



**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
POTABLE DEL MUNICIPIO DE FUNES DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

Camilo José Hoyos Zarama
Darío Javier Ocaña Díaz
Christiann G. Romo Rodríguez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2018



**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
POTABLE DEL MUNICIPIO DE FUNES DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

Trabajo practico integrado presentado para optar el Título de Especialista en Patología de la
Construcción.

Camilo José Hoyos Zarama
Darío Javier Ocaña Díaz
Christiann G. Romo Rodríguez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA GENERAL DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SAN JUAN DE PASTO
2018



Nota de aceptación:

Revisor trabajo practico integrado (TPI)

Jurado trabajo practico integrado (TPI)

Jurado trabajo practico integrado (TPI)

San Juan de Pasto, Agosto de 2018.

I.C. Camilo J. Hoyos Zarama
I.C. Darío Javier Ocaña Díaz
I.C. Christiann G. Romo Rodríguez

Estudio Patológico del Tanque de Almacenamiento de Agua
Potable del Municipio de Funes en el Departamento de Nariño



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVO.....	17
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. ALCANCE Y DELIMITACIONES	20
4. METODOLOGÍA	21
4.1. HISTORIA CLINICA.....	23
4.1.1. Sintomatología	23
4.1.2. Antecedentes.....	23
4.1.3. Permisos y autorizaciones para analizar el paciente	25
4.1.4. Inventario de daños sobre la estructura del tanque de almacenamiento.....	26
4.1.4.1. Inventario de daños sobre la estructura del tanque de almacenamiento	26
5. MARCO TEORICO	27
5.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	27
5.1.1. Generalidades.....	27
5.1.2. Clasificación de los tanques por su ubicación	27
5.1.2.1. Tanques superficiales.....	27
5.1.2.2. Tanques enterrados	28
5.1.2.3. Tanques semienterrados	29
5.1.2.4. Tanques elevados.....	30
5.1.3. Geometría De Los Tanques	31
5.1.4. Estructura De Los Tanques.....	31
5.1.5. Fallas Más Frecuentes En Tanques De Almacenamiento En Concreto Reforzado ...	33
5.1.5.1. Filtraciones De Agua	33
6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO	35
6.1. LOCALIZACIÓN	35
6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	38
7. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR.....	40



7.1. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO	40
7.1.1. Información del diseño estructural.....	40
7.1.1.1. Estudio de suelos	40
7.1.1.2. Memorias de cálculo estructural.....	41
7.1.1.3. Planos estructurales.....	41
7.1.1.4. Planos de modificaciones	41
7.1.1.5. Códigos y normas vigentes durante el diseño y construcción.....	42
7.1.1.6. Especificaciones técnicas	42
7.1.2. Información de materiales	42
7.1.2.1. Especificaciones y referencias de materiales empleados	42
7.1.2.2. Registro de calidad de los componentes del concreto	43
7.1.2.3. Diseño y dosificación de mezclas.....	44
7.1.2.4. Registro de control de calidad del concreto	44
7.1.2.5. Tipo y duración de las condiciones de curado.....	45
7.1.2.6. Registro de calidad del acero de refuerzo y cables o torones.....	45
7.1.3. Información de la construcción.....	46
7.1.3.1. Bitácora de obra.....	46
7.1.3.2. Correspondencia durante la construcción	46
7.1.3.3. Registro fotográfico de la construcción	47
7.1.3.4. Informes técnicos y actas de avance de obra.....	47
7.1.3.5. Planos y documentos de cambios sobre la marcha de la obra.....	47
7.1.4. Registro de la información.....	47
7.2. EXAMEN DE LA ESTRUCTURA	47
7.2.1. Inspección y verificación de la estructura	48
7.2.2. Valoración de la condición actual	49
8. DIAGNÓSTICO DE LOS DAÑOS	51
8.1. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA.....	52
8.2. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO	54
8.2.1. Concreto.....	54
8.2.2. Acero	54
8.3. PROTECCIÓN Y CURADO DEL CONCRETO.....	55
8.4. PRACTICAS CONSTRUCTIVAS	57
9. RECOMENDACIONES DE INTERVENCIÓN.....	61
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86



11. BIBLIOGRAFÍA.....89



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Modelo práctico de procesos basados en el modelo de Fernández Cánovas.	21
Figura 2 Tanque de almacenamiento de agua potable superficial, imagen fuente www.raonstrusoluciones.com	27
Figura 3 Tanque de almacenamiento de agua potable enterrado, imagen fuente www.acamy.com.ve	29
Figura 4 Tanque de almacenamiento de agua potable semienterrado, imagen fuente www.voxpopulislp.com	30
Figura 5 Tanque de almacenamiento de agua potable elevado, imagen fuente www.elheraldo.co	30
Figura 6 Esquema de estructura básica de tanque de almacenamiento en concreto reforzado. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Víctor M. Pavón Rodríguez.	31
Figura 7 Esquema de estructura básica de tanque de almacenamiento en concreto reforzado de doble compartimiento. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Víctor M. Pavón Rodríguez.	32
Figura 8 Esquema de detalle estructural de tanque en concreto reforzado. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Víctor M. Pavón Rodríguez.	32
Figura 9 Ubicación de Nariño en el mapa oficial de división política de la República de Colombia, mapa fuente IGAC.	36
Figura 10 Ubicación del Municipio de Funes en el Departamento de Nariño, mapa fuente IGAC.	37
Figura 11 Localización de tanque de almacenamiento de agua potable del municipio de Funes, ciudad de Pasto, y planta de concreto premezclado CONGRESUR SAS, mapa fuente Google Earth.	37
Figura 12 Localización de tanque de almacenamiento de agua potable del municipio de Funes y la cabecera municipal de Funes, mapa fuente Google Earth.	38
Figura 13 Requisitos del estándar ASTM C881 para las resinas epóxicas que se utilizan para la adhesión de concreto endurecido a concreto endurecido.	70
Figura 14 Instalación de puertos de entrada, figura fuente RAP-1 ACI.	72
Figura 15 Instalación del sello externo final, figura fuente RAP-1 ACI.	73
Figura 16 Inyección en el segmento más ancho de la fisura, hasta que ya no entre más resina y se rebose, figura fuente RAP-1 ACI.	74
Figura 17 Retiro del sello externo, figura fuente RAP-1 ACI.	74



Figura 18. Proceso de instalación de cinta impermeable de poliolefina (TPO) flexible con adhesivo epóxico, imagen de fuente productos SIKA.	76
Figura 19. Presupuesto general de la primera propuesta de intervención.....	78
Figura 20. Cronograma de ejecución de la primera propuesta de intervención.	79
Figura 21 Detalles constructivos instalación membrana a base de PVC plastificado y reforzado con armadura de poliéster, imagen de fuente productos Toxement.....	83
Figura 22. Presupuesto general de la segunda propuesta de intervención	84
Figura 23. Cronograma de ejecución de la segunda propuesta de intervención.	85



LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Formatos de inspección de campo

ANEXO B: Lista de chequeo de los procedimientos de diseño de acuerdo a la norma NSR-10

ANEXO C: Lista de chequeo de los procedimientos constructivos y de supervisión de acuerdo a la Norma NSR-10

ANEXO D: Formato de inspección visual

ANEXO E: Formato de inspección visual de acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas

ANEXO F: Investigación de campo, levantamiento topográfico y secciones topográficas

ANEXO G: Estudio de suelos

ANEXO H: Memorias estructurales originales

ANEXO I: Memorias estructurales modificadas

ANEXO J: Planos estructurales originales

ANEXO K: Planos estructurales modificados

ANEXO L: Modificación de losa

ANEXO M: Modificación de detalles estructurales

ANEXO N: Modificación de conexiones

ANEXO O: Especificaciones técnicas

ANEXO P: Registro de calidad de los componentes del concreto

ANEXO Q: Certificado y garantía del concreto

ANEXO R: Registro de control de calidad del concreto

ANEXO S: Registro de calidad del acero de refuerzo

ANEXO T: Bitácora de obra

ANEXO U: Correspondencia durante la construcción

ANEXO V: Informes técnicos y actas de obra



RESUMEN

El eje de este estudio es realizar la investigación, diagnóstico y recomendaciones, con el fin de establecer las soluciones respecto al estado actual del tanque de almacenamiento del acueducto del Municipio de Funes, Departamento de Nariño.

Para dar inicio al estudio, como primera etapa se elabora la historia clínica con base en la inspección visual, y posteriormente el inventario de daños para determinar las condiciones superficiales actuales del tanque en estudio, de igual forma, se identifica y describe las lesiones (deterioros) con mayor predominancia y su nivel de severidad. Se realiza un análisis de las lesiones encontradas con base en el modelo de procesos propuesto por Fernández Cánovas, lo que permite señalar averías y síntomas a partir de una investigación de la estructura, que a su vez conduce a dar un diagnóstico identificando tipos de daños, magnitud y cantidad de estos. Posteriormente, haciendo uso de dicha información se procede a formular un pronóstico mediante el cual se objeta un grado de vulnerabilidad de la estructura y la propuesta con el tipo de intervención que debe ejecutarse.



PALABRAS CLAVES

Patología.

Historia clínica.

Diagnóstico.

Intervención.

Tanque de almacenamiento.

Junta.

Fisura.

Segregación.

Diseño.

Proceso constructivo.



ABSTRACT

The axis of this study is to carry out research, diagnosis and recommendations, in order to establish the solutions regarding the current state of the storage tank of the aqueduct of the Municipality of Funes, Department of Nariño.

To begin the study, as a first stage the clinical history is elaborated based on visual inspection, and later the inventory of damages to determine the current surface conditions of the tank under study, in the same way, the lesions are identified and described (deteriorations)) with greater predominance and its level of severity. An analysis of the lesions found is made based on the process model proposed by Fernández Cánovas, which allows pointing out faults and symptoms from a structure investigation, which in turn leads to a diagnosis identifying types of damage, magnitude and quantity of these. Afterwards, using this information, a prognosis is formulated in which a degree of vulnerability of the structure and proposal is objected to with the type of intervention that must be executed.



KEY WORDS

Pathology.

Clinic history.

Diagnosis.

Intervention.

Storage tank.

Joint.

Fissure.

Segregation.

Design.

Constructive process.



INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el compendio de actividades llevadas a cabo en el marco de desarrollo del Trabajo Practico Integrado (TPI), realizado en aras de optar al título de “Especialistas en Patología de la Construcción”; la ejecución de dicho trabajo obedece a la práctica de los diferentes elementos teórico-prácticos y experiencias adquiridas durante los módulos del programa académico, apoyados de igual manera, en el recorrido profesional de cada uno de los integrantes del grupo.

El paciente seleccionado es un tanque de almacenamiento que hace parte del acueducto del municipio de Funes, Departamento de Nariño. Este paciente está constituido principalmente por losa y muros en concreto estructural y su funcionamiento es de vital importancia en el ejercicio del abastecimiento de agua potable para más de 7.000 habitantes de la zona.

Para la atención de las necesidades básicas del Municipio de Funes y como prioridad del sector de agua potable y saneamiento básico se requiere la rehabilitación y mejoramiento del sistema de acueducto Municipal, teniendo en cuenta que el actual sistema tiene deficiencia en el suministro de agua, principalmente en las horas de mayor consumo de los suscriptores.

La actual situación de dificultad en el suministro de agua por parte del acueducto, se considera de alta vulnerabilidad para la población municipal, por lo cual se declaró la Calamidad Pública por medio del Decreto No.091 de fecha 22 de julio de 2016.



Según lo informado por la empresa ACUALFUNES y las visitas técnicas oculares realizadas por la secretaria de planeación municipal se identifica el mal estado, entre otras cosas, de los tanques de almacenamiento debido al deterioro del tiempo, la acción de fenómenos naturales y la falta de mantenimiento, estimando que ya han cumplido su ciclo de vida útil, contruidos en mampostería y su volumen total no corresponde al requerido para suplir las necesidades del municipio.

Según el diagnóstico presentado en los estudios y diseños, la capacidad de los tanques es insuficiente para el almacenamiento del caudal requerido por la población actual y para la población proyectada; por las filtraciones que presenta y pasos directos, los que ocasiona una discontinuidad del flujo en la red de distribución, tal como se manifiesta en acta No. 004 del Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Con el fin de subsanar las falencias identificadas en los tanques de almacenamiento del sistema de acueducto del Municipio de Funes, la administración municipal suscribe el contrato de obra No. 2017010497 cuyo objeto fue “CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE FUNES”.

El 01 de agosto de 207 se inicia la ejecución del contrato de obra, sin embargo, se presentaron deficiencias en los procesos constructivos que generaron daños en la estructura del tanque de almacenamiento y que obligaron a suspender el contrato de obra hasta tanto se adelante el respectivo estudio patológico.

Se evaluará y analizará los daños presentes, ofreciendo un diagnóstico acorde para el tanque de almacenamiento, para determinar la alternativa de intervención más apropiada y pertinente desde el punto de vista técnico y económico.



El estudio está constituido por once capítulos los cuales son: Capítulo No. 1 Objetivos del estudio; Capítulo No. 2 Justificación; Capítulo No. 3 Alcance y delimitaciones de la investigación; Capítulo No. 4 Metodología; Capítulo No. 5 Marco teórico; Capítulo No. 6 Descripción del proyecto en estudio; Capítulo No. 7 Investigación preliminar; Capítulo No. 8 Diagnóstico de los diseños; Capítulo No. 9 Recomendaciones de intervención; Capítulo No. 10 Conclusiones y recomendaciones y Capítulo No. 11 Bibliografía.



