

**ESTUDIO DE PATOLOGÍA DEL SEDIMENTADOR 8 DE LA PTAR CAÑAVERALEJO -
CALI – VALLE DEL CAUCA.**



ING. DIANA CAROLINA BASTIDAS BASTIDAS

ING. JUAN JOSÉ CARVAJAL CERTUCHE

ING. JORGE ENRIQUE SOLER GALINDO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD)

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS

PROGRAMA DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTÁ D.C

DICIEMBRE DE 2019

**ESTUDIO DE PATOLOGÍA DEL SEDIMENTADOR 8 DE LA PTAR CAÑAVERALEJO -
CALI – VALLE DEL CAUCA.**

ING. DIANA CAROLINA BASTIDAS BASTIDAS

ING. JUAN JOSÉ CARVAJAL CERTUCHE

ING. JORGE ENRIQUE SOLER GALINDO

WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO-TPI

ENTREGA FINAL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS ABIERTA Y A DISTANCIA (VUAD)

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

PROGRAMA DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTÁ D.C

DICIEMBRE DE 2019

TABLA DE CONTENIDO

ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
RESULTADOS DE PATOLOGÍA.....	43
ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	53
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
Referencias.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación sedimentador 8.	10
Figura 2. Planta intermedia del sedimentador 8.	12
Figura 3. Vista general del interior del Sedimentador 8.	17
Figura 4. Abrasión leve en losa.	18
Figura 5. Juntas de construcción verticales en muros	19
Figura 6. Borde perimetral en unión muro-losa.	20
Figura 7. Sección transversal del cajero perimetral en la unión muro – losa.	21
Figura 8. Esquema de juntas de construcción en losa.	22
Figura 9. Fisuras típicas en losa de fondo del sedimentador 8.	23
Figura 10. Sello en juntas parcialmente desprendido.	24
Figura 11. Fisura paralela a junta.	24
Figura 12. Apreciación de sobre losa durante la extracción de núcleos.	25
Figura 13. Afectación encontrada en sobre-losa. Mancha cobriza y agujero central	26
Figura 14. Lámina metálica tratamiento de juntas circulares en losa estructural.	27
Figura 15. Lámina metálica tratamiento de juntas radiales en losa estructural.	27
Figura 16. Junta de construcción en sobre-losa.	28
Figura 17. Alabeo generado por gradientes térmicos en una losa de concreto.”	29
Figura 18. Perspectiva general del barrelodos.	30
Figura 19. Estado de corrosión del barrelodos	30
Figura 20. Estado de corrosión del barrelodos	31
Figura 21. Elementos metálicos afectados por corrosión.	32
Figura 22. Elementos metálicos afectados por corrosión.	32
Figura 23. Afectación de aspas del barrelodos. Deterioro de neopreno.	33
Figura 24. Revestimiento de protección en el canal perimetral gravemente afectado.	34
Figura 25. Degradación del revestimiento de protección.	34
Figura 26. Franja perimetral con pérdida total del revestimiento	35
Figura 27. Exposición y corrosión del acero de refuerzo	36
Figura 28. Pérdida recubrimiento en muros y losa del canal de agua clarificada	37
Figura 29. Pérdida de sección transversal en barras del canal de agua clarificada	37
Figura 30. Condición típica de muros y losas en el resto del canal de agua clarificada	38
Figura 31. Condición típica de muros y losas en el resto del canal de agua clarificada	38
Figura 32. Pérdida de sección en el borde de la losa sobre el canal perimetral.	39
Figura 33. Pérdida de sección en el borde de la losa sobre el canal perimetral	40
Figura 34. Líneas de flujo a la entrada de la cámara del efluente	41
Figura 35. Acero expuesto en la cámara del efluente	41
Figura 36. Armadura de refuerzo visible sobre el muro de la cámara del efluente	42

1 Introducción

El crecimiento acelerado de la Ciudad de Cali ocurrido durante la segunda mitad del siglo XX, trajo consigo el asentamiento descontrolado de población especialmente cerca de las fuentes de agua, este aumento poblacional incrementó el vertimiento de aguas residuales hacia los siete ríos de la Ciudad de Cali, los cuales desembocan en el Río Cauca. De allí nace la necesidad de construir una planta de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad de Cali con el objetivo de eliminar los contaminantes presentes en el agua La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo, se empezó a construir en el año 1996 con una inversión de más de 80 millones de dólares.

La PTAR de Cañaveralejo cuenta con 8 sedimentadores, estructuras encargadas de la separación del agua y los sólidos más pesados. El sedimentador No. 8 presentó problemas desde el inicio de su operación y por tal razón no estuvo en uso continuo, sin embargo, a la fecha se ve la necesidad de reactivarlo y que su funcionamiento contribuya al mejoramiento de la capacidad de agua a tratar por la PTAR Cañaveralejo. Por esta razón, se realizó el estudio de Patología con el objetivo de rehabilitar la estructura y poner en uso nuevamente el sedimentador 8.

El presente informe tiene como objetivo exponer los resultados del diagnóstico estructural realizado al sedimentador 8 de la PTAR CAÑAVERALEJO de la ciudad de Cali. A partir de este estudio se pretende determinar la condición actual de la estructura que presta sus servicios a la planta.

El estudio consiste en realizar una inspección visual, un estudio patológico y un análisis estructural del sedimentador; este análisis se realizó siguiendo los criterios especificados en la guía del Instituto Americano del Concreto (ACI), “201.1R-08, Guía para la realización de la inspección visual para estructuras de concreto en servicio”, el título C.23 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y todas las normas técnicas aplicables al análisis patológico de una estructura de concreto.

Durante el estudio se determinó el estado actual de los concretos que conforman la estructura y que han estado en contacto con el agua residual. Además de las labores de inspección, se realizó la extracción de los núcleos de concreto, los cuales se utilizaron para realizar los respectivos ensayos de compresión, porosidad, masa unitaria, absorción del concreto, cloruros y carbonatación.

2 Justificación

A nivel social el desarrollo de este estudio contribuirá a que se eliminen o disminuyan los posibles riesgos que suponen las lesiones presentes en el sedimentador, asociados a la operación de la PTAR. De igual manera, la comparación de procesos constructivos, normativa y especificaciones técnicas existentes en el momento de la construcción del sedimentador y las actuales para este mismo proceso, generan un documento técnico inexistente e importante para la intervención que se adelanta actualmente de la PTAR. Económicamente este estudio ayudará a la intervención oportuna de las lesiones que presentan los elementos de concreto, para evitar la presencia de deterioros mayores que generen costos excesivos o adicionales en la realización de procesos errados o tardíos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar el estudio de Patología y Reforzamiento Estructural del Sedimentador 8 de la PTAR Cañaveralejo, de la Ciudad de Cali.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones estructurales existentes del Sedimentador 8.
- Presentar y analizar los resultados del estudio de patología realizado a la estructura.
- Realizar un análisis estructural y determinar las intervenciones necesarias para que la estructura cumpla los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, particularmente en su Título C.23.
- Exponer las conclusiones sobre el estado actual de la estructura.

4 Marco de referencia

4.1 Contexto

Uno era el Río Cauca que entraba a la ciudad de Cali y otro el que salía. En su paso continuo por Cali, el río Cauca perdía oxígeno y vida; a cambio, recibía lodos, arena, coliformes fecales, residuos orgánicos, grasas y jabones, químicos industriales y desperdicios metálicos y plásticos. Los efectos negativos de la entrada de agentes contaminantes a sus aguas ocasionaban daños ambientales y económicos. En cuanto a la región que se abre debajo de Cali, esta recibía un oscuro hilo de agua contaminada de reactivos lesivos para sus habitantes. (Lizcano Caro, Angarita Manosalva, & Chacón Mejía, 2012)

Con el objetivo de disminuir la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales (SST). Se realizaron varios estudios con el fin de determinar la mejor forma de descontaminar las aguas del Río Cauca, estos estudios concluyeron que Cali debería tener tres plantas de tratamiento de aguas residuales, entre estas la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo (Ptar).

A la fecha la planta se encuentra en funcionamiento y contribuye al crecimiento de la Ciudad, por lo que es necesario su mantenimiento preventivo y en lo que respecta al caso del SEDIMENTADOR 8 su tratamiento es Correctivo.

4.2 Legal

Con la creación de la Ley 99 de 1993 y la Constitución de 1991, se crea el medio para proteger los recursos naturales y por ende controlar y sancionar los vertimientos irregulares (Romero Rojas, 2005). Por lo anterior y por considerarla una estructura indispensable para el Servicio de los Caleños se deben hacer los mantenimientos preventivos necesarios para su

normal funcionamiento, como se comento inicialmente el sedimentador 8 comenzó con fallas de su estructura mecánica desde el comienzo de su operación pero no fue hasta el 2016 cuando se vio la necesidad de que esta estructura funcionara al 100%, este informe se encarga de recoger las lesiones encontradas en el sedimentador, sus causas y las alternativas para su reparación y rehabilitación.

5 Alcances y limitaciones

El alcance del presente estudio se circunscribe a los elementos estructurales de concreto del sedimentador dentro de los que se encuentran la losa de fondo, los muros principales, el canal de agua clarificada y la cámara del efluente.

Se aclara que los elementos mecánicos no hacen parte del alcance de este diagnóstico, dado que requieren experticia en otras disciplinas y su estudio implica un despliegue logístico independiente.

El esquema de ensayos de laboratorio seleccionado pretende cubrir de manera integral los escenarios de daño y desgaste propios de los concretos en contacto con aguas residuales. A pesar de que existen algunos ensayos complementarios que podrían ser ejecutados, la limitación presupuestal obligó a seleccionar el siguiente listado de ensayos, el cual cubre la mayoría de los aspectos a evaluar:

- Ensayo de compresión en núcleos de concreto
- Ensayo de densidad y porosidad
- Ensayo de contenido de cloruros
- Ensayo de contenido de sulfatos
- Ensayo de carbonatación
- Determinación del espesor de recubrimiento en losas y muros

6 Metodología

6.1 Localización del paciente

El sedimentador 8 hace parte del sistema de tratamiento secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR-CAÑAVERALEJO, siendo la estructura en la cual se realiza la sedimentación de parte de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual.

(Figura 1).

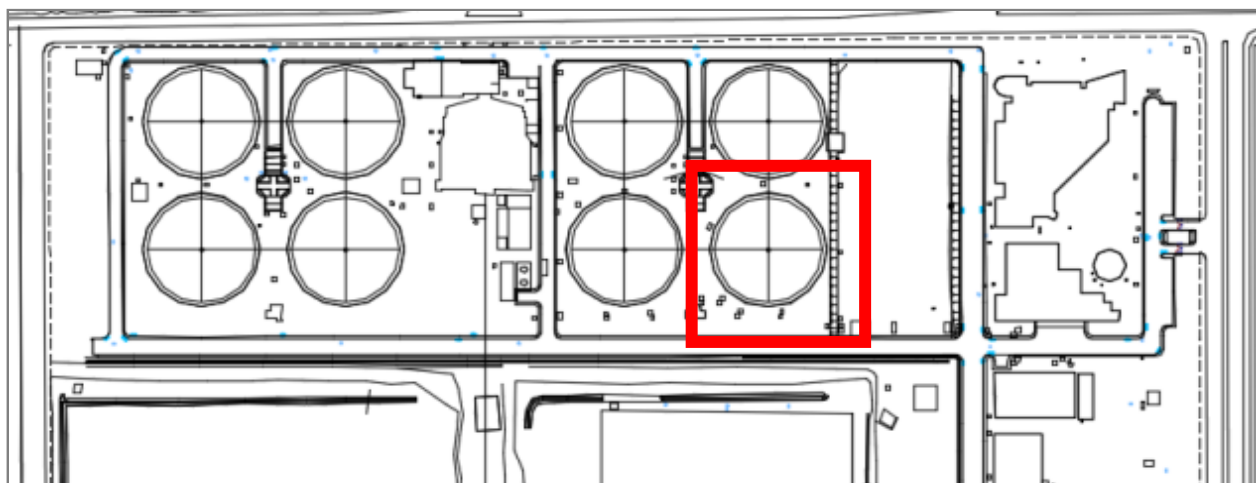


Figura 1. Ubicación sedimentador 8.

6.2 Descripción del paciente

El Sedimentador 8 consiste en una estructura de concreto reforzado postensado en la cual se realiza la sedimentación de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual que trata la planta. El flujo de agua residual es conducido por gravedad desde los desarenadores hacia dos cámaras de distribución de caudales, las cuales distribuyen el flujo hacia 8 sedimentadores primarios distribuidos uniformemente alrededor de estas cámaras. De los sedimentadores primarios, las aguas tratadas son descargadas al río Cauca.

Al salir de los desarenadores, al agua residual ya se le ha adicionado Cloruro Férrico (FeCl_3) y polímero. La adición de estos elementos a las aguas residuales facilita la formación del floc que posteriormente se sedimentará en el sedimentador.

Los sedimentadores primarios cuentan con sus respectivos mecanismos barre lodos que concentran el lodo primario en el fondo de cada sedimentador, y con sus respectivos barre natas que concentran las natas flotantes en la superficie del agua hacia una tolva o recipiente que cuenta con una tubería para conducir las natas hacia un pozo de natas para su recolección y posterior bombeo hacia el sistema de tratamiento y colección. La extracción de los lodos del sedimentador se realiza con una serie de bombas de lodo primario cuya tubería de succión los extrae en el cono central.

Cada uno de los sedimentadores cuenta con cubiertas de aluminio y con sistema de extracción de olores. Las cubiertas son sostenidas por domos metálicos compuestos por vigas de aluminio que conforman una densa retícula de elementos estructurales, lo que permite salvar la luz correspondiente al diámetro del sedimentador y no generar apoyos intermedios.

De los tanques sedimentadores el agua residual “clarificada” es conducida por gravedad a través de un conjunto de vertederos y conductos, hacia las tajeas y finalmente al Río Cauca.

El sedimentador 8 presenta una geometría circular con dimensiones aproximadas 47.5m de diámetro y una altura de 5.05m (*Figura 2*).

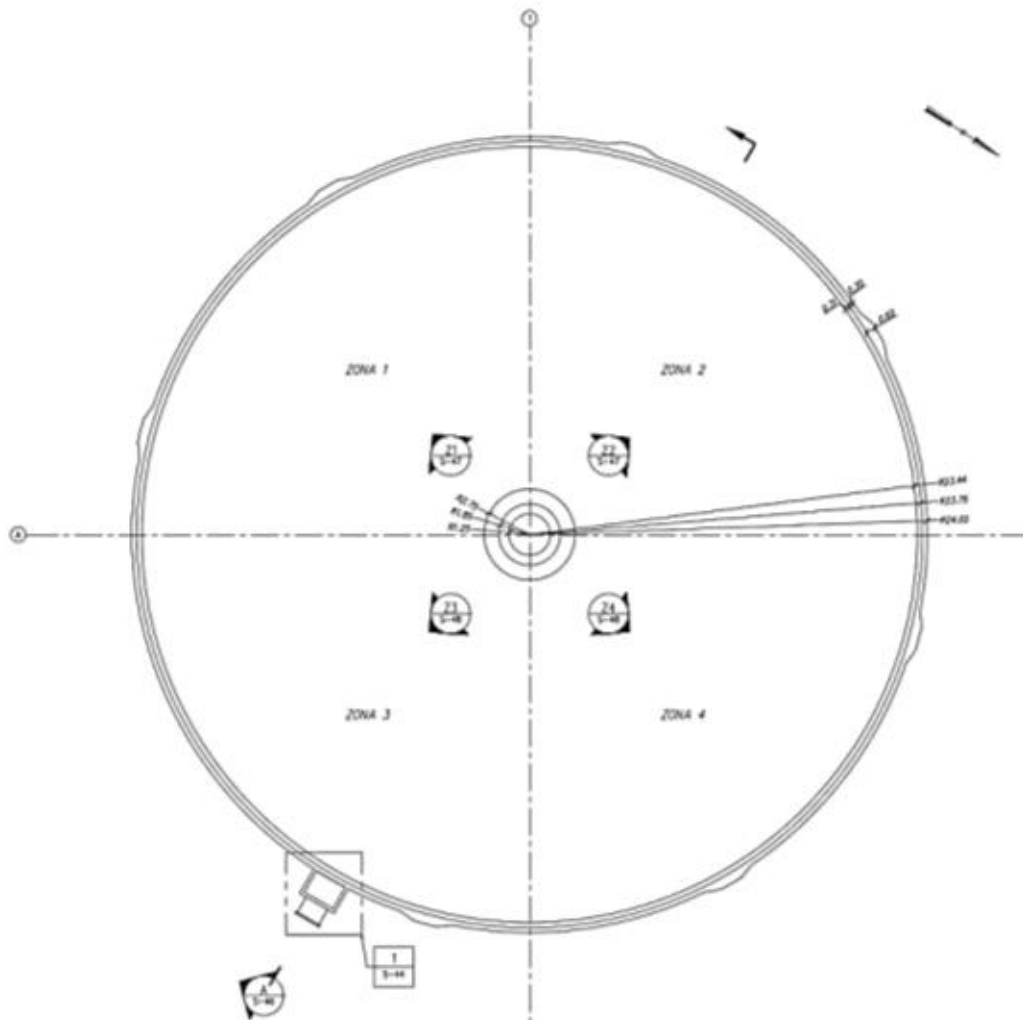


Figura 2. Planta intermedia del sedimentador 8.

