno de cavidades con lechada o mortero de alta adherencia, inyección de resinas epóxicas en casos localizados.	Recuperar la homogeneidad del concreto y evitar pérdida de resistencia.
Acero expuesto	Limpieza del acero, aplicación de inhibidores de corrosión, reposición de recubrimiento y mortero de reparación.	Detener la corrosión y restituir la protección del refuerzo.
Superficies expuestas a agentes ambientales	Aplicación de recubrimientos protectores, sellado de fisuras y mantenimiento periódico.	Proteger contra la humedad, cloruros y CO ₂ , alargando la vida útil de la estructura.

6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Presentar un análisis sucinto sobre la sismicidad en la región incluyendo:

Ubicación	Piojó se encuentra en el departamento del Atlántico, en la región Caribe de Colombia. Está ubicado sobre la cordillera de los Montes de María, a una altitud aproximada de 400 metros sobre el nivel del mar.
Descripción geológica	El municipio se asienta sobre formaciones sedimentarias del terciario. La topografía es irregular, con zonas de ladera que pueden presentar susceptibilidad a movimientos de masa en caso de sismos.
Histórico de sismos	Aunque la región Caribe no es la más activa sísmicamente en Colombia, se han registrado eventos moderados en el pasado, especialmente asociados a fallas locales y a la influencia de la zona sísmica de Bucaramanga. El nivel de amenaza sísmica es considerado intermedio, según el mapa de zonificación sísmica del país.
vecinos colindantes	Limita con los municipios de Usiacurí, Tubará y Juan de Acosta. Estos municipios comparten características geológicas y constructivas similares, por lo que enfrentan riesgos sísmicos comparables.

Sistema constructivo	Reactor UASB en concreto vaciado in situ, muros y losa de contención. Se evidenciaron irregularidades de fundición (desalineación de formaleas y presencia de hormiguo).
Materiales	Concreto, con defectos de compactación; acero de refuerzo parcialmente expuesto y con signos de corrosión incipiente.
Cimentación	Basada en suelos arcillosos de baja plasticidad; con una estructura en pilotes de cal y reemplazo en material seleccionado.
sistema estructural	Estructura rígida de muros y losa; presenta vulnerabilidad moderada por defectos constructivos.

MATRIZ DE VULNERABILIDAD SÍSMICA CUALITATIVA
1. FACTORES ESTRUCTURALES

Criterio	Evaluación (Alta/Media/Baja)	Normativa de Referencia	Observaciones
Configuración en planta (Regularidad, simetría)	Baja	Monitoreo periódico	
Configuración en altura (Discontinuidades, masa)	Baja	Monitoreo periódico	
Sistema resistente (Pórticos, muros, dual)	Baja	Monitoreo periódico	
Detalles sismorresistentes (Armaduras, conexiones)	Baja	Monitoreo periódico	
Daños preexistentes (Fisuras, deformaciones)	Media	Requiere mejoras	

2. FACTORES NO ESTRUCTURALES

Criterio	Evaluación	Normativa	Observaciones
Elementos no estructurales (Fachadas, tabiques)	Baja	Monitoreo periódico	
Equipos críticos (Anclajes, sistemas mecánicos)	Baja	Monitoreo periódico	

3. CIMENTACIÓN Y SUELO

Criterio	Evaluación	Normativa	Observaciones
Tipo de cimentación (Zapatillas, pilotes)	Baja	Monitoreo periódico	
Condiciones del suelo (Licuación, asentamientos)	Baja	Monitoreo periódico	



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

Especialización Patología de la Construcción

4. CALIFICACIÓN GLOBAL DE VULNERABILIDAD		
Índice de Vulnerabilidad	Rango	Acciones Recomendadas
Alta	Estructuralmente deficiente	Refuerzo urgente
Media	Requiere mejoras	Evaluación detallada (FEMA 356)
Baja	Cumple normativas	Monitoreo periódico

7. CRONOGRAMA

[illegible]

8. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1. Honorarios profesionales				
Ingeniero civil Auxiliar	Días	7	\$ 100.000	\$ 700.000
Ingeniero . Especialisata en patologia	Glb	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Consultoria de ingeniero estructural	Glb	1	\$ 300.000	\$ 300.000
2. Transporte y otros				
Transporte B/quilla - Piojo y viseversa	Viaje	2	\$ 400.000	\$ 800.000
Comision de topografia	Gbl	1	\$ 600.000	\$ 600.000
3. Ensayos y pruebas				
Servicio de aplicación de ensayo de esclerometro	Gbl	1	\$ 500.000	\$ 500.000
Sub-Total				\$ 3.900.000,00
Iva				\$ 741.000,00
Total				\$ 4.641.000,00

9. RESULTADOS

Resultados obtenidos

El desarrollo de las actividades de inspección, levantamiento y ensayos permitió consolidar una visión clara y fundamentada sobre el estado actual de los reactores UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Piojó.

Los resultados del ensayo de esclerometría evidenciaron que el concreto mantiene una resistencia adecuada y coherente con la especificación de diseño, lo que demuestra que, a pesar del tiempo y de las condiciones ambientales, el material conserva su capacidad estructural.

Esta verificación, sumada al análisis visual y dimensional, permitió confirmar la estabilidad general del elemento, descartando deterioros que pudieran comprometer su funcionamiento. En consecuencia, el diagnóstico sirvió no solo para identificar patologías superficiales, sino también para validar el buen comportamiento estructural del reactor y establecer una base técnica confiable que respalde futuras decisiones de mantenimiento o rehabilitación.

Resultados previstos

A partir de los hallazgos obtenidos, se proyecta una mejora sustancial en la comprensión de las patologías presentes y de las condiciones que las originaron, principalmente asociadas a factores constructivos y ambientales. Esta comprensión permitirá orientar las acciones correctivas y preventivas hacia una gestión más eficiente de la durabilidad y el mantenimiento de la estructura.

De manera complementaria, se definieron soluciones técnicas viables que contribuyen a preservar y optimizar el desempeño del reactor, entre las que destacan:

- La reparación localizada de sectores con hormigqueo mediante inyección de lechadas o morteros de alta adherencia.
- La limpieza y pasivación del acero de refuerzo expuesto, complementada con la aplicación de inhibidores de corrosión y reposición del recubrimiento.
- La protección superficial del concreto mediante recubrimientos o selladores que mitiguen la acción de agentes agresivos del ambiente.

La aplicación de estas medidas permitirá recuperar las condiciones óptimas de servicio del reactor, incrementar su vida útil y garantizar su funcionamiento seguro y eficiente dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2017). Bogotá, Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia.
- ICONTEC. (2018). NTC 3493: Ensayos no destructivos – Determinación de la resistencia del concreto mediante el martillo de rebote (esclerómetro). Bogotá, Colombia.
- Delgado, A. & Vargas, L. (2018). Manual de Patología y Rehabilitación de Estructuras de Concreto. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Castaño, J., & Rojas, C. (2016). Mantenimiento y reparación de estructuras de concreto *reforzado*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Consorcio PTAR Piojó 2018. Informe técnico de construcción y pruebas de estanqueidad – Reactores UASB, PTAR Municipio de Piojó. Documento interno.
- Consorcio PTAR Piojó 2018. Planos estructurales y memorias de cálculo del sistema UASB. Documento técnico suministrado por el constructor.

11. ANEXOS