1. OBJETIVO

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio patológico del tanque de almacenamiento del acueducto del Municipio de Funes, Departamento de Nariño.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar la historia clínica del paciente en estudio.
- Elaborar los formatos de inspección de campo, inspección visual y auscultación sobre la estructura del tanque de almacenamiento.
- Presentar un diagnóstico del estado del tanque de almacenamiento en estudio.
- Determinar los parámetros de chequeo de la estructura del tanque de almacenamiento en estudio.
- Presentar las propuestas de intervención del tanque de almacenamiento en estudio.



2. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Funes es una población perteneciente al Departamento de Nariño. Está ubicado en el sur occidente Colombiano que limita al norte con la ciudad de Pasto y el Municipio de Tangua, al sur con Puerres y El Contadero, al occidente con Iles e Imués y al oriente con el Departamento de Putumayo. Es equidistante de las tres grande urbes del departamento de Nariño; Pasto, Ipiales y Túquerres.

Cuenta con una población de alrededor de 7000 habitantes los cuales dependen de las estructuras que en materia saneamiento básico y agua potable el municipio proponga y ejecute con el fin de satisfacer las necesidades de la comunidad en torno al sector mencionado.

Es así como la administración municipal en el ejercicio de sus funciones ha observado que en la prestación del servicio que brinda la empresa ACUALFUNES mediante la administración de las estructuras que la entidad ha provisto, y en particular el tanque de almacenamiento del acueducto de la región, se presentan algunas deficiencias procedidas del mal estado de dicha estructura, además de las insuficiencias derivadas de las dimensiones inapropiadas, lo cual disminuye ostensiblemente el caudal entregado vs el requerido y a su vez da paso a la implementación de periodos de racionalización del agua.

En virtud de ello, el Alcalde del Municipio ha destacado la necesidad de construir un nuevo tanque de almacenamiento, el cual permita el alcance que la comunidad requiere en convergencia con la prestación de un servicio integral en cuanto a suministro de agua potable se refiere.



La ejecución del nuevo tanque se inició el 01 de agosto de 2017, sin embargo durante la ejecución se observaron algunas situaciones que dictaminan posibles deficiencias manifestadas a través de fisuras en los muros del tanque en construcción, circunstancias que conllevan al municipio de Funes a solicitar al contratista realizar los estudios pertinentes en aras de ejecutar las reparaciones adecuadas para satisfacer a la población de manera integral en materia de agua potable.



3. ALCANCE Y DELIMITACIONES

Se efectuaron los pasos contemplados en el Capítulo 4 (Metodología) del presente documento, teniendo en cuenta que se determinarán las causas de daños y lesiones de la estructura del tanque de almacenamiento en estudio. Además, se establecerá dos propuestas de intervención que permitan que las condiciones de durabilidad del tanque cumplan con los parámetros de diseño establecidos.

El presente estudio se centrará específicamente en el análisis técnico, sin profundizar en aspectos socio – económicos y legales.

De forma preliminar se ha realizado consulta y socialización de la metodología y alcance del estudio propuesto, con la administración municipal de Funes, específicamente con el Alcalde Municipal, equipo técnico de la oficina de Planeación y Obras Públicas, Personería, Delegados del Concejo Municipal, Veeduría Ciudadana, Supervisor del Proyecto, Contratista de Obra e Interventoría. De tal manera que se ha obtenido los permisos necesarios para el desarrollo del trabajo con la condición de que se comunique y presente la programación de las actividades a desarrollar y fecha de entrega del producto final.



4. METODOLOGÍA

La patología del concreto, puede definirse como el estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades o los defectos y daños que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y sus remedios. El alcance de la patología del tanque de almacenamiento del acueducto municipal de Funes, se puede visualizar en el siguiente esquema, el cual es un modelo práctico basado del modelo de procesos, propuesto por Fernández Cánovas.

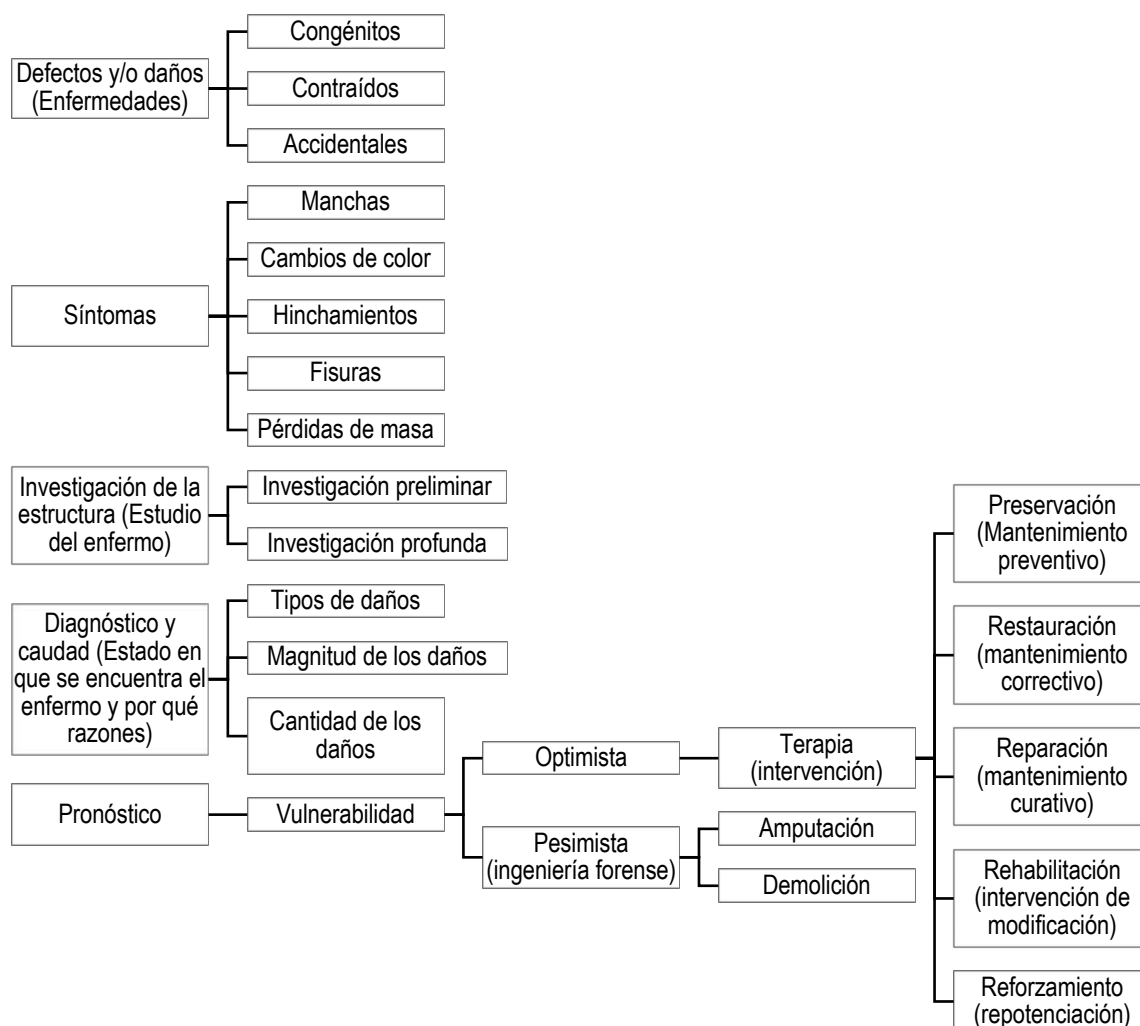


Figura 1 Modelo práctico de procesos basados en el modelo de Fernández Cánovas.