6.2.1 Descripción del Sistema Estructural y Constructivo

Los muros que conforman la estructura circular presentan un espesor de 30 cm en toda su altura, excepto en su base, donde presenta 60 cm de espesor; esta cuenta con un refuerzo vertical típico en la cara interna de los muros de #4@25cm y un refuerzo vertical típico en la cara externa de los muros de #8@25cm en la base y #4@25cm en la zona superior de los mismos. El refuerzo horizontal se compone de barras #4@18cm en la base de los muros y #4@30cm en la zona superior de los mismos. La estructura cuenta con 8 columnas de tensionamiento localizadas

radialmente, las cuales reciben 19 ductos espaciados de manera uniforme cada 20 cm. Cada ducto alberga un torón de ½” de diámetro cuya tensión efectiva reportada en planos corresponde a 11.240 kgf.

La losa de fondo corresponde a una losa maciza de 65 cm de espesor con una pendiente del 4.28% hacia la tolva para lodos; la losa cuenta con un refuerzo radial típico de barras #6@30cm y un refuerzo circular típico de barras #6@25cm. La losa se conecta de manera rígida a los muros.

El agua clarificada se vierte a un canal perimetral que circunda la totalidad del perímetro del tanque y recoge los excesos de agua para conducirlos hacia el pozo del efluente y posteriormente hacia las tajeas. Las dimensiones internas del canal son 1.50m de ancho x 1.40m de alto y cuenta con una losa superior que funciona como pasarela peatonal de 1.00m de ancho.

Dentro del canal perimetral se encuentra el pozo del efluente que cuenta con una losa de 65 cm de espesor y 1.50m x 2.00m de base, con una altura de muros de 3.45m y un espesor de 25 cm en todas sus caras

La estructura se ve sometida a cargas externas compuestas por la presión de suelo circundante y la presión hidrostática del agua contenida en la misma. Debido a las mencionadas condiciones, se consideró pertinente realizar una inspección visual que permitiera evaluar cualitativa y cuantitativamente el estado de la estructura tras casi 20 años de construcción y operación.

6.3 Preparación y planteamiento del estudio

6.3.1 Inspección preliminar del paciente

La visita de inspección se realizó el día 07 de septiembre de 2018 en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo (PTAR-C) de la ciudad de Cali. El acceso a la estructura se realizó siguiendo los lineamientos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional establecidos por las Empresas Municipales de Cali EMCALI EICE ESP y cumpliendo los protocolos de seguridad industrial y trabajo seguro en alturas necesarios para garantizar que las condiciones del sitio de trabajo fueran aptas para su acceso y diagnóstico.

6.3.2 Recopilación de información necesaria para el estudio

Para el desarrollo del proyecto se contó con el juego de planos originales tanto en versión digital como física que fueron usados para la construcción de la planta PTAR Cañaveralejo.

6.3.3 Permisos y autorizaciones para abordar el estudio al paciente

El ingreso a la estructura se realizó mediante el procedimiento de suspensión con cuerdas, utilizando en todo momento elementos de protección contra caídas como lo son arneses, trípode, freno de respaldo y líneas de vida.

Antes del acceso a la estructura, se solicitó que ésta se encontrara completamente vacía, seca, limpia y aislada del sistema de tratamiento de la PTAR, esto con el fin de garantizar tanto la seguridad del personal, como también que las superficies a inspeccionar estuvieran completamente libres de elementos que impidieran la inspección adecuada.

6.3.4 Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración.

El equipo de trabajo para realizar las exploraciones debe contar con curso avanzado de trabajo en alturas, las tomas de muestras deben ser realizadas por personal capacitado de un laboratorio certificado, el análisis de la información lo realiza un equipo de trabajo interdisciplinario: especialista en estructuras, especialista en patología de la construcción y especialista en geotécnica, esto con el fin de obtener la mejor alternativa de reparación.

6.3.5 Definición de los medios para realizar la exploración

El estudio realizado a la estructura consistió en una inspección visual y toma de núcleos de concreto buscando identificar las posibles afectaciones y/o lesiones que se pudieran presentar en la estructura luego de 18 años de operación. Lo anterior se complementó con un análisis estructural y normativo de la misma con el objetivo de corroborar que las condiciones de resistencia y capacidad fueran suficientes para soportar las cargas actuantes y para garantizar que se cumplan los requisitos del Reglamento de construcción vigente.

6.4 Historia clínica

6.4.1 Responsables del estudio

El estudio fue realizado por los ingenieros Diana Bastidas, Juan José Carvajal y Jorge Soler bajo el acompañamiento y autorización de la firma HINCACOM SAS, responsable de los estudios de patología estructural en el marco del contrato de diagnóstico y rehabilitación de la PTAR Cañaveralejo.

6.4.2 Fecha de realización del estudio

El presente estudio se encuentra en desarrollo y se inició en septiembre del año 2018.

6.4.3 Datos generales del paciente

Tabla 1. Datos generales del paciente

Nombre	Sedimentador No. 8 de la PTAR de Cañaveralejo
Localización	Valle del Cauca, Santiago de Cali
Uso	El sedimentador 8 hace parte del sistema de tratamiento secundario de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR-CAÑAVERALEJO, siendo la estructura en la cual se realiza la sedimentación de parte de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual
Fecha de construcción	10 de agosto de 1997
Sistema constructivo	Losas y paredes en concreto, estructuras internas en acero estructural.
Técnica Constructiva	Concreto fundido en sitio.
Uso actual	El Sedimentador 8 hace parte del sistema de tratamiento de aguas residuales, que evitan que llegue una mayor cantidad de sedimentos y contaminantes al Río Cauca.
Importancia del Paciente	La PTAR Cañaveralejo, una de las más grandes de Colombia, evita que lleguen 150 toneladas diarias de residuos al Río Cauca, beneficiando a 180 municipios
Sistema estructural y constructivo	Muros postensados de concreto.
Normativa actual que lo rige	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR10

6.4.4 Datos de la edificación y/o construcción civil

Tabla 2. Datos de la edificación y/o construcción civil

Tipo de Cimentación	Losa maciza de concreto de 65cm de espesor.
Altura	5.00m en la parte más baja y 6.50m en la parte más profunda
Área	1772 m ²
Estado general de construcción	El sedimentador no presenta graves daños estructurales por lo que se puede afirmar que su estado es bueno y funcional, sin embargo, su estructura presenta lesiones generalizadas en las superficies del concreto.
Información Existente	Juego de planos originales que se utilizó para la construcción de la planta (Ver Anexo 3)
Fidelidad de los planos	Son fiables, pero se han encontrado leves diferencias con lo realmente construido.

6.4.5 Aplicación Patológica

Se llevó a cabo la Investigación Estructural teniendo en cuenta el diseño original y su comportamiento en el desarrollo de su función.

Los ocho (8) sedimentadores son tanques circulares de 47.5 metros de diámetro y 4.20 metros de altura de muros exteriores; se alimentan por el fondo de cada tanque y con flujo ascendente el agua clarificada sale a través de un vertedero perimetral para ser descargada a través de cámaras para transporte del efluente a la estructura de descarga al Río Cauca. Están provistos con barrelos en el fondo y desnatadores superficiales. Los sólidos removidos se evacuan por el fondo del sedimentador y serán bombeados hacia el espesador de lodo, previo a la digestión.

Pediátrica

La planta de tratamiento de aguas residuales inició labores el 26 de diciembre de 2002 y ha mantenido su operación de forma ininterrumpida desde entonces.

Geriátrica

En ésta Etapa de la Investigación analizamos el desgaste de los materiales usados y de su envejecimiento o vida útil.

Las obras de optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR, son uno de los proyectos bandera de Emcali para los próximos dos años. Se estima que en el 2019 estará completo el paquete de obras.

Forense

Es el estudio sistemático del deterioro de las estructuras y sus componentes; la determinación de las causas y mecanismo del deterioro, sus posibles consecuencias y la manera técnica y económica de remediarlo, es el campo de actuación de la Patología Estructural. Corresponde entonces a las acciones de mantenimiento y protección de las estructuras tomando en cuenta es un problema complejo de interacción del medio ambiente y las acciones de servicio, para que la calidad de los materiales, y componentes de las construcciones no alcancen un estado límite durante su vida útil.

Preventiva

La PTAR trata 6,3 metros cúbicos por segundo de aguas residuales y su capacidad se ampliará a 8,3 metros cúbicos por segundo. Esta planta produce 150 toneladas día de biosólidos y genera 750 kilovatios/hora de energía.

Por lo anterior, su mantenimiento es constante con el fin de prevenir anomalías que frenen el funcionamiento normal de la PTAR.

6.5 Datos específicos de las lesiones

6.5.1 Inspección general del paciente

Durante la inspección de los concretos de la estructura se pudo apreciar que el estado de estos difiere mucho entre el interior del tanque y el canal perimetral, apreciándose el primero en buen estado y el segundo visiblemente afectado por diferentes lesiones. Una de las causas probables de la diferencia en el estado de los concretos es la diferencia entre las velocidades del flujo que corre por el canal perimetral con respecto al interior del tanque y la caída del agua clarificada sobre el vertedero hacia el canal perimetral, lo que genera mayor liberación de los gases presentes en el agua residual, los cuales al entrar en contacto con el oxígeno de la atmosfera genera una serie de reacciones químicas que difícilmente se podrían presentar en las profundidades del tanque que se encuentran cubiertas totalmente por agua.

6.5.2 Inspección al interior del sedimentador

Se puede afirmar que los concretos que conforman los muros y losas del interior del Sedimentador 8 no presentan graves afectaciones ni patologías visibles. Pese a que no se encontraron rastros de que el interior de la estructura hubiera tenido en algún momento el recubrimiento Sika Coaltar epóxico, la estructura presenta un deterioro leve y su estado se puede calificar como bueno dado el tiempo de operación de la planta y la agresividad de los agentes presentes en ella. Cabe resaltar que dado el proceso que tiene lugar en el Sedimentador, hay presencia constante de aguas residuales con alto contenido orgánico, ácidos corrosivos y gases altamente agresivos como el ácido sulfhídrico (H_2S). (*Figura 3*).



Figura 3. Vista general del interior del Sedimentador 8.

6.5.3 Clasificación y origen de las lesiones

6.5.3.1 Afectaciones

Las superficies de los muros se encuentran en buen estado y se aprecia una buena calidad en los concretos en términos de resistencia y baja permeabilidad. Se encontraron daños leves localizados probablemente debido al impacto de gravas o elementos solidos de arrastre suspendidos en el caudal de agua.

Las superficies de concreto han sufrido un muy leve efecto de abrasión superficial debido a diferentes factores, entre ellos el constante rozamiento con el material de arrastre del caudal de la planta y el movimiento del barrelosos (*Figura 4*). En este tipo de estructuras las velocidades de flujo son bastante bajas y previamente se ha eliminado la mayoría de solidos gruesos, por lo que el efecto de abrasión no es crítico y no se esperaría que pueda representar algún tipo de riesgo a largo plazo.



Figura 4. Abrasión leve en losa.

Dadas las grandes dimensiones de la estructura, era de esperarse la identificación de juntas de construcción en muros y losas para delimitar las etapas de fundido de la estructura. Conforme a lo esperado, se encontró una serie de juntas horizontales y verticales a tope sin tratamiento aparente.

Sobre los muros, se identificó una junta horizontal, localizada a una altura de 2.00m a partir de la unión muro-losa y 36 juntas verticales distribuidas radialmente. En términos generales se puede afirmar que las juntas se encuentran en buenas condiciones y no presentan lesiones asociables a filtraciones ni falta de estanqueidad. (Figura 5).



Figura 5. Juntas de construcción verticales en muros

A diferencia de las juntas a tope de los muros, la junta del borde muro-losa presenta un borde perimetral de 7.0cm de ancho que busca garantizar el sello hidráulico en la interfaz entre la losa de fondo y los muros. Se aprecia que la junta entre el mortero y la losa de sacrificio presenta un sello polimérico flexible el cual se encuentra muy deteriorado y se aprecia que en algunos puntos se ha desprendido (*Figura 6*).

Durante la inspección realizada al sedimentador 6, se encontró que el borde en mención corresponde a un relleno de mortero que cubre un cajeo perimetral donde se configura un espacio entre el muro y la losa de sacrificio (*Figura 7*). Dadas las condiciones halladas es posible suponer que el sedimentador 8 presente el mismo cajeo perimetral, sin embargo, hasta que se inicie la intervención a la estructura no es posible determinarlo con seguridad.



Figura 6. Borde perimetral en unión muro-losa.



Figura 7. Sección transversal del cajeo perimetral en la unión muro – losa.
Fotografía adaptada del informe INF_SUP No.05 de la firma IDOM

Por su parte, se puede apreciar que la losa también se encuentra en buen estado y presenta buena calidad en el concreto en términos de resistencia y baja permeabilidad. Tampoco se identificaron afectaciones de gravedad o lesiones visibles que comprometan la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Durante las actividades de inspección se encontró que la losa presenta una serie de juntas de construcción radiales y circulares, probablemente con el objetivo de controlar las posibles fisuras por retracción generalmente asociadas a losas de grandes áreas expuestas a la acción del sol y de la brisa. El esquema de juntas consiste en 6 anillos circulares de aproximadamente 4.0m de ancho, subdivididos por una serie de juntas radiales que generan paños con relaciones de forma cercanas a 2:1 y se encuentran selladas con un material flexible que busca garantizar la estanqueidad de la junta (Figura 8).

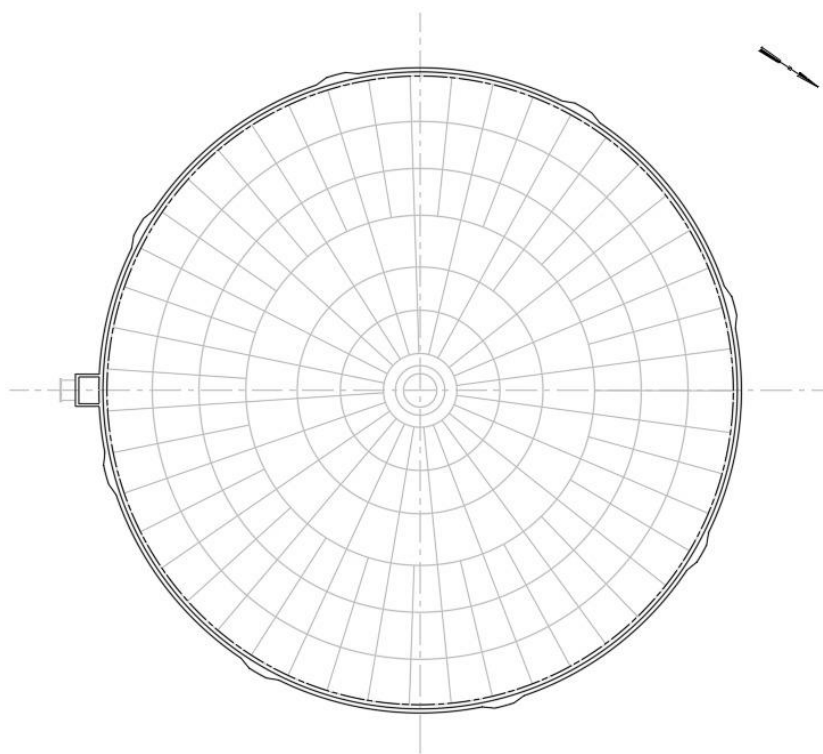


Figura 8. Esquema de juntas de construcción en losa.

Durante la inspección de la losa de sacrificio se encontraron una serie de fisuras perpendiculares a la dirección radial del tanque, reparadas previamente con el mismo material aplicado en las juntas de construcción. Dichas fisuras presentan características particulares las cuales permiten clasificarlas como fisuras por retracción de fraguado del concreto, ya que se manifiestan en el sentido corto de los paños y se propagan de manera uniforme generando la impresión de una junta natural en el concreto. Se puede inferir que a pesar de que durante la construcción se hayan tomado todas las medidas necesarias para evitar este tipo de fisuras, resulta difícil garantizar que no aparezcan dado el espesor de la losa, el área de la misma y el entorno suburbano que no genera ninguna restricción a los vientos que corren paralelamente al río Cauca.

Las fisuras identificadas se presentan de manera irregular e intermitente en la mayoría del área de la losa pero no representan una cantidad significativa con respecto al área de la misma, sin embargo, se hallaron fisuras circulares sobre los anillos 3, 4, 5 y 6 (Figura 8) que aunque no recorren la totalidad del perímetro, si representan una longitud significativa (Figura 9). A pesar de que todas las fisuras presentes en la losa del tanque se encontraban tratadas, se deben volver a sellar ya que se pudo apreciar desgaste y pérdida de sección en muchas de ellas (Figura 10 y Figura 11).



Figura 9. Fisuras típicas en losa de fondo del sedimentador 8.



Figura 10. Sello en juntas parcialmente desprendido.



Figura 11. Fisura paralela a junta.

Durante la extracción de los núcleos de concreto en la losa de fondo, se encontró una sobre-losa de sacrificio con espesores entre 42mm y 105mm, que no se encontraba reportada en planos. Se puede inferir que la función de dicha capa de concreto no es estructural debido al espesor de la misma y al hecho de que no se encontraba mecánicamente adherida a la losa inferior mediante conectores de cortante (Figura 12). Por lo tanto, es posible concluir que la sobre-losa tiene como función proteger la losa estructural y generar la superficie precisa requerida para el correcto funcionamiento del barrelos. En algunos casos se encontró que tanto la losa estructural como la losa de sacrificio se encontraban adheridas, mientras que en otros sectores del tanque ni, sin embargo, a pesar de no encontrarse adheridas entre sí, los núcleos presentaron en ambas superficies un producto de color blanco no identificado, que podría funcionar como puente adherencia entre las dos capas de concreto.



Figura 12. Apreciación de sobre losa durante la extracción de núcleos.

Durante la extracción de núcleos no se encontró ningún refuerzo al interior de la sobrelosa, lo que explica la susceptibilidad de la misma a los efectos de retracción de fraguado y sus consecuentes fisuras, previamente enunciadas. Adicionalmente, se encontró una serie de manchas de color cobrizo y forma casi circular, distribuidas de manera uniforme en el área de la losa, muchas de ellas con un agujero central; al inspeccionar dichas manchas en conjunto con el entorno, se pudo concluir que todas se encuentran localizadas exactamente debajo de las aberturas de ventilación de la cubierta, dichas aberturas generan un goteo constante que se traduce en micro-impactos sobre la losa, desgastándola y generando socavación localizada. (*Figura 13*).



Figura 13. Afectación encontrada en sobre-losa. Mancha cobriza y agujero central

6.5.4 Evaluación física y mecánica de la composición del concreto

Con el objetivo de determinar el estado y el tratamiento de las juntas de construcción, se realizó una serie de extracción de núcleos en estas y se observó que la losa estructural presenta un tratamiento de juntas similar a la del digestor C, correspondiente a una lámina metálica de aproximadamente 10cm de ancho que recubre las juntas circulares (Figura 14) y radiales (Figura 15). Adicionalmente, se observó que en algunos casos las juntas de construcción de la losa estructural no coinciden con las juntas de la sobre-losa (Figura 16), probablemente debido a que estas últimas fueron cortadas con sierra una vez fundido el concreto y resultaría muy difícil realizar el corte siguiendo la misma línea de la junta si esta no fue trazada previamente.



Figura 14. Lámina metálica tratamiento de juntas circulares en losa estructural.



Figura 15. Lámina metálica tratamiento de juntas radiales en losa estructural.



Figura 16. Junta de construcción en sobre-losa.

Otro factor importante a tener en cuenta con respecto a la sobre-losa, es que, debido a que no se encuentra adecuadamente adherida a la losa del sedimentador, puede ser susceptible a las deformaciones por temperatura en los casos en que la estructura se encuentre fuera de operación y vacía. Cabe recordar que, sin la presencia del agua, la cara superior de la sobre-losa está expuesta a la temperatura ambiental que puede superar los 30°C, pero la cara inferior no alcanza tal temperatura; dicha diferencia de temperaturas en la sobre-losa genera una expansión diferencial de la sección de la misma, por lo que se puede presentar un alabeo de la sobre-losa y su consecuente fisuración y desprendimiento de la losa estructural (Figura 17). Por todo lo anterior, se recomienda que cuando se desee sacar de operación el sedimentador, se conserve una lámina de agua de mínimo 1.50m de altura para regular la temperatura en la superficie de la sobre-losa. En caso de que se requiera secar completamente la estructura, se recomienda no hacerlo por períodos de tiempo superiores a un mes.

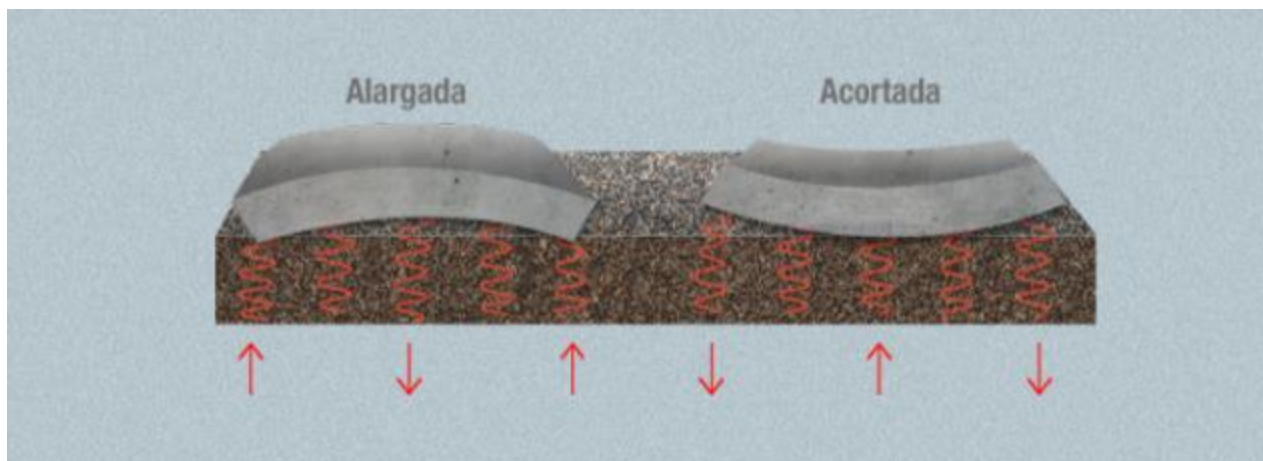


Figura 17. Alabeo generado por gradientes térmicos en una losa de concreto.”

6.5.5 Inspección de elementos metálicos del barrelos

Luego de evaluar las estructuras de concreto se procedió a la inspección de los elementos metálicos presentes, en particular, el barrelos, ya que este interactúa con la losa de fondo y puede llegar a afectarla. En términos generales, se pudo apreciar que los elementos metálicos que conforman las cerchas del barrelos se encuentran en pésimas condiciones de conservación ya que la mayoría han perdido gran parte de su sección transversal y en algunos elementos metálicos, esta sección transversal se ha perdido en su totalidad. Es importante indicar que el grado de deterioro y corrosión identificado es tal, que muchos de los elementos presentes en el barrelos se desmoronan con facilidad y se rompen ante el más mínimo esfuerzo. Estos elementos se encuentran expuestos a un ambiente altamente corrosivo y han estado fuera de operación por mucho tiempo, es decir, han estado en contacto con el oxígeno del medio ambiente, lo que propicia las reacciones químicas que generan corrosión. (Figura 18, Figura 19 y Figura 20)

Dado el avanzado estado de deterioro de la mayoría de los elementos del barrelados, se podría inferir que este debe ser retirado en su totalidad y reemplazado por un equipo nuevo, sin embargo, se recomienda realizar un análisis mecánico detallado para determinar si el barrelados debe ser cambiado en su totalidad.



Figura 18. Perspectiva general del barrelados.



Figura 19. Estado de corrosión del barrelos



Figura 20. Estado de corrosión del barrelos

Durante la inspección de los elementos metálicos del barrelos se pudo identificar que algunos ángulos presentan procesos de corrosión activos, que generan afectaciones sobre la resistencia de los mismos y representan un foco de propagación del proceso electroquímico asociado a la corrosión (*Figura 21* y *Figura 22*). Dado que para que esta reacción suceda se requiere la presencia oxígeno, bajo condiciones de operación no es factor de riesgo crítico. Por esto se reitera la recomendación de mantener una lámina de agua cuando la estructura esté fuera de operación y no dejarla grandes períodos de tiempo completamente seca para poder garantizar la durabilidad del nuevo equipo que se instale.

Adicionalmente, se apreció un desgaste avanzado de los cordones de neopreno bajo las aspas del barrelos, identificando agrietamiento, pérdida de sección, desprendimientos parciales y en algunos casos ausencia total del neopreno. (*Figura 23*).



Figura 21. Elementos metálicos afectados por corrosión.



Figura 22. Elementos metálicos afectados por corrosión.



Figura 23. Afectación de aspas del barrelos. Deterioro de neopreno.

6.5.6 Inspección al canal de agua clarificada

Como se mencionó anteriormente, el estado de los concretos del canal de agua clarificada fue completamente diferente al del interior del sedimentador ya que se encontraron graves afectaciones de diferente naturaleza en muros y losas y avanzados procesos de daño, delaminación, corrosión, abrasión entre otros. Las afectaciones más severas se encuentran concentradas en las proximidades de la cámara del efluente, sin embargo, estas se continúan apreciando en todo el perímetro del canal, aunque en menor medida conforme se aleja de dicha cámara. De manera general se pudo observar un avanzado proceso de abrasión superficial generando superficies irregulares, rugosas y con exposición de agregados lo que afecta la capacidad hidráulica del canal y produce deterioro de la sección transversal de muros y losas.

Uno de los primeros aspectos relevantes que se identificaron en el canal de agua clarificada es que todas las superficies presentan un revestimiento de protección con un producto de tipo Sika Coaltar Epóxico, sin embargo, a diferencia de la mayoría de las estructuras inspeccionadas anteriormente, el recubrimiento se encuentra en pésimas condiciones, presentándose afectado y desprendido en la mayoría de su área (Figura 24 y Figura 25).



Figura 24. Revestimiento de protección en el canal perimetral gravemente afectado.



Figura 25. Degradación del revestimiento de protección.

Adicionalmente, se pudo constatar que se ha perdido completamente el recubrimiento en una franja que va desde la unión con la losa inferior, hasta una altura de aproximadamente 40 cm en todo el perímetro del canal y consecuentemente, hay pérdida de sección y degradación del concreto en dicha franja (Figura 26). La pérdida de recubrimiento de dicha franja ha generado una vía de acceso para que los agentes agresores puedan alcanzar el resto del muro y han provocado afectaciones sobre el concreto. Se identifica exposición y corrosión del acero de refuerzo en toda la longitud del canal (Figura 27).



Figura 26. Franja perimetral con pérdida total del revestimiento



Figura 27. Exposición y corrosión del acero de refuerzo

Adicionalmente, se pudo determinar que en la zona adyacente al canal del efluente, el muro y la losa ha perdido un importante espesor de su recubrimiento, llegando en algunos casos a presentar exposición del acero de refuerzo (Figura 28). Esto ha generado, como se pudo constatar, que las barras en algunos casos presenten afectaciones serias por corrosión, e incluso pérdida completa de la sección transversal (Figura 29).

Lo anterior representa un grave factor de riesgo para la durabilidad del canal puesto que demuestra una velocidad de deterioro alta lo que lo expone a mayores y más serios daños a corto o mediano plazo. A pesar de que las afectaciones son más graves en la zona adyacente a la cámara del afluente (aproximadamente 20m a cada lado de esta), el resto del canal presenta las mismas características de pérdida de recubrimiento de protección, alta rugosidad y exposición de acero de refuerzo (Figura 30).



Figura 28. Pérdida recubrimiento en muros y losa del canal de agua clarificada



Figura 29. Pérdida de sección transversal en barras del canal de agua clarificada



Figura 30. Condición típica de muros y losas en el resto del canal de agua clarificada



Figura 31. Condición típica de muros y losas en el resto del canal de agua clarificada

Otra situación crítica que se pudo observar en todo el perímetro del canal fue la degradación del concreto del borde de la losa superior, donde se observó una coloración blanquecina del mismo (probablemente asociada a un proceso de carbonatación) y una bajísima resistencia al corte. Se observó que el concreto se desprendía sin ninguna dificultad al pisar el borde de la losa lo que denota una completa degradación de las propiedades físicas y químicas del mismo (Figura 32). Lo anterior se pudo comprobar luego de acceder al canal y constatar que el concreto del borde se podía retirar con toda facilidad con las manos (Figura 33). Con el objetivo de detener la degradación de la losa superior del canal, la capa superficial del concreto del borde debe ser retirada y reemplazada por un mortero de reparación con protección química.



Figura 32. Pérdida de sección en el borde de la losa sobre el canal perimetral.



Figura 33. Pérdida de sección en el borde de la losa sobre el canal perimetral

6.5.7 Descripción de la lesión más relevante de la estructura

Por último, se procedió a inspeccionar la cámara del efluente y se pudo concluir que es la zona del sedimentador más deteriorada, probablemente por el efecto combinado del ataque químico del agua residual, la abrasión por material de arrastre del agua y el impacto generado por la caída del agua a una altura de aproximadamente 3.0m. Sobre los muros de la cámara del efluente se pueden apreciar las líneas de flujo que genera el agua al ingresar al mismo, las cuales presentan daños adicionales probablemente debido al cambio de velocidad del agua (Figura 34).