Partiendo de la investigación de la estructura, una vez identificados los defectos y daños del paciente, se realiza una investigación preliminar teniendo en cuenta el conocimiento previo, antecedentes, historia, uso, inspección visual y auscultación de los elementos afectados, así se conforma una patología clínica que busca estudiar las enfermedades presentes en el paciente, para establecer y diagnosticar apropiadamente la estructura, y cuantificar la magnitud y la cantidad de los diferentes daños en los elementos evaluados, con sus probables causas de ocurrencia.

A partir de dicho diagnóstico; o estado en el que se encuentra el paciente, se evalúa las condiciones de servicio y se genera un pronóstico sobre el comportamiento futuro de los elementos afectados.

Para efectos del presente estudio, el pronóstico del tanque de almacenamiento es optimista, ósea que no requiere de ninguna actividad de demolición total o parcial, sino de una intervención a nivel de restauración, enfocado en el proceso de restablecer los materiales, la forma o la funcionalidad a la cual fue diseñada la estructura.

Cabe resaltar que el proyecto cuenta con información recolectada de su desarrollo actual, información del diseño estructural, información de materiales e información de la construcción, hecho por el cual el alcance del presente estudio se enfoca en la presentación de un informe preliminar; junto con su diagnóstico y recomendaciones de intervención, y no se ve la necesidad de proseguir con una etapa de investigación profunda o detallada; que requiere adicionalmente la realización de ensayos a la estructura y toma de muestras, ensayos y análisis de las muestras, y una evaluación estructural para obtener un informe final.



4.1. HISTORIA CLINICA

4.1.1. Sintomatología

A nivel general se observa que la estructura del tanque de almacenamiento presenta una junta constructiva no programada (junta fría) transversalmente en todas las caras del tanque, segregación de la mezcla de concreto, abultamientos y fisuras. No se conoce que se hayan realizado intervenciones previas. Aplicación patológica: pediátrica.

4.1.2. Antecedentes

El 31 de julio de 2017, se firmó contrato de obra pública No. 2017010497 derivado de las acciones y protocolos de la licitación pública No. 002 de 2017 en el cual participaron el Municipio de Funes y Nelson Efraín Villota Enríquez identificado con C.C. 80.226.838 de Bogotá y en calidad de contratista y cuyo Objeto es “CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE FUNES”, el compromiso presupuestal para éste es el 2017010922. La información general del contrato de obra es la siguiente:

Entidad contratante:	MUNICIPIO DE FUNES
Contratista:	NELSON EFRAÍN VILLOTA ENRRIQUEZ
Valor del contrato:	\$ 296,103,490.53
Plazo inicial	CINCO (5) MESES



La información básica del contrato de interventoría es:

No. Contrato:	2017010737
Fecha:	01 de agosto de 2017
Valor:	\$ 20,500,000.00
Objeto	INTERVENTORÍA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE FUNES
Plazo:	HASTA 30 DE DICIEMBRE DE 2017
Contratista Interventor:	JIMMY ARBELL YANDAR URVINA

El 01 de Agosto de 2017 se suscribió acta de inicio del contrato de obra pública referido, fecha desde la cual aplica el plazo inicial de ejecución de las actividades contratadas. El día 8 de agosto de 2017 se realiza acta de suspensión motivada por la actualización de los diseños y tubería. Una vez superados los impases mencionados, se firma acta de reinicio el día 7 de noviembre de 2017.

Fruto de la actualización de diseños, la interventoría solicita un adicional en recursos requerido para la construcción de una placa en concreto ciclópeo la cual garantizaría la estabilidad y durabilidad del tanque de almacenamiento objeto del contrato.

La solicitud fue consensuada con el contratista y aprobada por el Municipio de Funes por un valor de \$25.965.321.53 mediante compromiso presupuestal No. 2017011371 y certificado de disponibilidad presupuestal No. 2017011120.

El 22 de diciembre de 2017 se efectúa acta de suspensión No. 2 en la cual participaron el Alcalde Municipal, el supervisor del contrato de obra, el interventor y el contratista de obra.



Esta suspensión fue solicitada argumentando el inicio de las fiestas decembrinas y carnavales en el Departamento de Nariño, aunadas a la finalización del año, lo cual promueve el cierre contable de las canteras y ferreterías que en medio de dicho proceso suspenden la atención al público. Posteriormente, se reinician las actividades el 15 de enero de 2018 suscitando las siguientes condiciones en los plazos para el contrato en ese momento:

Plazo De Entrega:	5 Meses
Plazo De Duración:	5 Meses
Fecha De Inicio:	01 De Agosto De 2017
Fecha De Terminación Inicial:	31 De Diciembre De 2017
Fecha De Suspensión No. 001:	08 De Agosto De 2017
Fecha De Reinicio Suspensión 001:	7 De Noviembre De 2017
Fecha De Finalización Según Suspensión 001:	30 De Marzo De 2018
Fecha De Suspensión No. 002:	22 De Diciembre De 2017
Fecha De Reinicio Suspensión 002:	15 De Enero De 2018
Fecha De Finalización Según Suspensión 002:	23 De Abril De 2018

4.1.3. Permisos y autorizaciones para analizar el paciente

De forma preliminar se ha realizado consulta y socialización de la metodología y alcance del estudio propuesto, con la administración municipal de Funes, específicamente con el Alcalde Municipal, equipo técnico de la oficina de Planeación y Obras Públicas, Personería, Delegados del Concejo Municipal, Veeduría Ciudadana, Supervisor del Proyecto, Contratista de Obra e Interventoría. De tal manera que se ha obtenido los permisos necesarios para el desarrollo del trabajo con la condición de que se comunique y presente la programación de las actividades a desarrollar y fecha de entrega del producto final.



4.1.4. Inventario de daños sobre la estructura del tanque de almacenamiento

Para llevar a cabo el inventario de daños mediante inspección visual, se tomó como referente el procedimiento para el registro de daños establecidos por el ACI 201.1R Guide For Conducting A Visual Inspection Of Concrete In Service.