Por otra parte, se evidenció la pérdida de recubrimiento de concreto y exposición del acero de refuerzo en toda la altura de la cámara, con el agravante adicional que los diámetros de refuerzo identificado son mayores a los reportados en planos, lo que indica que las barras de acero han sufrido una expansión y, por lo tanto, se encuentra en estado de corrosión (Figura 35 y Figura 36). Esta condición afecta de manera crítica la resistencia de la estructura y si no se detiene este proceso de deterioro se puede poner en riesgo la durabilidad de la misma a corto o mediano plazo.



Figura 34. Líneas de flujo a la entrada de la cámara del efluente



Figura 35. Acero expuesto en la cámara del efluente



Figura 36. Armadura de refuerzo visible sobre el muro de la cámara del efluente

Análisis de resultados

Resultados de patología

Se realizaron ensayos de laboratorio a once (11) núcleos extraídos de la estructura, correspondientes a ensayos de resistencia a la compresión, carbonatación, cloruros y porosidad del concreto. La ubicación de los puntos de extracción se muestra en los planos del anexo 4.

Los resultados completos y el análisis de los mismos se presentan en el anexo 1. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en laboratorio:

Tabla 3. Informe de resistencia a la compresión de núcleos en losa de fondo.


		ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO - NTC 3658																		FL-97 Versión: 2 Página: 1 de 1 Vigencia: 2017-09-06				
CLIENTE: HINACOM SAS OBRA: PTAR SEDIMENTADOR 8 CÓDIGO de OBRA: 7209		ORDEN de SERVICIO: OT-9727 FECHA de SOLICITUD: 2018-09-03 FECHA RECIBIDO en SG: 2018-09-09										INFORME NÚMERO: MT-006 FECHA de INFORME: 2018-10-04 ANEXO: 1 de 1												
MUESTRA No.	LOCALIZACIÓN	EXTRACCIÓN NÚCLEO		FECHA DE FUNDICIÓN CONCRETO	FECHA DE ENSAYO NÚCLEO	DIÁMETRO NÚCLEO		TMN (2) del agregado grueso en mm	LONGITUD DEL NÚCLEO				PESO NÚCLEO en g.	DENSIDAD CONCRETO NÚCLEO en kg/m³	NÚCLEO RELACION (L / D)	NÚCLEO FACTOR de CORRECCION por ESBELTEZ	CONDICIÓN DE ENSAYO			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		FECHA	HORA			en mm.	< 94 mm (1)		CORTADO		REFRENTADO en cm.	Humedad (3)					CARGA		NOMINAL en MPa	OBTENIDA EN EL NÚCLEO				
									FECHA	HORA							en cm.	en KN		en MPa	en MPa	en Kg/cm²	% de f'c	Edad días
SB-1	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1	2018-09-07	11:30	No conocida	2018-09-14	100	-	19.0	2018-09-10	7:30	19.2	19.6	3,495	2,318	1.96	1	S	Pe	292.9	24.5	37.3	380	152	>28
SB-2	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 8 y 9	2018-09-07	12:20	No conocida	2018-09-14	100	-	16.0	2018-09-10	8:00	18.8	19.2	3,645	2,469	1.92	1	S	Pe	291.8	24.5	37.2	379	152	>28
SB-3	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 16 y 17	2018-09-07	12:50	No conocida	2018-09-14	100	-	16.0	2018-09-10	8:15	19.4	19.8	3,663	2,404	1.98	1	S	Pe	269.6	24.5	34.3	350	140	>28
Resistencia a la Compresión en concretos de Losa de fondo del Sedimentador 8																				36	370	148		
Desviación estandar																						2	17	7
Coeficiente de variación																						5%	5%	5%

Tabla 4. Informe de resistencia a la compresión de núcleos en muros.

LOGO		ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO - NTC 3658																				FL-97 Versión: 2 Página: 1 de 1 Vigencia: 2017-09-06		
CLIENTE: HINCACOM SAS		ORDEN de SERVICIO: OT-9727										INFORME NÚMERO: NT-006												
OBRA: FTAR SEDIMENTADOR 8		FECHA de SOLICITUD: 2018-09-03										FECHA de INFORME: 2018-10-04												
CÓDIGO de OBRA: 7209		FECHA RECIBIDO en SG: 2018-09-09										ANEXO: 1 de 1												
MUESTRA No.	LOCALIZACIÓN	EXTRACCIÓN NÚCLEO		FECHA DE FUNDICIÓN CONCRETO	FECHA DE ENSAYO NÚCLEO	DIAMETRO NÚCLEO		TPM (2) del agregado grueso en mm	LONGITUD DEL NÚCLEO				PESO NÚCLEO en g.	DENSIDAD CONCRETO NÚCLEO en kg/m ³	NÚCLEO RELACION (L / D)	NÚCLEO FACTOR de CORRECCIÓN por ESBELTEZ	CONDICIÓN DE ENSAYO			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		FECHA	HORA			< 94 mm (1)	CORTADO			REFRENTADO en cm.	Humedad (3)	CARGA					NOMINAL en MPa	OBTENIDA EN EL NÚCLEO						
							FECHA		HORA			en cm.						en KN	en MPa	en MPa	en Kg/cm ²	% de Fc	Edad días	
SB-5	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 2 y 3	2018-09-07	13:30	No conocida	2018-09-15	100	-	16.0	2018-09-10	8:30	14.7	15.3	2,890	2,503	1.53	0.96	S	Pa	383.0	24.5	46.8	477	191	>29
SB-7	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11	2018-09-07	16:30	No conocida	2018-09-15	100	-	16.0	2018-09-10	8:45	15.5	15.9	3,056	2,510	1.59	0.97	S	Pa	293.0	24.5	36.2	369	148	>29
SB-8	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 17 y 18	2018-09-07	15:55	No conocida	2018-09-15	100	-	19.0	2018-09-10	9:00	15.4	16.1	2,968	2,454	1.61	0.97	S	Pa	321.3	24.5	39.7	405	162	>28
Promedio de Resistencia a la Compresión en concreto de Muros de Sedimentador 8																			41	417	167			
Desviación estandar																			5	55	22			
Coeficiente de variación																			13%	13%	13%			

Tabla 5. Informe de resistencia a la compresión de núcleos en losa de fondo y muro de canal perimetral.

LOGO		ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE ENSAYO DE NÚCLEOS DE CONCRETO - NTC 3658																				FL-97 Versión: 2 Página: 1 de 1 Vigencia: 2017-09-06		
CLIENTE: HINCACOM SAS		ORDEN de SERVICIO: OT-9727										INFORME NÚMERO: NT-006												
OBRA: FTAR SEDIMENTADOR 8		FECHA de SOLICITUD: 2018-09-03										FECHA de INFORME: 2018-10-04												
CÓDIGO de OBRA: 7209		FECHA RECIBIDO en SG: 2018-09-09										ANEXO: 1 de 1												
MUESTRA No.	LOCALIZACIÓN	EXTRACCIÓN NÚCLEO		FECHA DE FUNDICIÓN CONCRETO	FECHA DE ENSAYO NÚCLEO	DIAMETRO NÚCLEO		TPM (2) del agregado grueso en mm	LONGITUD DEL NÚCLEO				PESO NÚCLEO en g.	DENSIDAD CONCRETO NÚCLEO en kg/m ³	NÚCLEO RELACION (L / D)	NÚCLEO FACTOR de CORRECCIÓN por ESBELTEZ	CONDICIÓN DE ENSAYO			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
		FECHA	HORA			< 94 mm (1)	CORTADO			REFRENTADO en cm.	Humedad (3)	CARGA					NOMINAL en MPa	OBTENIDA EN EL NÚCLEO						
							FECHA		HORA			en cm.						en KN	en MPa	en MPa	en Kg/cm ²	% de Fc	Edad días	
SB-9	Losa canal de fondo del canal del sedimentador-8, tomada a 1,10m del muro divisorio del canal	2018-09-08	11:00	No conocida	2018-09-15	100	-	19.0	2018-09-10	9:15	15.4	16.1	2,968	2,454	1.61	0.97	S	Pe	321.3	24.5	39.7	405	162	>29
SB-10	Losa canal de fondo del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal	2018-09-08	12:01	No conocida	2018-09-15	100	-	19.0	2018-09-10	9:30	15.4	16.0	2,945	2,435	1.60	0.97	S	Pe	295.4	24.5	36.5	372	149	>29
SB-11	Muro del canal del sedimentador-8, tomada a 7,90m de la cámara de salida del canal	2018-09-08	12:20	No conocida	2018-09-15	100	-	16.0	2018-09-10	9:45	16.3	17.0	3,073	2,400	1.70	0.98	S	Pe	285.0	24.5	35.6	363	145	>29
Promedio de Resistencia a la Compresión en concreto de Muros de Sedimentador 8																			37	380	152			
Desviación estandar																			2	22	9			
Coeficiente de variación																			6%	6%	6%			

Tabla 6. Informe de carbonatación.

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN en (mm)</i>
S8-1	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1	0
S8-2	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 8 y 9	0
S8-3	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 16 y 17	0

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN en (mm)</i>
S8-5	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 2 y 3	13
S8-7	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11	11
S8-8	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 17 y 18	4

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN en (mm)</i>
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal	24
S8-11	Muro del canal del sedimentador-8, tomada a 7,90m de la cámara de salida del canal	23

Tabla 7. Informe de contenido de cloruros.

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE CLORUROS en %</i>
S8-1	Losa de fondo <i>del sedimentador-8</i> , tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1, <u>cara expuesta</u> del concreto	0,00017
	Losa de fondo <i>del sedimentador-8</i> , tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1, <u>cara no expuesta</u> del concreto	0,00010

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE CLORUROS en %</i>
S8-7	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11, <u>cara expuesta</u>	0,00073
	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11, <u>cara NO expuesta</u>	0,00019

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE CLORUROS en %</i>
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal, costado sur, <u>cara expuesta</u>	0,00727
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal, costado sur, <u>cara no expuesta</u>	0,00012

Tabla 8. Informe de contenido de sulfatos.

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE SULFATOS en %</i>
S8-1	Losa de fondo <i>del sedimentador-8</i> , tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1, <u>cara expuesta</u> del concreto	0,897
	Losa de fondo <i>del sedimentador-8</i> , tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1, <u>cara no expuesta</u> del concreto	0,845

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE SULFATOS en %</i>
S8-5	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 2 y 3, <u>cara expuesta</u>	3,426
	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 2 y 3, <u>cara no expuesta</u>	1,140
S8-7	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11, <u>cara expuesta</u>	1,923
	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 10 y 11, <u>cara NO expuesta</u>	0,859

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>CONTENIDO DE SULFATOS en %</i>
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal, costado sur, <u>cara expuesta</u>	4,094
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal, costado sur, <u>cara no expuesta</u>	0,913

Tabla 9. Informe de porosidad.

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>ABSORCIÓN en %</i>	<i>VOLUMEN DE POROS PERMEABLES en %</i>
S8-1	Losa de fondo <i>del sedimentador-8</i> , tomada entre los soportes de cubierta 24 y 1	8,1	18,6
S8-3	Losa de fondo sedimentador-8, tomada entre los soportes de cubierta 16 y 17	7,5	17,7

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>ABSORCIÓN en %</i>	<i>VOLUMEN DE POROS PERMEABLES en %</i>
S8-5	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 2 y 3	7,4	17,6
S8-8	Muro de sedimentador 8, tomada entre soportes de cubierta 17 y 18	7,4	17,6

<i>MUESTRA No.</i>	<i>LOCALIZACIÓN</i>	<i>ABSORCIÓN en %</i>	<i>VOLUMEN DE POROS PERMEABLES en %</i>
S8-9	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 1,10m del muro divisorio del canal	6,7	16,3
S8-10	Losa del canal del sedimentador-8, tomada a 7,50m de la cámara de salida del canal	6,6	16,3

Reuniendo la información obtenida en laboratorio y la inspección visual, es posible concluir que, desde el punto de vista estructural, el sedimentador 8 se encuentra en buenas condiciones y que sólo presenta daños leves localizados y fácilmente reparables, a excepción del canal perimetral superior el cual se ve seriamente afectado por el constante rozamiento con el material de arrastre del caudal de la planta, los agentes corrosivos presentes en el agua residual y los gases generados por los procesos biológicos propios de las aguas residuales.

La resistencia a la compresión de un concreto es un muy buen indicador de su resistencia a los ataques de agentes externos puesto que está directamente ligada con la porosidad y permeabilidad del material. En la medida que se tiene un concreto de mayor resistencia a la compresión, el volumen de poros en el mismo disminuye, lo que genera un medio de difícil acceso y propagación para los agentes agresores. Las pruebas de compresión y porosidad brindan un panorama más general del material y permiten descartar la vulnerabilidad del material ante otras patologías.

7 Vulnerabilidad sísmica

En atención al alcance y lineamientos vistos en la clase de vulnerabilidad Sísmica, se tomaron los criterios o características impartidas con el fin de desarrollarlos y determinar su aplicabilidad en el proyecto. Teniendo en cuenta lo anterior se elaboró una matriz que permite identificar los criterios vistos en la materia de vulnerabilidad sísmica versus la aplicabilidad de dichos criterios en el presente proyecto: Estudio de Patología del Sedimentador 8 de la PTAR Cañaveralejo en Cali.

Tabla 10. Matriz de vulnerabilidad.

Ítem	Criterio	Aplica	No aplica	Descripción
1	Cargas	X		Las cargas a las que se ve sometida la estructura corresponden al peso del agua contenida, sin embargo, esta carga se transfiere directamente al terreno por medio de la losa de fondo y del sistema de pilotaje con que cuenta la estructura
2	Concreto	X		Todos los elementos de la estructura son en concreto reforzado. Los muros principales cuentan con un sistema de cables postensados. La losa de fondo del sedimentador cuenta con un espesor de 65 cm y los muros tienen un espesor de 30 cm.
3	Mampostería Estructural		X	
4	Uso vivienda 1 o 2 pisos		X	
5	Uso de la Estructura	X		El sedimentador presta sus servicios a la planta de tratamiento de agua residual Cañaveralejo y se clasifica dentro del grupo de uso IV, como una Industria Liviana.

6	Estructura Metálica	X		La cubierta del sedimentador tiene forma de domo y está compuesta por una serie de vigas de aluminio interconectadas entre si, conformando una red cerrada que permite salvar una luz equivalente al diametro del Sedimentador.
7	Estructura de madera y guadua		X	
8	Red Contra Incendios		X	
9	Forma en planta	X		Es una estructura Simétrica de forma circular, por tanto no presenta irregularidades en planta.
10	Forma en elevación	X		La estructura no presenta ningún cambio de geometría en elevación, puesto que nos referimos a un sedimentador con igual altura en toda su sección.
11	Dilataciones		X	
12	Distribución de masas	X		La estructura presenta una distribución regular de su masa ya que es totalmente simétrica.
13	Voladizos	X		La estructura cuenta con un canal perimetral adosado a la corona del muro principal, sin embargo, no representa un factor de vulnerabilidad significativo puesto que la longitud del voladizo es de 1.30 m
14	Rigidez	X		La estructura presenta gran rigidez debido a su geometria circular, a sus cables de tensionamiento interno y al hecho de que se encuentra totalmente confinada por el suelo a su alrededor. Es de esperarse que durante un movimiento sísmico la estructura se desplace en conjunto con el terreno y no se generen fuerzas inerciales en la misma.
15	Estabilidad Global: Volcamiento, Deslizamiento, Golpeteo		X	

16	Cimentación	X		El tipo de cimentación corresponde a un sistema de pilotes profundos que atraviesan el estrato de suelo licuable presente bajo el sedimentador. La estructura cuenta con 50 pilotes de 40 cm de diámetro con una profundidad de 15m los cuales transportan la totalidad de la carga al estrato competente subyacente.
17	Calidad del Suelo	X		La estructura se cimenta sobre suelos firmes con una capacidad portante de 70 Ton. Sin embargo, el estrato que soporta la estructura es denso. En la zona hay presencia de arenas, por lo que se optó por cimentación profunda a base de pilotes, hasta encontrar rechazo a una profundidad de 20 m.
18	Presencia de rocas	X		Las exploraciones realizadas durante el estudio de suelos no reportan presencia de rocas en los estratos superiores.
19	Estudios Sísmicos	X		Según el estudio de amenaza y microzonificación sísmica, la planta se encuentra localizada la Zona 6, la cual es susceptible a licuación de suelos y corrimiento lateral.
	Investigación de la Cimentación	X		
21	Sistema Constructivo	X		La estructura en concreto fue construida con concreto bombeado, se usó formaleta metálica en las dos caras del muro, por medio de tramos semicirculares con la altura total de los muros y con ventanas intermedias para lograr fundiciones monolíticas y evitar problemas de disgregación. Solo se presentaron juntas verticales en los límites de cada tramo de fundición las cuales fueron selladas con masillas flexibles. Después de fundidos los muros se impermeabilizaron con Ska coaltar (producto actualmente fuera del mercado).

22	Asimetrías		X	
23	Desplazamiento de elementos		X	
24	Reforzamiento de muros		X	
25	Vigas de amarre o correas		X	
26	Características de entrepisos		X	
27	Amarre de cubiertas	X		La cubierta del sedimentador tiene forma de domo y está compuesta por una serie de vigas de aluminio interconectadas entre sí, conformando una red cerrada que permite salvar una luz equivalente al diámetro del Sedimentador.
28	Fachadas		X	
29	Aberturas		X	
30	Ductilidad del proyecto		X	
31	Confinamiento del proyecto	X		El concreto del sedimentador se encuentra debidamente confinado debido al efecto compresivo de los cables de postensado con que cuenta. Adicionalmente, la forma circular del mismo genera un efecto de confinamiento geométrico que controla la progresión de los esfuerzos cortantes diagonales en el material.
32	Estudios de vulnerabilidad sísmica	X		La planta de tratamiento no había sido objeto de ningún estudio de vulnerabilidad sísmica previo.
33	Determinar elementos no estructurales		X	

Se realizó la consulta en el GEOVISOR del Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali, en el Geoportal del IDESC-Infraestructura de Datos Espaciales, en el mapa de Microzonificación Sísmica se identificó que la PTAR de Cañaveralejo se encuentra en la zona 6, es la Cuenca antigua del Río Cauca por lo que presenta suelos licuables.

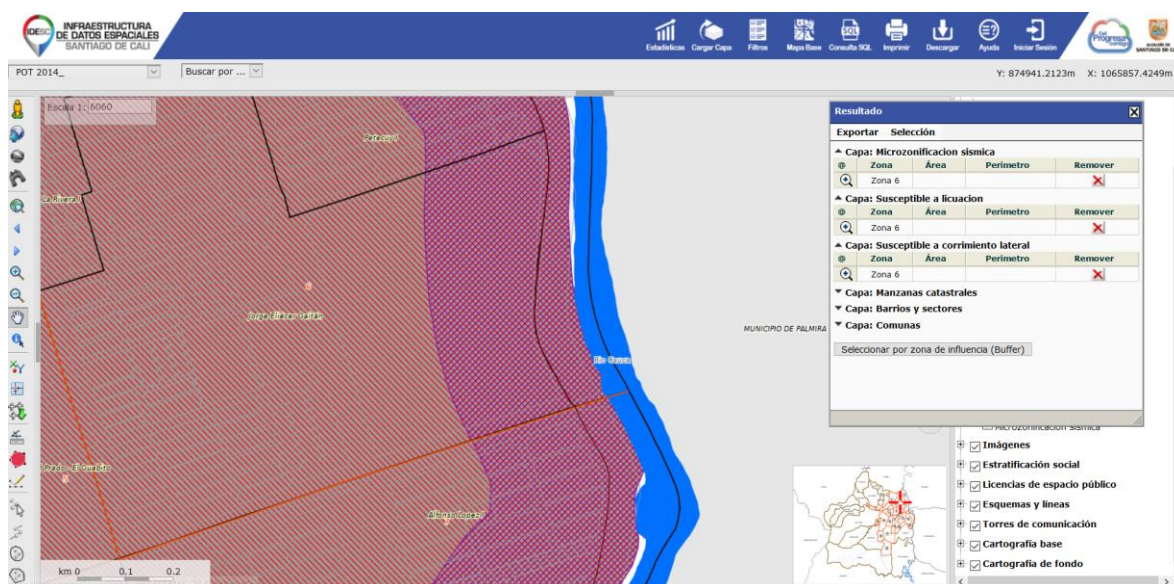


Figura 37. IGAC / Mapa de Vulnerabilidad Sísmica y fallas geológicas

En la siguiente figura se observa la configuración estructural del sedimentador 8 de la PTAR de Cañaveralejo.

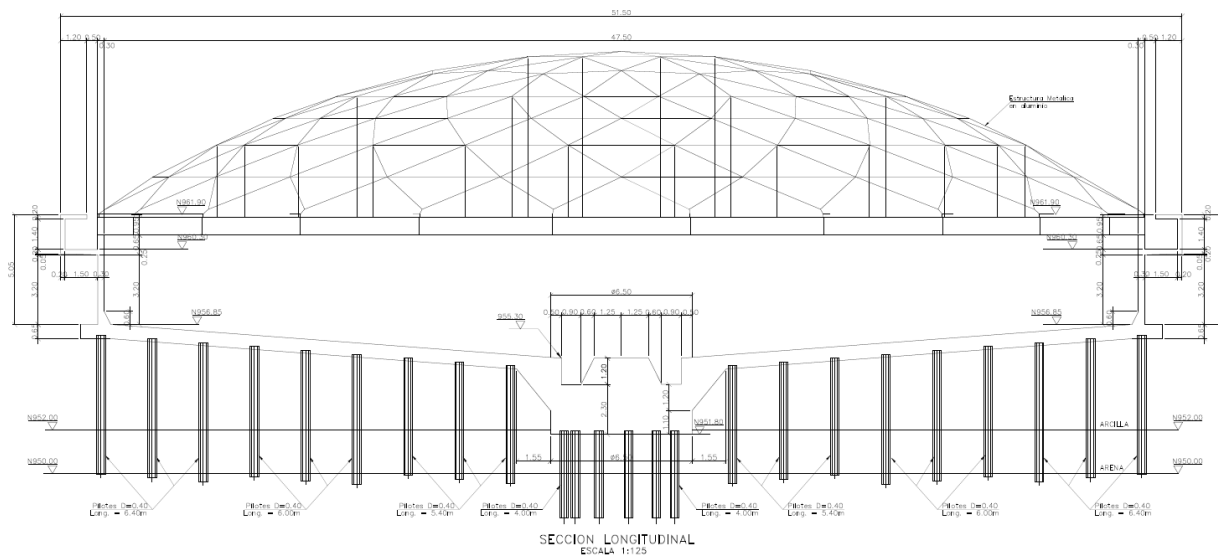


Figura 38. Esquema de la geometría de la estructura

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A partir de los requisitos normativos del título C.23 del Reglamento NSR-10, el análisis estructural se llevó a cabo bajo las siguientes consideraciones de diseño:

Modelo matemático aplicado:

Se realizó un modelo matemático de elementos finitos utilizando elementos tipo “Plate” para muros y losas (Figura 39Figura).

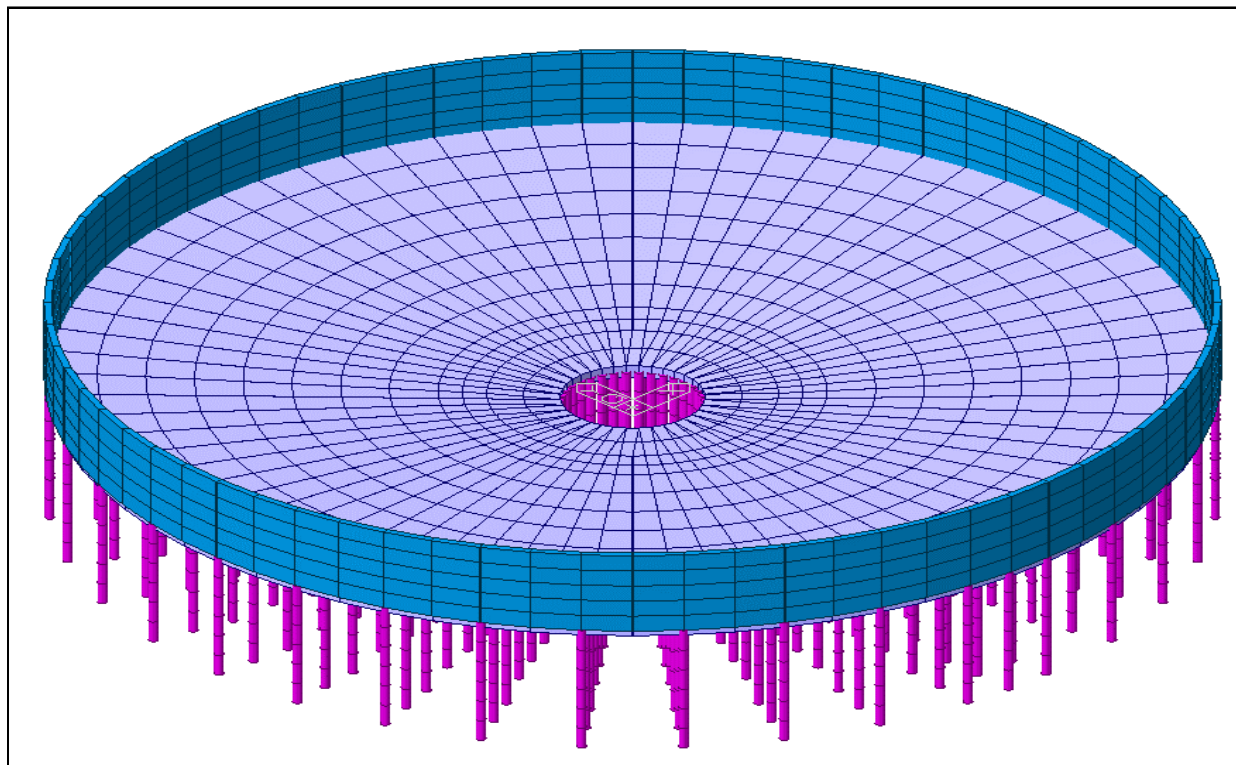


Figura 39. Modelo estructural.

Cargas aplicadas:

De acuerdo a las sollicitaciones que debe soportar la estructura, es necesario tener en consideración cargas de peso propio, carga muerta sobreimpuesta, carga viva, peso del agua, empuje lateral del agua, empuje activo del suelo, sismo sobre los muros, sismo sobre el suelo (Método de Mononobe-Okabe) y sismo sobre el agua.

Resultados:

A partir de las cargas aplicadas en la estructura y las combinaciones de carga analizadas, se obtienen los esfuerzos a flexión y tensión indicados en la Figura 40, Figura 41, y Figura 42:

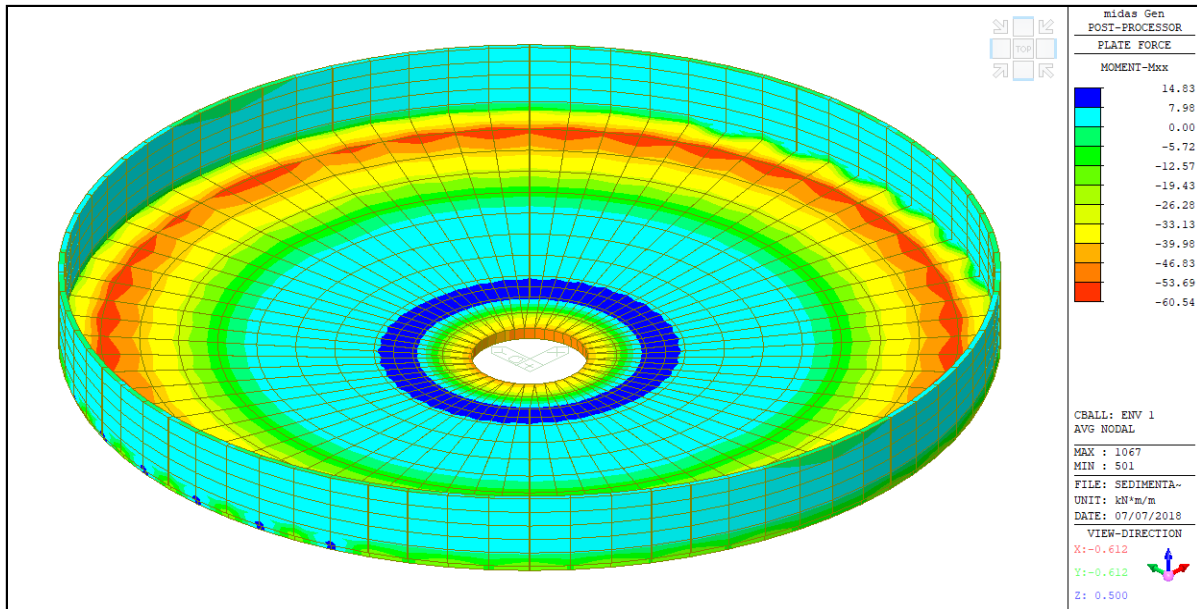


Figura 40. Momentos M_x .

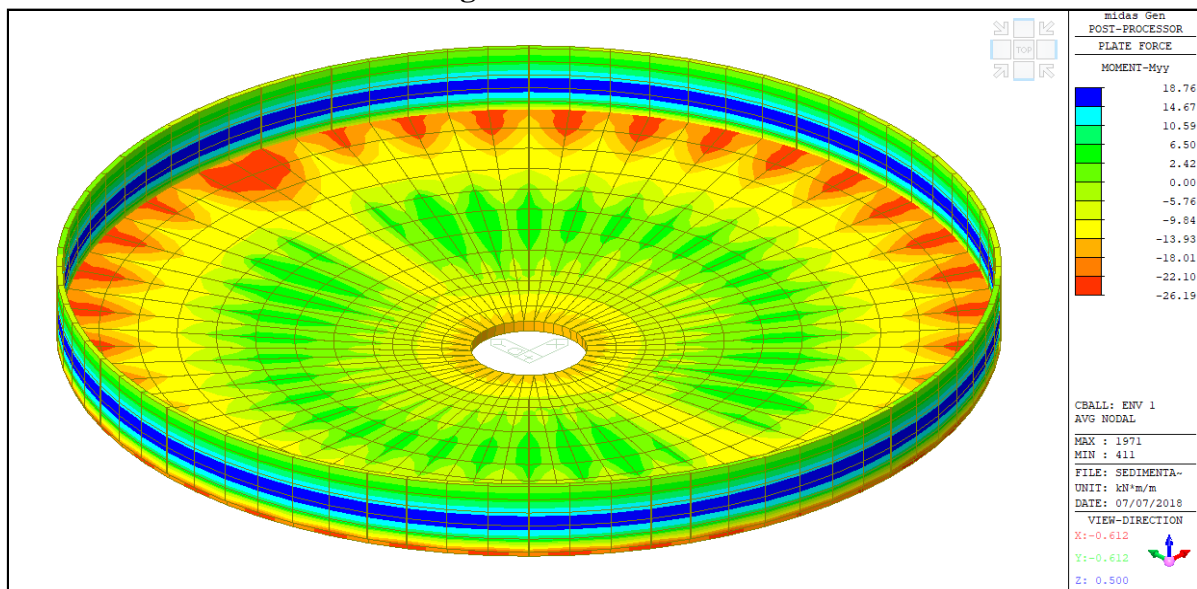


Figura 41. Momentos M_y .