4.1.4.1. Inventario de daños sobre la estructura del tanque de almacenamiento

A través de listas de chequeo y formatos de inspección, se evalúa y valora la condición o estado actual de la estructura. Como los factores determinantes que intervienen en la durabilidad de una estructura de concreto están el diseño y cálculo, los materiales empleados, las prácticas constructivas o procedimientos constructivos, y los procedimientos de protección y curado, se han agrupado todo estos factores en cuatro formatos. El anexo B; una lista de chequeo de los procedimientos de diseño de acuerdo a la norma NSR-10, el anexo C; una lista de chequeo de los procedimientos constructivos y de supervisión de acuerdo a la norma NSR-10, el anexo D; un formato de inspección visual de acuerdo a la guía ACI 201.1R-08, y el anexo E; un formato de inspección visual de acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas de acuerdo a la guía ACI 201.1R-08.



5. MARCO TEORICO

5.1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

5.1.1. Generalidades

Los tanques son estructuras cuya función primordial es almacenar algún líquido. De acuerdo con su posición relativa al terreno, éste tipo de depósitos pueden clasificarse como enterrados, semienterrados, superficiales y elevados.

5.1.2. Clasificación de los tanques por su ubicación

5.1.2.1. Tanques superficiales

Los tanques superficiales se construyen directamente apoyados sobre la superficie del suelo. Por lo general, se utilizan este tipo de tanques, cuando el terreno sobre el que se va a desplantar tiene la capacidad necesaria para soportar las cargas impuestas, sin sufrir deformaciones importantes. Resulta conveniente, en caso necesario, disponer de cierta altura para la descarga del líquido, a fin de disponer de una carga de presión hidrostática adecuada.



Figura 2 Tanque de almacenamiento de agua potable superficial, imagen fuente www.raconstrusoluciones.com.



Este tanque de almacenamiento es una de las estructuras más usuales en los sistemas de acueducto tradicionales, dicha estructura permite el aprovisionamiento del agua potable, constituyéndose como uno de los elementos más importantes en torno a la entrega de los caudales para los cuales fue diseñado el sistema en general.

El almacenamiento del agua se ha convertido en una tarea fundamental en consecuencia con la demanda del líquido vital frente a la oferta del mismo. Los tanques superficiales tienen la ventaja de que su mantenimiento es más sencillo de efectuar, también es más sencilla la instalación, operación y mantenimiento de las tuberías de entrada y de salida.

5.1.2.2. Tanques enterrados

Los tanques enterrados se construyen totalmente bajo la superficie del terreno. Se emplean cuando el terreno de desplante es adecuado para el funcionamiento hidráulico de la red de distribución y cuando es necesario excavar hasta encontrar un estrato de soporte más resistente.

Tienen la ventaja de conservar el agua a resguardo de las grandes variaciones de temperatura; no alteran el paisaje.

Sus inconvenientes son el tener que efectuar excavaciones costosas, la dificultad de observar y mantener las instalaciones de conexión del abastecimiento y la red de distribución, así como, la dificultad para descubrir las posibles filtraciones y fugas del líquido.



Figura 3 Tanque de almacenamiento de agua potable enterrado, imagen fuente www.acamy.com.ve.

5.1.2.3. Tanques semienterrados

Los tanques semienterrados, tienen como característica fundamental que una porción de la construcción se encuentra bajo el nivel del terreno y otra parte sobre éste. La construcción de este tipo de depósito está definida por razones de topografía o cuando el costo de la excavación es alto, debido a que ésta no se justifica por su localización desventajosa o por razones de geotecnia.

De no observarse ambos factores, el resultado final sería el costo elevado de la construcción. Por otra parte, permiten un acceso a las instalaciones más fácilmente que el de los depósitos totalmente enterrados.



Figura 4 Tanque de almacenamiento de agua potable semienterrado, imagen fuente www.voxpopulislp.com.

5.1.2.4. Tanques elevados

Los tanques elevados se emplean cuando se necesita altura para darle presión al agua y lograr su distribución.

Existen de diferentes tamaños, dependiendo del volumen que almacenarán y esto condicionará su forma como estructura.

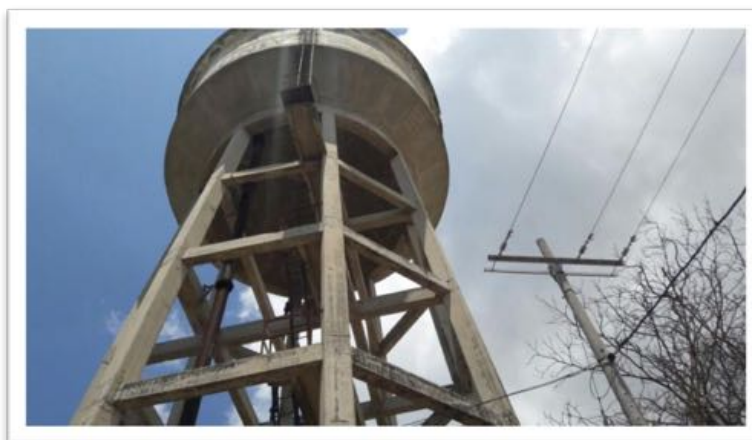


Figura 5 Tanque de almacenamiento de agua potable elevado, imagen fuente www.elheraldo.co.

5.1.3. Geometría De Los Tanques

La forma teóricamente más conveniente para un tanque es aquella que para una altura y volumen dados, se tenga un perímetro mínimo, lo cual implica una geometría cilíndrica. Sin embargo, pueden existir otras razones que obliguen seleccionar una sección en planta rectangular o cuadrada.

Entre los depósitos rectangulares se tienen los tanques de regulación, sedimentadores, floculadores, filtros, cajas repartidoras, cárcamos de bombeo, cajas rompedoras de presión, digestores de lodos, etc., normalmente este tipo de depósitos son de concreto reforzado.

5.1.4. Estructura De Los Tanques

Es de primordial importancia que los tanques para el almacenamiento de agua se mantengan impermeables a la filtración del agua. Se evitará asimismo, la contaminación del agua potable por el contacto con el agua freática, así como la contaminación de los mantos acuíferos si se trata de aguas residuales. El esquema básico de un tanque de almacenamiento se observa en las siguientes figuras:

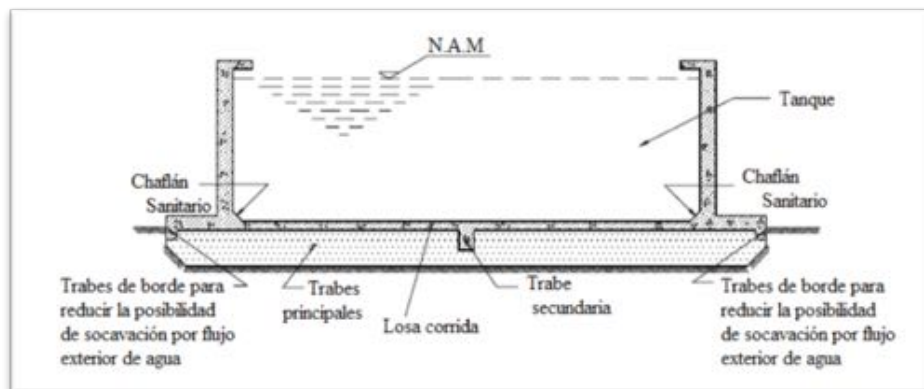


Figura 6 Esquema de estructura básica de tanque de almacenamiento en concreto reforzado. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Víctor M. Pavón Rodríguez.