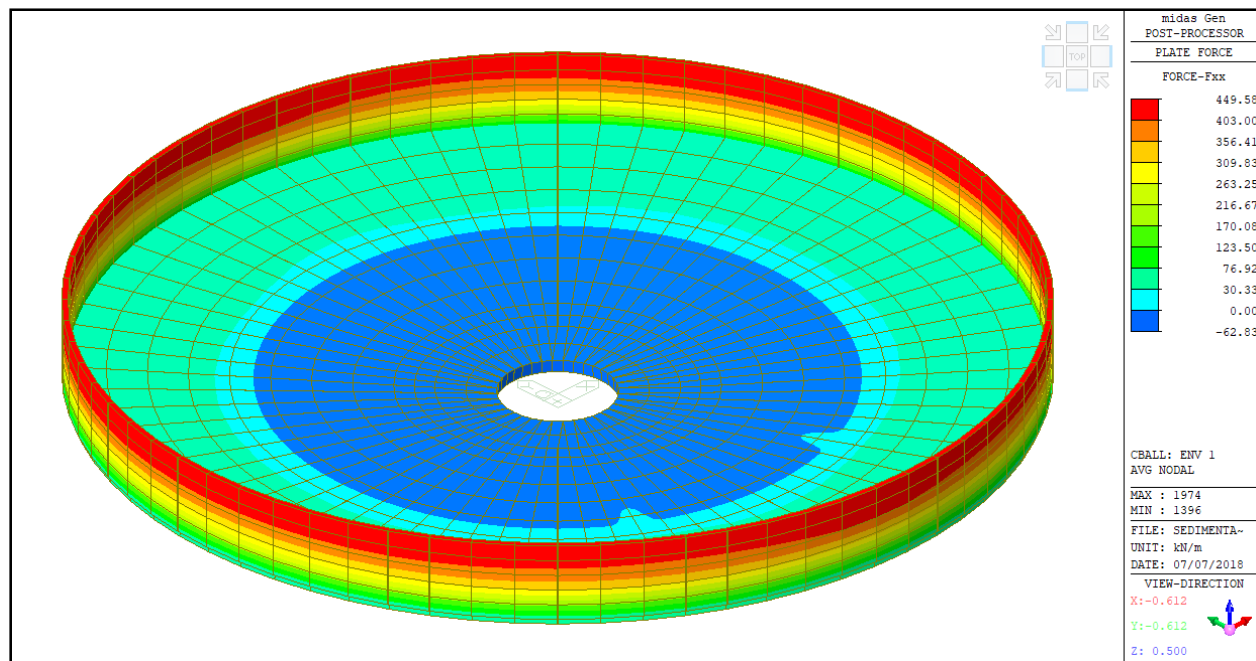


Figura 42. Tensión anular máxima.

Según los resultados obtenidos, se procede a verificar el estado de esfuerzos de cada elemento de la estructura con el propósito de establecer cuáles requieren un reforzamiento adicional para mejorar su resistencia y cumplir adecuadamente todos los requisitos normativos del Reglamento NSR-10.

El análisis estructural realizado permite concluir que no es necesario reforzar ningún elemento de la zona interna del sedimentador 8 puesto que tanto el espesor como el refuerzo existente son suficientes para soportar las solicitaciones a las que se verán sometidos. En el Anexo 2 se presenta la memoria de cálculo donde se especifican las diferentes condiciones a las que está sometida la estructura y el refuerzo requerido.

De igual manera realizó la verificación de esfuerzos de la cámara del efluente con el objetivo de determinar si es necesario su reforzamiento; así mismo se procedió a la elaboración de un modelo de elementos finitos y a la determinación de los esfuerzos internos de cada muro de la cámara.

(Figura 43 y Figura 44)

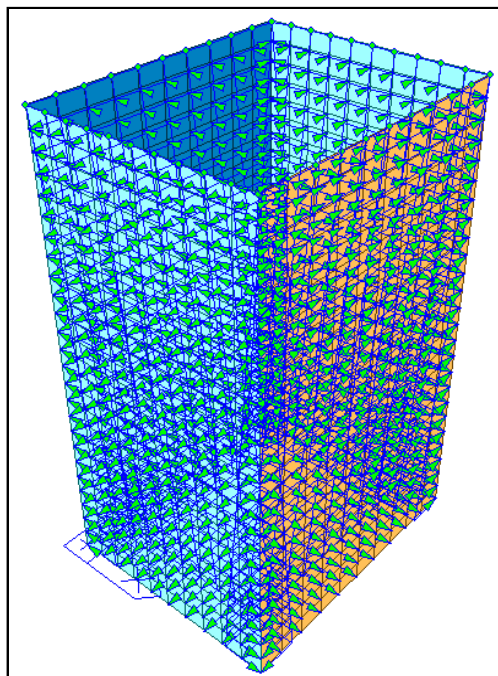


Figura 43. Geometría y cargas aplicadas al modelo de la Cámara del efluente

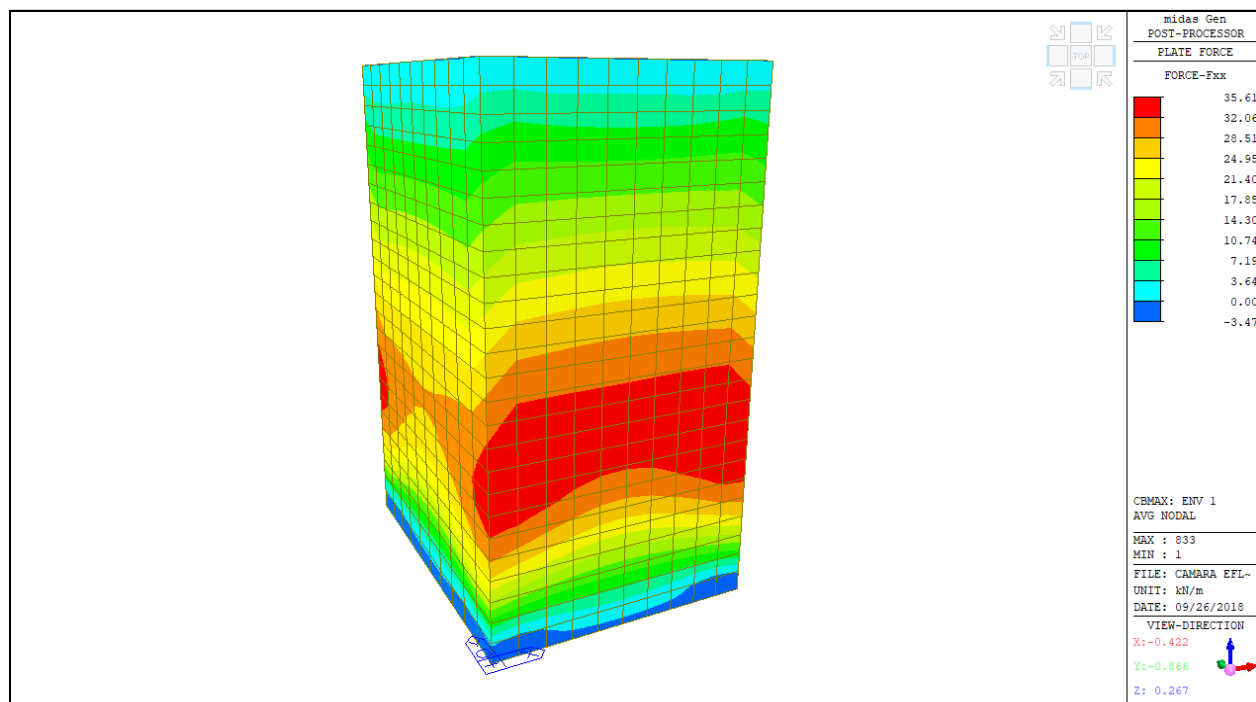


Figura 44. Fuerzas de tensión horizontales en la cámara

8. Propuesta de intervención de la estructura

Las actividades de rehabilitación se deberán ejecutar conforme a la siguiente propuesta considerando que se trata de una intervención terapéutica curativa.

Intervención de fisuras

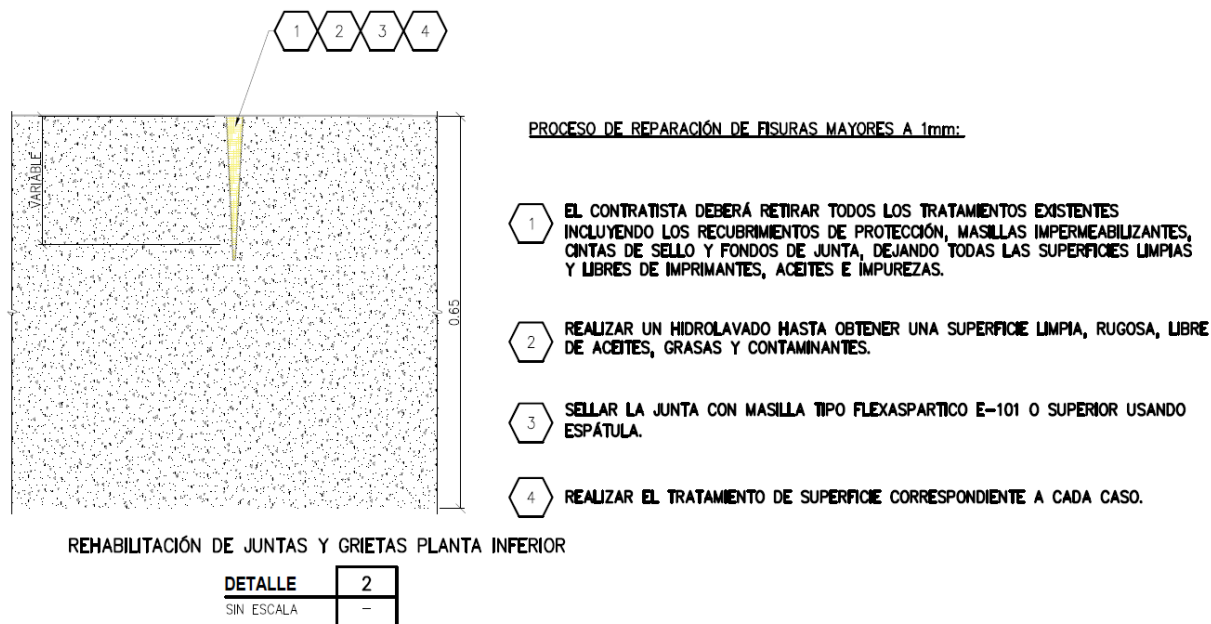
Fisuras menores a 1mm

Se recomienda realizar un hidro-lavado profundo en toda la longitud de la fisura hasta garantizar una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas. Posteriormente se deberá realizar el tratamiento de superficies correspondiente a cada caso

Fisuras de espesor mayor a 1mm

El tratamiento recomendado para las fisuras consiste en realizar un hidro-lavado profundo en toda la longitud de la fisura en un ancho mínimo de 100mm a cada lado de la misma y así garantizar una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del recubrimiento de protección a colocar.

Se deberá sellar la fisura con una masilla tipo Flexaspartico E-101 o superior. En losa y muros se debe aplicar el producto con espátula generando así una superficie adecuada para el respectivo tratamiento de superficie.



PROCESO DE REPARACIÓN DE FISURAS MAYORES A 1mm:

- 1 EL CONTRATISTA DEBERÁ RETIRAR TODOS LOS TRATAMIENTOS EXISTENTES INCLUYENDO LOS RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN, MASILLAS IMPERMEABILIZANTES, CINTAS DE SELLO Y FONDOS DE JUNTA, DEJANDO TODAS LAS SUPERFICIES LIMPIAS Y LIBRES DE IMPRIMANTES, ACEITES E IMPUREZAS.
- 2 REALIZAR UN HIDROLAVADO HASTA OBTENER UNA SUPERFICIE LIMPIA, RUGOSA, LIBRE DE ACEITES, GRASAS Y CONTAMINANTES.
- 3 SELLAR LA JUNTA CON MASILLA TIPO FLEXASPARTICO E-101 O SUPERIOR USANDO ESPÁTULA.
- 4 REALIZAR EL TRATAMIENTO DE SUPERFICIE CORRESPONDIENTE A CADA CASO.

Figura 45. Reparación de fisuras mayores a 1mm.

Intervención de juntas

Junta perimetral

En primer lugar, se deberá retirar todos los tratamientos existentes incluyendo los recubrimientos de protección, masillas, cintas de sello y fondos de junta dejando todas las superficies limpias y libres de imprimantes, aceites, grasas e impurezas.

Una vez se hayan retirados todos los tratamientos previos se debe identificar si la junta corresponde a un cajeo perimetral similar a la hallada en el sedimentador 6 o si por el contrario se trata de una junta de construcción ordinaria.

En caso de encontrar un cajeo perimetral, se deberá proceder a realizar un corte con disco diamantado en el borde de la losa de sacrificio para garantizar una cara vertical, regular y uniforme.

Como tercer paso se deberá conformar la unión muro losa usando mortero de reparación tipo Mapegrout T60 o superior en capas de máximo 40 mm, garantizando que el nuevo borde generado presente una cara vertical, regular y uniforme. (Figura 46)

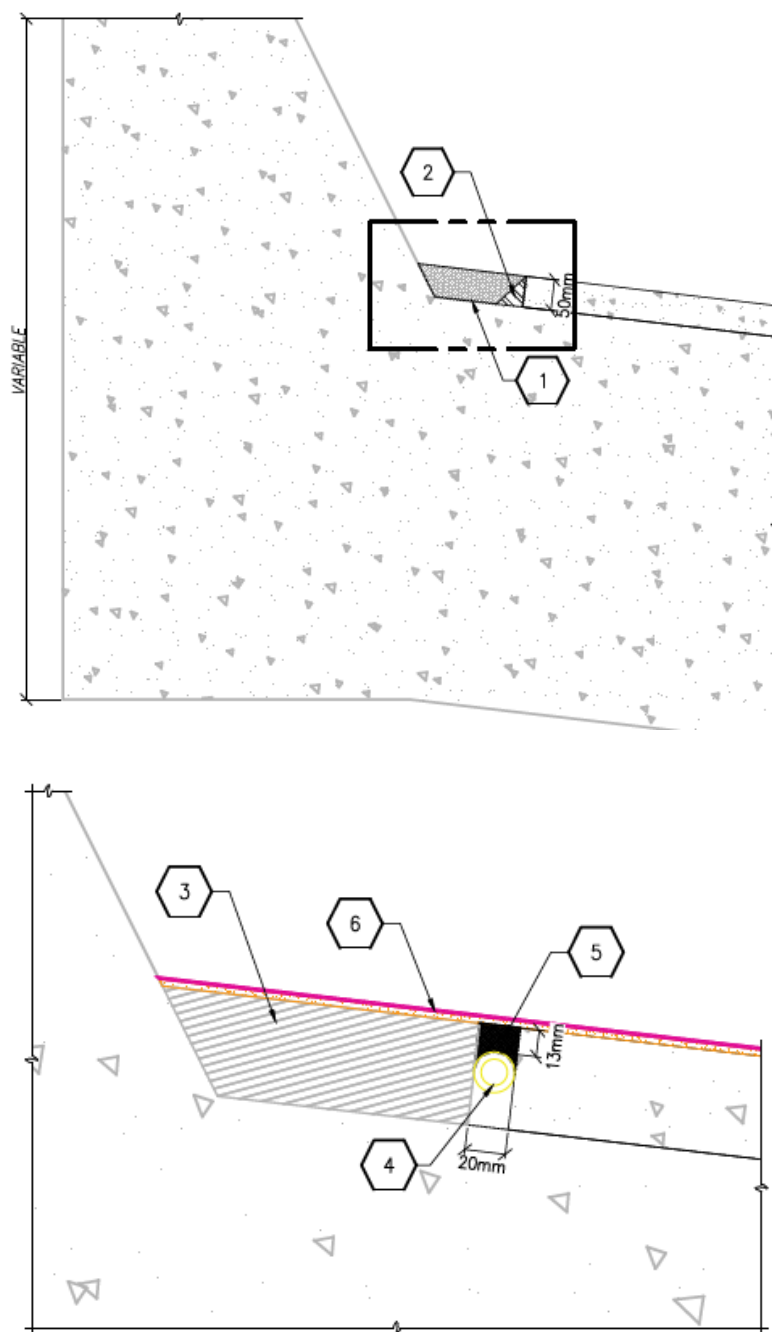


Figura 46. Proceso de reparación de junta perimetral

Como cuarto paso deberá instalar en el fondo de la junta un cordón de soporte tipo SikaRod o superior con diámetro de 1 1/4" (32mm).

Por último, se deberá sellar la junta con un producto tipo Sikaflex Pro-3 o superior, con factor de forma factor de forma 1.5:1. Antes de sellar la junta con el Sikaflex Pro-3 se deberán imprimir las caras internas de la junta con puente de adherencia Sikadur-32 Primer o superior.

Por su parte, si el tipo de junta identificada corresponde a una junta de construcción ordinaria, esta debe tratarse conforme a las especificaciones del numeral0.

Rehabilitación de superficies al interior del tanque sedimentador

Rehabilitación de losa

Posteriormente al tratamiento de fisuras y juntas especificado en los numerales 0 y 0 respectivamente, se deberá llevar a cabo el proceso de rehabilitación de las superficies en toda la losa.

El catálogo general de productos Sika (SIKA, 2015) recomienda: “se deberá garantizar una adecuada preparación de la superficie, para ello se recomienda realizar un hidro-lavado profundo, garantizando una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del mortero a aplicar” p741.

La ficha técnica del mortero de nivelación recomendado (SIKA, 2016) recomienda: “antes de aplicar el mortero de reparación, se deberá garantizar un perfil de superficie CSP-5 según la guía 03732 del ICRI y se deberá saturar la superficie con agua evitando empozamientos” p.2.

Aplicar mortero de nivelación de alta resistencia tipo SikaRepair-224 o superior en una capa de 10mm de espesor dejando la superficie plana y uniforme.

Por último, se debe aplicar un recubrimiento de protección de poliurea tipo Sikalastic 841-ST o superior en toda el área de la losa teniendo la precaución de que se genere un traslapo con el recubrimiento de los muros.

Rehabilitación muros

Posteriormente al tratamiento de fisuras especificado en el numeral 0, se deberá llevar a cabo el proceso de rehabilitación de todas las superficies de los muros.

El catálogo general de productos Sika (SIKA, 2015) recomienda: “se deberá garantizar una adecuada preparación de la superficie, para ello se recomienda realizar un hidro-lavado profundo, garantizando una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del mortero a aplicar” p741.

La ficha técnica del mortero de nivelación recomendado (SIKA, 2016) recomienda: “antes de aplicar el mortero de reparación, se deberá garantizar un perfil de superficie CSP-5 según la guía 03732 del ICRI y se deberá saturar la superficie con agua evitando empozamientos” p.2.

Aplicar mortero de reparación de alta resistencia tipo Mapegrout T-60 o superior en una capa de 5mm de espesor dejando la superficie plana y uniforme.

Rehabilitación de canal de agua clarificada

Rehabilitación de losa

El proceso de rehabilitación propuesto para los sectores de la losa del canal de agua clarificada donde se identifiquen espesores de recubrimiento mayores a 40mm consiste en realizar el retiro de la capa superficial hasta llegar al sustrato sano. El catálogo general de productos Sika (SIKA, 2015) recomienda: “realizar un hidro-lavado profundo, garantizando una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del recubrimiento de protección a aplicar” p.741, para posteriormente recuperar la sección inicial de la losa mediante la aplicación una capa de aproximadamente 20mm de mortero de alta resistencia tipo Mapegrout T60 o superior, permitiendo aplicar el producto de recubrimiento final. Durante la aplicación del mortero de reparación se deberá garantizar que se mantenga la pendiente de diseño en la losa de fondo del canal de agua clarificada.

En los primero 18m a cada lado de la cámara del efluente y/o en los casos donde se identifique exposición de acero de refuerzo, se deberá realizar una regata de 100mm de ancho en el tramo de varilla afectada, facilitando su posterior corte y reemplazo. Para ello se deberá retirar el concreto alrededor de la barra hasta tener una distancia de 20mm entre el borde de la barra y la superficie de concreto; teniendo el acero descubierto se deberá limpiar la barra expuesta para librarla de todo óxido por medios mecánicos hasta un grado de limpieza comercial (SSPC-SP6). Independientemente del área transversal de acero que se pierda para poder retirar todo el óxido, las barras no deben ser reemplazadas, sino que deberán ser empalmadas con una barra recta y esta debe ser anclada al muro interno del canal y al muro del vertedero. Por su parte, la barra vertical debe ser traslapada con la barra vertical del muro exterior. El anclaje al muro interno debe

realizarse con adhesivo tipo HILTI RE-500 o superior teniendo en cuenta una longitud de empotramiento de 100mm.

Rehabilitación muros

El proceso de rehabilitación propuesto consiste en realizar un retiro de la capa superficial del concreto de los muros y la corona del muro del vertedero de excesos hasta llegar al sustrato sano, para ello se deberá retirar la capa de coaltar existente en la parte superior de los muros, y se deberá retirar el concreto afectado por el proceso de carbonatación en las áreas donde el coaltar se haya perdido o se encuentre afectado, hasta garantizar que se alcance el sustrato sano para posteriormente aplicar los productos para la rehabilitación.

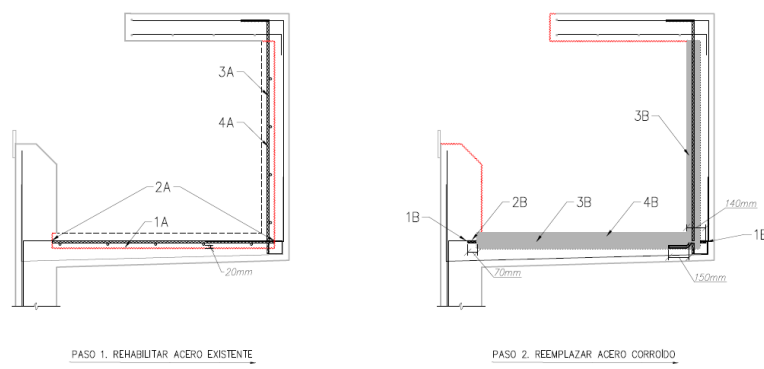
En los puntos donde el acero de refuerzo se encuentre expuesto o existan evidencias de corrosión, se deberá realizar una regata de 100mm de ancho en el tramo de varilla afectada, facilitando su posterior corte y reemplazo. Para ello se deberá retirar el concreto alrededor de la barra hasta tener una distancia de 20mm entre el borde de la barra y la superficie de concreto; teniendo el acero descubierto se deberá limpiar la barra expuesta para librarla de todo óxido por medios mecánicos hasta un grado de limpieza comercial (SSPC-SP6). Para el acero de refuerzo vertical, en caso de que el diámetro efectivo de la barra corroída sea inferior al 85% de su diámetro original, se deberá cortar y retirar el tramo de barra afectada y reemplazar por una nueva del mismo diámetro de la barra original, garantizando un traslapo de 72cm (para varilla de ½”) entre la barra nueva y la existente. En caso de que en la parte inferior del muro no se pueda garantizar un traslapo de 72cm, se deberá anclar la varilla nueva a la losa del canal perimetral mediante adhesivo tipo HILTI RE-500 o superior teniendo en cuenta una longitud de empotramiento de 100mm. En caso de que se instalen barras en forma de L en la losa inferior,

estas deben ser empalmadas con la barra vertical correspondiente en el muro teniendo en cuenta la longitud de traslapo especificada en el plano de reforzamiento.

Después de garantizar que la superficie del acero intervenido se encuentre limpia y libre de todos los vestigios de óxido, se deberá aplicar un inhibidor de corrosión SikaTop Armatec 110 Epocem o superior en toda la superficie de la barra a excepción de la longitud que estará en contacto con el adhesivo epóxico.

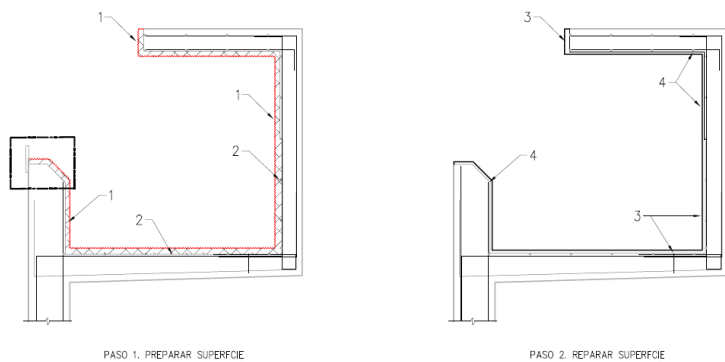
Posteriormente a la intervención de los aceros, y con el fin de garantizar el recubrimiento de los mismos, se recomienda aplicar mortero de alta resistencia. Antes de aplicar el mortero se deberá garantizar una superficie limpia, libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del mortero.

En los puntos donde se realizaron regatas se deberá aplicar el mortero tipo Mapegrout T60 ó superior, llenando completamente los espacios vacíos y garantizando que el acero intervenido tenga como mínimo un recubrimiento de 20mm contados desde la superficie de la barra más superficial. Se debe tener en cuenta que la aplicación del mortero Mapegrout debe realizarse en capas consecutivas de máximo 40mm de espesor. Para la franja del muro que presenta mayor afectación (áreas de concreto afectado por carbonatación) se deberá aplicar una capa de aproximadamente 20mm del mismo mortero especificado o hasta reemplazar la sección de concreto afectado permitiendo aplicar el producto de recubrimiento final. En la superficie de los muros donde se presenta menor grado de afectación se deberá aplicar una capa de 5mm del mismo mortero especificado.



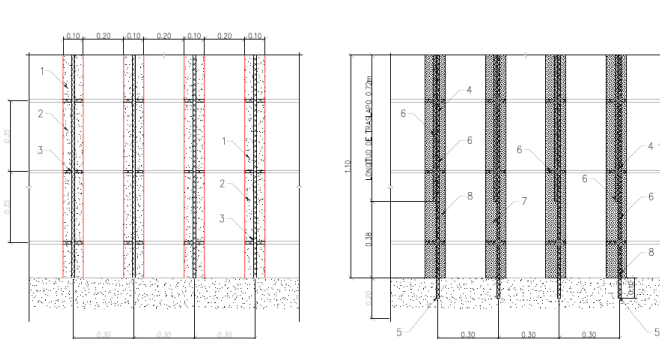
PROCESO DE REPARACIÓN ACERO EXPUESTO MURO-LOSA

DETALLE	3A
1:20	-----



DETALLE GENERAL CANAL PERIMETRAL

DETALLE	3
1:20	-----



PROCESO DE REPARACIÓN ACERO EXPUESTO EN MUROS

DETALLE	3B
1:10	-----

PROCESO DE REPARACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO EN MURO-LOSA:

PASO 1:

- 1A. SE DEBERÁ RETIRAR TODA LA CAPA SUPERFICIAL DE CONCRETO EXISTENTE HASTA DESCUBRIR EL ACERO DE REFUERZO 20mm POR DENTRÁS DE LA PARRILLA INTERNA TANTO EN EL MURO COMO EN LA LOSA DE FONDO.
- 2A. CORTAR LAS BARRAS TRANSVERSALES DE LA PARRILLA SUPERIOR DE LA LOSA Y REMOVERLAS DE LA PARRILLA.
- 3A. LIMPIAR LAS BARRAS EXPUESTAS DE TODO ÓXIDO CON MEDIOS MECÁNICOS HASTA UN GRADO DE LIMPIEZA COMERCIAL (SSPC-SP6).
- 4A. APLICAR INHIBIDOR DE CORROSIÓN SIKATOP ARMATEC-110 EPOCEM O SUPERIOR SOBRE EL ACERO EXPUESTO.

PASO 2:

- 1B. REALIZAR LAS PERFORACIONES DE LAS BARRAS DE REEMPLAZO CON TALADRO ROTO-PERCUTOR DE 70mm DE PROFUNDIDAD USANDO UNA BROCA DE DIÁMETRO NOMINAL DE $\frac{3}{8}$ " EN EL MURO DEL VERTEDERO, Y 140mm DESDE LA SECCIÓN ORIGINAL EN EL MURO EXTERIOR DEL CANAL.
- 2B. EJECUTAR EL PROTOCOLO DE LIMPIEZA RECOMENDADO POR EL FABRICANTE DEL ADHESIVO EPÓXICO QUE CONSISTE EN RETIRAR EL POLVO Y LAS IMPUREZAS DEL AGUERO POR MEDIO DE AIRE COMPRIMIDO Y UN CEPILLO DE CUERDAS METÁLICAS. EL PROCEDIMIENTO DEBE REALIZARSE DOS VECES. APLICAR ADHESIVO EPÓXICO HILTI RE-500 V3 O SUPERIOR SIGUIENDO EL PROTOCOLO DE APLICACIÓN DEL FABRICANTE.
- 3B. INSTALAR BARRA HORIZONTAL CORRUGADA DE ACERO (NTC 2289) DE $\frac{3}{8}$ " DE DIÁMETRO ANCLANDOLA EN AMBOS MUROS DEL CANAL. INSTALAR BARRA VERTICAL CON GANCHO DE 150mm EMPALMANDOLA CON EL ACERO EXISTENTE.
- 4B. APLICAR MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR CON LLANA O PALETA EN DOS CAPAS DE 25mm DE ESPESOR CADA UNA.

PROCESO DE REPARACIÓN DE MUROS Y LOSA DEL CANAL PERIMETRAL SUPERIOR:

1. SE DEBE RETIRAR EL COALTAR EXISTENTE Y/O EL CONCRETO AFECTADO HASTA LLEGAR AL SUSTRATO SANO. SE DEBERÁ REALIZAR HIDRO-LAVADO EN TODA LA SUPERFICIE DEL MURO.
2. EN LOS PUNTOS DONDE EL ACERO DE REFUERZO SE ENCUENTRE EXPUESTO O EXISTAN EVIDENCIAS DE CORROSIÓN, SE DEBERÁ REALIZAR UNA REGATA EN EL TRAMO DE VARILLA AFECTADA, FACILITANDO SU POSTERIOR CORTE Y REEMPLAZO. VER DETALLE 3A Y 3B.
3. APLICAR MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR CON LLANA O PALETA HASTA ALCANZAR UN ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE 20mm CONTADOS A PARTIR DE LA BARRA MÁS EXTERNA.
4. EN LAS ZONAS DONDE NO HAYA EVIDENCIA DE ACERO CORROÍDO, APLICAR MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR CON LLANA O PALETA HASTA ALCANZAR UN ESPESOR DE 5mm SOBRE LA SUPERFICIE ORIGINAL.