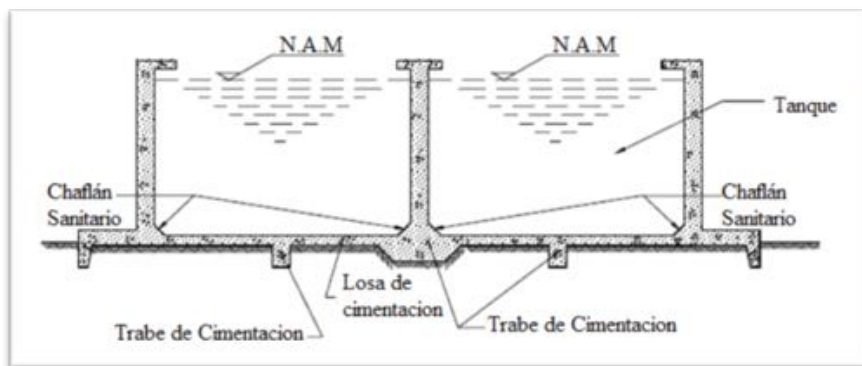


Figura 7 Esquema de estructura básica de tanque de almacenamiento en concreto reforzado de doble compartimiento. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Víctor M. Pavón Rodríguez

Los tanques están compuestos por diversos elementos, tales como los muros que soportan los empujes de agua y de tierra; así como las fuerzas provocadas por el sismo y el viento. También se tienen las cimentaciones que pueden estar constituidas por zapatas corridas bajo los muros o una losa que ejerza una función estructural y que al mismo tiempo, componga el piso o fondo de los tanques. Respecto al fondo de los tanques, estos pueden ser una losa estructural o una membrana impermeable de concreto sin función estructural. Otros elementos a tener en cuenta son: cubiertas o tapas de los tanques y accesorios tales como escaleras, tuberías, válvulas, entre otros.

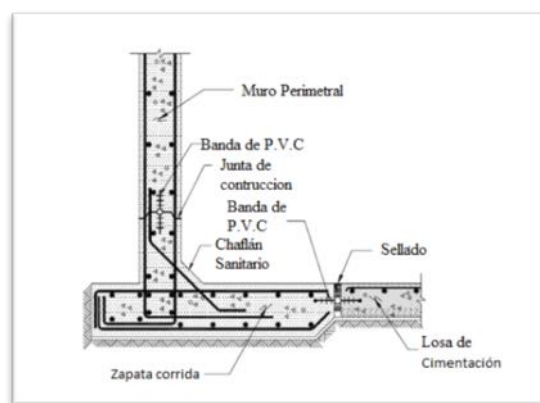


Figura 8 Esquema de detalle estructural de tanque en concreto reforzado. Tomado del Manual de diseño y construcción de estructuras de concreto para almacenamiento de agua de Victor M. Pavón Rodríguez



Dada la necesidad de la implementación de los tanques de almacenamiento, es de gran importancia construir estructuras que cuenten con las condiciones de diseño que garanticen el mantenimiento en buen estado del líquido, sin dejar de lado la importancia de su capacidad hidráulica máxima y en el uso de materiales que no afecten la salud humana.

Es importante tomar en cuenta el tamaño en los tanques de almacenamiento de agua, debido a que define la cantidad de población a la cual dicho tanque dará servicio. Cabe mencionar que los tanques de almacenamiento en torno a lo concerniente con agua potable y saneamiento básico tienen dos funciones fundamentales las cuales son almacenar agua potable y/o almacenar aguas residuales.

Es posible catalogar los tanques de almacenamiento de acuerdo con el tipo de materiales de construcción, de esta manera existen tanques de plástico, fibra de vidrio, metálicos, artesanales y de concreto. El tanque objeto del presente estudio fue concebido y construido en concreto reforzado.

5.1.5. Fallas Más Frecuentes En Tanques De Almacenamiento En Concreto Reforzado

5.1.5.1. Filtraciones De Agua

Las cuales pueden aparecer debido a varios factores entre los cuales se tienen:

- Porosidad en el concreto
- Grietas o fisuras que pueden ser en dirección horizontal, vertical o diagonales. Las fisuras horizontales pueden ser causa de la mala utilización de la cinta PVC en las pausas de vaciado del concreto o la ausencia de esta, lo que propone la formación de una junta fría en las paredes. Las fisuras verticales pueden darse en las esquinas cuya causa probable es la falta



de refuerzos en L en las esquinas; también suelen observarse fisuras verticales en la luz de los muros, situación que suele generarse por el asentamiento diferencial del suelo.



6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO

6.1. LOCALIZACIÓN

Nombre del proyecto: Tanque de almacenamiento del acueducto municipal de Funes

Funes es una población y municipio de Colombia en el Departamento de Nariño. Está ubicado en el sur occidente Colombiano que limita al norte con la ciudad de Pasto y el Municipio de Tangua, al sur con Puerres y El Contadero, al occidente con Iles e Imués y al oriente con el Departamento de Putumayo. Es equidistante de las tres grande urbes del departamento de Nariño; Pasto, Ipiales y Túquerres.

Localización geográfica: 0°59'59.75"N, 77°26'56.58"O

Tanque de almacenamiento: 0°59'39.22"N, 77°26'52.10"O

Planta de premezclado CONGRESUR SAS: 1°15'0.49"N, 77°19'23.72"O



Figura 10 Ubicación del Municipio de Funes en el Departamento de Nariño, mapa fuente IGAC.



Figura 11 Localización de tanque de almacenamiento de agua potable del municipio de Funes, ciudad de Pasto, y planta de concreto premezclado CONGRESUR SAS, mapa fuente Google Earth.



Figura 12 Localización de tanque de almacenamiento de agua potable del municipio de Funes y la cabecera municipal de Funes, mapa fuente Google Earth.

6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Esta obra es un tanque de almacenamiento o tanque regulador de caudales, que atiende a los siguientes objetivos:

- Compensar las variaciones de consumo de agua que se presentan durante el día.
- Mantener una reserva de agua para atender casos de incendios
- Disponer de un volumen adicional de agua para atender emergencias, accidentes y reparaciones menores en la bocatoma, conducción o planta de tratamiento.
- Dar una presión adecuada a la red de distribución de la población.