PROCESO DE REPARACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO EN MUROS:

1. SE DEBERÁ REALIZAR UNA REGATA DE 100mm DE ANCHO EN EL TRAMO DE LA VARILLA AFECTADA, FACILITANDO SU POSTERIOR CORTE Y REEMPLAZO.
2. SE DEBERÁ RETIRAR EL CONCRETO ALREDEDOR DE LA BARRA HASTA TENER UNA DISTANCIA DE 20mm ENTRE EL BORDE DE LA BARRA Y LA SUPERFICIE DE CONCRETO.
3. LIMPIAR LAS BARRAS EXPUESTAS DE TODO ÓXIDO CON MEDIOS MECÁNICOS HASTA OBTENER UN GRADO DE LIMPIEZA COMERCIAL (SSPC-SP6).
4. PARA EL ACERO VERTICAL, EN CASO DE QUE EL DIÁMETRO EFECTIVO DE LA BARRA CORROÍDA SEA INFERIOR AL 85% DE SU DIÁMETRO ORIGINAL, SE DEBERÁ CORTAR Y RETIRAR EL TRAMO DE BARRA AFECTADA Y REEMPLAZAR POR UNA NUEVA DEL MISMO DIÁMETRO, GARANTIZANDO UN TRASLAPO DE 72cm (PARA VARILLA DE $\frac{3}{4}$ " ENTRE LA BARRA NUEVA Y LA BARRA EXISTENTE).
5. EN CASO DE QUE EN LA PARTE INFERIOR DEL MURO NO SE PUEDA GARANTIZAR UN TRASLAPO DE 72cm, SE DEBERÁ ANCLAR LA VARILLA NUEVA A LA LOSA DEL CANAL PERIMETRAL MEDIANTE ADHESIVO EPÓXICO TIPO HILTI RE-500 V3 O SUPERIOR TENIENDO EN CUENTA UNA LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO DE 100mm.
6. APLICAR INHIBIDOR DE CORROSIÓN SIKATOP ARMATEC 110 EPOCEM O SUPERIOR EN TODA LA SUPERFICIE DE LA BARRA A EXCEPCIÓN DE LA LONGITUD QUE ESTARÁ EN CONTACTO CON EL ADHESIVO EPÓXICO.
7. EL CONTRATISTA DEBERÁ GARANTIZAR QUE LA SUPERFICIE SE ENCUENTRE LIMPÍA, LIBRE DE GRASA, POLVO, LECHADA DE CEMENTO, COMPUESTOS CURADORES, IMPREGNACIONES, MATERIAL SUELTO, OTRAS SUSTANCIAS EXTRAÑAS O CUALQUIER OTRO ELEMENTO QUE IMPIDA LA ADHESIÓN DEL MORTERO.
8. EN LOS PUNTOS DONDE SE REALIZARON REGATAS SE DEBERÁ APLICAR EL MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR, EN CAPAS CONSECUTIVAS DE MÁXIMO 40mm DE ESPESOR, LLENANDO COMPLETAMENTE LOS ESPACIOS VACÍOS Y GARANTIZANDO QUE EL ACERO INTERVENIDO TENGA COMO MÍNIMO UN RECUBRIMIENTO DE 20mm CONTADOS DESDE LA SUPERFICIE DE LA BARRA MÁS SUPERFICIAL.

Figura 47. Procedimiento de reparación de muros y losa de canal de agua clarificada.

Rehabilitación pasarela

Se deberá retirar la capa superficial del concreto afectado en todo el borde de la pasarela del canal perimetral superior hasta llegar al sustrato sano. Posteriormente se recomienda realizar un hidro-lavado profundo, garantizando una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del recubrimiento de protección a aplicar. La sección inicial deberá ser recuperada mediante una capa de mortero de alta resistencia tipo Mapegrout T60 o superior, permitiendo aplicar el producto de recubrimiento final.

Para la rehabilitación de la cara inferior de la pasarela, el catálogo general de productos Sika (SIKA, 2015) recomienda: “realizar un hidro-lavado profundo, garantizando una superficie libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia del recubrimiento de protección a aplicar” p-741. Posteriormente, se deberá aplicar una capa de 5mm del mismo mortero especificado.

Cámara de efluente

Rehabilitación muros y cañuela

El proceso de rehabilitación propuesto consiste en realizar un retiro de la capa superficial del concreto de los muros hasta alcanzar una distancia de 20 mm por detrás de la barra interna. Teniendo el acero descubierto se deberá limpiar la barra corroída para librarla de todo óxido por medios mecánicos hasta un grado de limpieza comercial (SSPC-SP6).

Independientemente del porcentaje de área transversal que haya perdido la barra, estas no deben ser reemplazadas con acero nuevo puesto que dicha función se suplirá con el reforzamiento con fibras de carbono descrito en el numeral 0.

Después de garantizar que la superficie del acero intervenido se encuentre limpia y libre de todos los vestigios de óxido, se deberá aplicar un inhibidor de corrosión SikaTop Armatec 110 Epocem o superior en toda la superficie de las barras.

Posteriormente a la intervención de los aceros, y con el fin de garantizar el recubrimiento de los mismos, se debe recuperar la sección original del muro usando mortero de alta resistencia.

Una vez se haya protegido el acero y preparado la superficie, se deberán aplicar dos capas de 25mm de mortero tipo Mapegrout T60 o superior, llenando completamente los espacios vacíos y garantizando que el acero intervenido tenga como mínimo un recubrimiento de 10 mm contados desde la cara de la barra externa. Adicionalmente, se debe garantizar que no se presenten ángulos rectos en las esquinas de la cámara y que se conformen medias cañas con el mortero de reparación.

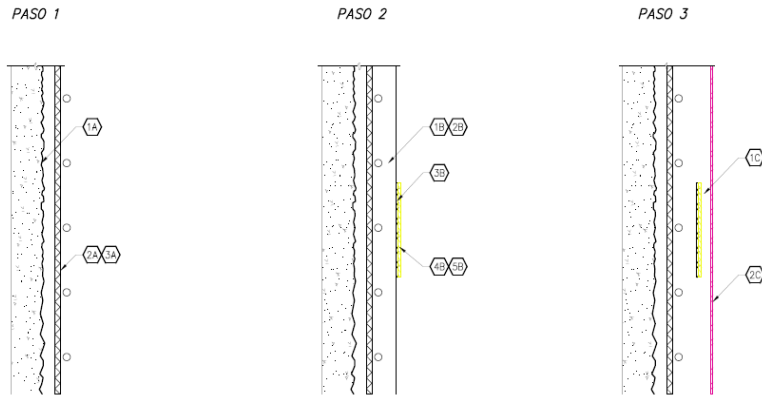
Posteriormente, se debe proceder a realizar el reforzamiento con fibras de carbono descrito en el numeral 6.5.2 y completar el proceso protegiendo las fibras con una última capa de mortero tipo Mapegrout T60 o superior de 10mm de espesor.

Se deberá garantizar que la cañuela reparada tenga la misma geometría de diseño con respecto a la tubería de salida de la cámara.

Reforzamiento con fibra de carbono

De acuerdo con el análisis estructural, se determinó la necesidad de reforzar las paredes de la cámara mediante la aplicación de un tejido de fibra de carbono tipo FRP como medida de mitigación de la pérdida de capacidad que sufre la estructura por la degradación del acero. De esta manera, el refuerzo adicional aumentará la resistencia a flexión y cortante de las zonas intervenidas y permitirá cumplir adecuadamente los requisitos normativos del Reglamento NSR-10.

Para la correcta aplicación del tejido FRP, la hoja técnica del producto (SIKA, 2018) recomienda: “la superficie debe estar sana y limpia (libre de grasa, polvo, lechada de cemento, compuestos curadores, impregnaciones, material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia). Puede estar seca o húmeda pero libre de agua empozada. La resistencia en adherencia del concreto debe ser verificada, después de la preparación de la superficie por un ensayo aleatorio de resistencia de adherencia a tensión (ACI 503R) a criterio del ingeniero” p.2. La mínima resistencia a tensión debe ser de 15 kg/cm² con falla del concreto. Adicionalmente, se debe verificar la humedad superficial de la capa de mortero inicialmente instalada antes de aplicar la fibra usando un medidor electrónico no destructivo según la guía ASTM F2659-10 y se debe garantizar que la medición de humedad superficial sea inferior al 4%.



PROCESO REPARACIÓN Y REFORZAMIENTO DE MUROS CAMARA AFLUENTE

DETALLE	4
SIN ESCALA	----

- PASO 1:**
- 1A SE DEBERÁ RETIRAR TODA LA CAPA SUPERFICIAL DE CONCRETO EXISTENTE HASTA DESCUBRIR EL ACERO DE REFUERZO 20mm POR DETRÁS DE LA BARRA VERTICAL.
 - 1A LIMPIAR LAS BARRAS EXPUESTAS DE TODO ÓXIDO CON MEDIOS MECÁNICOS HASTA UN GRADO DE LIMPIEZA COMERCIAL (SSPC-SP6).
 - 1A APLICAR INHIBIDOR DE CORROSIÓN SIKATOP ARMATED-110 EPODEM O SUPERIOR SOBRE EL ACERO EXPUESTO.

- PASO 2:**
- 2A APLICAR MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR CON LLANA O PALETA EN DOS CAPAS DE 25mm DE ESPESOR CADA UNA.
 - 2B REALIZAR UN ENSAYO DE HUMEDAD SUPERFICIAL DEL MORTERO USANDO UN MEDIDOR ELECTRÓNICO NO DESTRUCTIVO SEGÚN LA GUÍA ASTM F 2859-10. SE DEBE GARANTIZAR UN SECADO SUFICIENTE PARA QUE LA MEDICIÓN DE HUMEDAD SEA INFERIOR AL 4,0%.
 - 2C IMPRIMIR LA SUPERFICIE DONDE SE INSTALARÁN LAS FIBRAS DE CARBONO SIKAWRAP 300C CON PUENTE DE ADHERENCIA SIKADUR 301 O SUPERIOR.
 - 2C REFORZAR MUROS CON FIBRA DE CARBONO TIPO SIKAWRAP 300C O SUPERIOR. ANCHO DE FIBRA 250mm.
 - 2C APLICAR UNA CAPA DE ARENA LIMPIA LANZADA SOBRE LA FIBRA PARA DARLE RUGOSIDAD.

- PASO 3:**
- 3A APLICAR MORTERO TIPO MAPEGROUT T60 O SUPERIOR CON LLANA O PALETA EN DOS CAPAS DE 10mm DE ESPESOR.
 - 3A APLICAR RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN TIPO POLIUREA SIKALASTIC 841 ST O SUPERIOR.

Figura 48. Reparación de muros de cámara de efluente.

Protección de superficies

Una vez ejecutado el proceso de rehabilitación en las zonas de la estructura que así lo requieran, se debe aplicar una capa de poliurea con Sikalastic-841 ST o equivalente, en las superficies interiores de los muros, losa y toda la estructura interna del canal perimetral y la cámara de efluente, de acuerdo con los planos de intervención, para impermeabilizarlas y aumentar la protección al desgaste de la estructura. Como preparación para la aplicación de la poliurea se deberá garantizar que la superficie de concreto este sana con resistencia a la compresión de mínimo 25N/mm^2 y una resistencia a la tracción mínima de 1.5N/mm^2 . La superficie debe estar limpia, seca y libre de contaminantes como grasa, polvo, recubrimientos en mal estado material suelto, otras sustancias extrañas o cualquier otro elemento que impida la adherencia.

Sobre la platina del vertedero de excesos se deberá aplicar recubrimiento de protección de poliurea tipo Sikalastic 841 ST o superior (ver detalles 3B y 3C del plano S-93), generando una película continua desde el interior del sedimentador hasta el canal de agua clarificada.

CONCLUSIONES

Este estudio de patología y reforzamiento estructural contiene las intervenciones necesarias a realizar en el Sedimentador 8 con el fin de que pueda iniciar su normal funcionamiento.

Los ensayos al concreto y al acero realizados en el sedimentador 8 reflejan que las condiciones estructurales existentes son buenas y que su intervención obedece al desgaste debido a los cambios en las velocidades de los flujos y gases originados al interior del sedimentador.

Durante las actividades de extracción de núcleos se apreció que el concreto presentaba un nivel de dureza normal y que al retirar el núcleo se observa una buena gradación de los materiales de la mezcla además de una buena calidad de la pasta cementante

Para el caso de los muros en el interior del sedimentador, se pudo verificar que en promedio la capa de recubrimiento del acero es de 46mm y este no presenta procesos de corrosión activos.

A pesar de que en el canal de agua clarificada, no se verificó el recubrimiento del acero de refuerzo por medio de toma de muestras, se pudo constatar que en la losa de fondo se ha perdido completamente el recubrimiento, lo que ha generado que las barras presenten serias afectaciones por corrosión, e incluso pérdida de la sección transversal

Se realizó el análisis estructural del sedimentador con el fin de chequear los requisitos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, particularmente en su Título C.23. El análisis estructural realizado permite concluir que no es necesario reforzar ningún elemento de la zona interna del sedimentador 8 puesto que tanto el espesor como el refuerzo existente son suficientes para soportar las solicitaciones a las que se verán sometidos.

Sobre el estado actual de la estructura se puede concluir que:

Las juntas se encuentran en buenas condiciones y no presentan lesiones asociables a filtraciones ni falta de estanqueidad.

Durante la inspección de los concretos de la estructura se pudo apreciar que el estado de estos difiere mucho entre el interior del tanque y el canal perimetral, apreciándose el primero en buen estado y el segundo visiblemente afectado por diferentes lesiones. Una de las causas probables de la diferencia en el estado de los concretos es la diferencia entre las velocidades del flujo que corre por el canal perimetral con respecto al interior del tanque y la caída del agua clarificada sobre el vertedero hacia el canal perimetral, lo que genera mayor liberación de los gases presentes en el agua residual, los cuales al entrar en contacto con el oxígeno de la atmosfera genera una serie de reacciones químicas que difícilmente se podrían presentar en las profundidades del tanque que se encuentran cubiertas totalmente por agua.

La estructura presenta un deterioro leve y su estado se puede calificar como bueno dado el tiempo de operación de la planta y la agresividad de los agentes presentes en ella.

Las áreas que presentan mayor deterioro son en las que el flujo de agua corre a mayor velocidad

Recomendaciones

Se recomienda que cuando se desee sacar de operación el sedimentador, se conserve una lámina de agua de mínimo 1.50m de altura para regular la temperatura en la superficie de la sobre-losa. En caso de que se requiera secar completamente la estructura, se recomienda no hacerlo por períodos de tiempo superiores a un mes.

Reemplazar en su totalidad la losa de sacrificio.

Retirar e instale un nuevo barrelos, teniendo un estricto cuidado con los niveles y localización de los neoprenos.

Para cada una de las actividades de reparación a realizar es necesario seguir cada uno de los pasos descritos en el capítulo 8 de este informe.

Referencias

- Farny, J. A. (2013). *Diseño y construcción de pisos en concreto*. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Asocreto.
- Helene, P., & Pereira, F. (2007). *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*. Sao Paulo: Paulo Helene & Fernanda Pereira Editores.
- Lizcano Caro, J., Angarita Manosalva, E., & Chacón Mejía, G. (2012). Tratamiento de aguas residuales, la Planta Cañaveralejo de Cali, una breve descripción de entrada, a la década del servicio de alcantarillado. *Revista Tecnogestión*, 41-48.
- Romero Rojas, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogotá, D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Sánchez de Guzmán, D. (2017). *Durabilidad y Patología del Concreto*. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto - Asocreto.
- SIKA. (2015). *Catálogo general de productos 2015-2016*. Obtenido de sika.com: https://arg.sika.com/dms/getdocument.get/9598f874-cb01-3918-ab0a-e29f8334a6c0/catalogo_gral_de_productos2015.pdf
- SIKA. (Junio de 2016). *Hoja técnica de producto SikaRepair 224*. Obtenido de https://col.sika.com/dms/getdocument.get/db8b2000-ae1c-3364-9d48-4a04081b17c8/co-ht_SikaRepai_220.pdf
- SIKA. (Marzo de 2018). *Hoja técnica Sika Wrap 300C*. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj5y5KXg4zoAhVkJN8KHaPpC3sQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fcol.sika.com%2Fdms%2Fgetdocument.get%2F33d051e3-3002-396b-8984-28c01c23b592%2Fco-ht_SikaWrap%252520300C.pdf&usg=AOvVaw1QjKCg