Algunos datos de interés para tener en cuenta son:

Tipo de estructura: Muros en concreto estructural

Cimentación de la losa en concreto estructural



Propietario(s): Alcaldía Municipal de Funes

Diseñadores y especificadores del proyecto:

Ingeniero Estructural: Andrés Fernando Guerrero Cabrera

M.P. 52202-106802 NRÑ

Ingeniero Hidráulico: Andrés Fernando Guerrero Cabrera

M.P. 52202-106802 NRÑ

Ingeniero Geotécnico: Grupo A Consultores y Constructores SAS

Ing. Johnny Alexander David Martínez

M.P. 52202-220944 NRÑ

Topógrafo: Carlos Alejandro Citeli

L.P. 01-17210 CPNT

Constructor: Ing. Nelson Efraín Villota Enríquez

C.C. No. 80.226.838 de Pasto – Nariño

Interventor: Ing. Jimmy Harbell Yandar Urbina

C.C. No. 12.749.600 de Pasto – Nariño

Proveedores de materiales: Concreto premezclado CONGRESUR SAS

Acero de refuerzo MULTIALAMBRES PASTO



7. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Con base en las recomendaciones del ACI 364.1R-07 “Guía para la evaluación de concreto estructural ante de la rehabilitación”, se procede a realizar de manera sistemática y ordenada el desarrollo de uno pasos secuenciales para llevar a cabo una investigación que permita elaborar un diagnóstico, de modo que éste a su vez permita emitir un pronóstico del comportamiento de la estructura, bajo las condiciones de servicio esperadas hacia el futuro y diseñadas en el proyecto.

7.1. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

7.1.1. Información del diseño estructural

Los documentos soporte y copias del diseño se adjuntan en los anexos del informe en el registro de información.

Adicionalmente, teniendo en cuenta la Ley 400 de 1997, la responsabilidad de los diseños de los diferentes elementos que componen la estructura recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares, y se presume, que cuando un elemento figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir el propósito del reglamento NSR-10 y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano es el responsable del diseño correspondiente.

7.1.1.1. Estudio de suelos

Realizado por el Grupo A Consultores y Constructores SAS, a cargo del Ingeniero Civil Johnny Alexander David Martínez con matrícula profesional 52202-220944 NRÑ, relacionado en el anexo G: Estudio de Suelos.



7.1.1.2. Memorias de cálculo estructural

Para efectos del proyecto “Tanque de almacenamiento del acueducto municipal de Funes”, se realizó un diseño inicial a cargo del Ingeniero Civil David Alexander Tobar Benavides con matrícula profesional 52202-182139 NRÑ; relacionado en el anexo H, y modificado posteriormente y presentado y aprobado a través del oficio 101-112-0205 del 6 de mayo de 2018 de la Jefe de Planeación Municipal de Funes, realizado por el Ingeniero Civil Andrés Fernando Guerrero Cabrera con matrícula profesional 52202-106802 NRÑ; relacionado en el anexo I.

7.1.1.3. Planos estructurales

Los planos que sustentan y complementan las memorias de cálculo estructural original se relacionan en el anexo J, rotulados por el Ingeniero Civil relacionado anteriormente.

7.1.1.4. Planos de modificaciones

Los planos definitivos de diseño se presentan y aprueban a través del oficio 101-112-0205 del 6 de mayo de 2018 de la Jefe de Planeación Municipal de Funes, realizado por el Ingeniero Civil Andrés Fernando Guerrero Cabrera con matrícula profesional 52202-106802 NRÑ; relacionados en el anexo K.

A estos planos de diseño se realizaron modificaciones en tres instancias, la primera modificación sobre la reformulación del sistema de tapa para el tanque a través del oficio del 9 de febrero de 2018 presentado por el ingeniero diseñador al constructor del proyecto; relacionado en el anexo L, la segunda a los detalles constructivos a través del oficio del 4 de abril de 2018 presentado por el ingeniero diseñador al interventor del proyecto; relacionado en el anexo M, y la tercera sobre detalles de conexión de vigas metálicas con oficio sin fecha presentado por el ingeniero diseñador al constructor del proyecto; relacionado en el anexo N.



7.1.1.5. Códigos y normas vigentes durante el diseño y construcción

Para efectos del presente proyecto, en cumplimiento de la Ley 400 de 1997 y sus decretos vigentes, es de obligatoriedad el cumplimiento del reglamento NSR-10; junto con las normas técnicas citadas en el mismo, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamientos básico RAS-2000, y las normas técnicas colombianas NTC citadas y reglamentadas para efectos específicos.

7.1.1.6. Especificaciones técnicas

Se relacionan en el anexo O, todas las especificaciones técnicas contractuales derivadas de cada una de las actividades contempladas para la ejecución del proyecto.

7.1.2. Información de materiales

Dentro del anterior numeral información del diseño estructural, se especifica y referencia el tipo de materiales a emplear en el presente proyecto, igualmente el vigente reglamento NSR-10, exige el respectivo registro de calidad de los materiales utilizados en la construcción, y adicionalmente se debe contar con una información mínima la cual debe ser suministrada por parte del contratista o proveedor de materiales.

7.1.2.1. Especificaciones y referencias de materiales empleados

Para la ejecución del tanque de almacenamiento del acueducto municipal de Funes, se referencia los siguientes materiales de construcción.

- Concreto con resistencia especificada a la compresión de 28Mpa que cumpla con la norma NTC 3318, para elementos principales losa de fondo y muros, de 21Mpa para elementos de vigas y losa de tapa, y de 14.5Mpa para concreto de limpieza.



- Acero de refuerzo con resistencia especificada a la fluencia de 420Mpa que cumpla con la norma NTC 2289
- Material cementante que cumpla con los requisitos de C.3.2 NSR-10 y norma NTC 121
- Agregados para concreto deben cumplir con la norma NTC 174

Adicionalmente a los alcances del presente proyecto, existen unas exigencias de la norma NSR-10 en su capítulo C.3; referente a materiales, en donde el contratista debe practicar unos requisitos mínimos de cumplimiento normativo para aditivos, almacenamiento de materiales y de ensayos de materiales.

7.1.2.2. Registro de calidad de los componentes del concreto

La mezcla de concreto implementada en obra pertenece a planta de premezclado, suministrada por la empresa CONGRESUR SAS, y a través de comunicado de abril 20 de 2018; que se relaciona en el anexo P, registra la calidad de cada uno de los componentes del concreto, en el cual se utilizó arena de fuente El Espino, agregado grueso de tamaño máximo 3/4" de fuente Briceño Bajo, cemento concretero de uso general de fuente Cementos Argos S.A. – Planta Yumbo, aditivo plastificante, reductor de agua y retardante Plastiment TM-10 de fuente Sika S.A., y aditivo impermeabilizante integral Plastocrete DM de fuente Sika S.A.



7.1.2.3. Diseño y dosificación de mezclas

La dosificación de los materiales para el concreto debe cumplir los requisitos del capítulo C.5.2 para lograr trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva, resistencia a exposiciones especiales; según se lo requiera en el capítulo C.4, y conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia de C.5.6 de la NSR-10.

Para efectos del presente proyecto se utilizó concreto premezclado en planta suministrado por la empresa CONGRESUR SAS, la cual certifica y garantiza la mezcla de concreto empleada en el presente proyecto, con constancia de abril 30 de 2018; que se relaciona en el anexo Q, pero que por política de calidad no suministra el diseño y dosificación de la mezcla.

7.1.2.4. Registro de control de calidad del concreto

De acuerdo a la NSR-10 en su capítulo C.5.6; la evaluación y aceptación del concreto debe ensayarse de acuerdo con los requisitos de frecuencia de ensayos, probetas curadas en forma estándar u obra, e investigación de los resultados de ensayos con baja resistencia.

Los ensayos de concreto fresco realizados en la obra, la preparación de probetas que requieran de un curado bajo condiciones de obra, la preparación de probetas que se vayan a ensayar en laboratorio y el registro de temperaturas del concreto fresco mientras se preparan las probetas de resistencia debe ser realizado por técnicos calificados en ensayos de campo.



Todos los ensayos de laboratorio deben ser realizados por técnicos de laboratorio calificados. En obra no se cuenta con un registro de ensayos realizados por parte del contratista y/o interventoría, pero el proveedor si suministra un reporte de control de calidad del concreto, lo realiza a través del formato CC-RGE-01 denominado Resultados de Resistencia; que se relaciona en el anexo R, en cual evalúa la resistencia a la compresión de cilindros de concretos tomados en cumplimiento con la frecuencia de ensayos regida en el capítulo C.5.6.

En el registro suministrado por la empresa CONGRESUR SAS se cumple con la resistencia especificada a la compresión del concreto de los elementos principales de losas de base y muros.

7.1.2.5. Tipo y duración de las condiciones de curado

Es de debido cumplimiento los requisitos de curado del concreto, de acuerdo a los requerimientos establecidos en el capítulo C.5.11 de la NSR-10, pero que en bitácora de obra no se especifica concretamente en cuanto al tipo y duración de dicha actividad, como las condiciones específicas del concreto en cuanto a temperatura y humedad. Por otra parte se tiene certificación de la empresa CONGRESUR, mediante la cual expresa los tiempos que según sus ensayos son pertinentes para lograr una operación consecuente con la calidad esperada del concreto premezclado, objetando que los periodos de entrega de dicho material fueron oportunos.

7.1.2.6. Registro de calidad del acero de refuerzo y cables o torones

De acuerdo a la NSR-10 en su capítulo C.3.5.11, la evaluación y aceptación del acero de refuerzo se realiza a través de ensayos de muestras representativas de los aceros de refuerzo utilizados en la obra, con la frecuencia y alcance indicados en el Título I de la NSR-10.



Los ensayos deben demostrar, inequívocamente, que el acero utilizado cumple la norma técnica NTC correspondiente y el laboratorio que realice los ensayos debe certificar la conformidad con ella. No se cuenta con un registro de ensayos o pruebas realizadas por parte del contratista y/o interventor, pero el proveedor suministra unos reportes de ensayos en cumplimiento de las normas técnicas NTC 2289; que se relacionan en el anexo S, y evalúan la composición química, propiedades físicas y características geométricas del acero de refuerzo empleado en la obra.

7.1.3. Información de la construcción

Es importante poseer información sobre los procedimientos constructivos, avances de la obra, eventos fuera de lo preestablecido, las condiciones de protección y curado de la estructura, para ello es importante contar con documentos de invaluable importancia que se detallan a continuación.

7.1.3.1. Bitácora de obra

Se cuenta con el libro de obra; documento indispensable en el control del proyecto, permitiendo comparar lo previsto con lo ejecutado, corregir divergencias detectadas, registrar cambios que se efectúen en la marcha o que modifiquen las condiciones contractuales del proyecto, convirtiéndose en un anexo técnico importante para el proyecto, y que se relaciona en el anexo T.

7.1.3.2. Correspondencia durante la construcción

Se cuenta con el registro de la correspondencia más sobresaliente y que abarca los temas de carácter de gran importancia para la ejecución del proyecto y su culminación satisfactoria, se relaciona en el anexo U.



7.1.3.3. Registro fotográfico de la construcción

Se cuenta con un registro fotográfico de los procesos constructivos, ejecución de actividades, e inspección y verificación de la estructura existente, relacionado en el Anexo V: Informes técnicos y actas de obra.

7.1.3.4. Informes técnicos y actas de avance de obra

Se relaciona en el anexo V, todos los informes técnicos de interventoría realizados hasta la fecha, junto con los documentos de medición y cobro como actas de avance de obra.

7.1.3.5. Planos y documentos de cambios sobre la marcha de la obra

Se adjunta al presente informe, copia digital de los planos modificados.

7.1.4. Registro de la información

Toda la información recolectada en el capítulo 7 del presente informe, se registra, clasifica y archiva en el capítulo Anexos, para facilitar su posterior consulta y ponerla a disposición de los solicitantes, dicha información va indexada y forma parte básica y complementaria del informe de inspección, evaluación, diagnóstico y recomendaciones de rehabilitación.

7.2. EXAMEN DE LA ESTRUCTURA

Para realizar un examen completo de la estructura, sin dejar por alto daños que pueden pasar inadvertidos, acudimos a los formatos de la valoración de la condición actual de la estructura, basados en la ACI 201.1R “Guía para realizar una inspección visual de concreto en servicio”.



Esta es una guía para una inspección visual del concreto en servicio. Una inspección visual es un examen al concreto para identificar y definir muchas de las diversas condiciones que el concreto puede exhibir durante su vida útil. La inspección visual se limita típicamente a las superficies de la estructura de concreto que son accesibles de manera aparente.

Al completar una inspección visual del concreto inmediatamente después de la construcción, y mediante la repetición a intervalos durante la vida útil del concreto, la inspección visual proporciona información histórica importante sobre el rendimiento y la durabilidad. Los resultados de la inspección también ayudan a la detección temprana de las fatigas y el deterioro, lo que permite la reparación o la rehabilitación antes de que sea necesario el reemplazo o demolición.

Si bien una inspección visual se utiliza con más frecuencia en relación con la inspección de la condición del concreto que muestra defectos o algún grado de angustia, su aplicación se recomienda para toda la estructura de concreto. Por esto es importante que se documente adecuadamente cualquier observación relacionada con la exposición del entorno (efectos de cargas físicas, deformaciones, defectos, imperfecciones y angustia), durabilidad y rendimiento. Es por esto, que los registros de material de concreto y las prácticas de construcción se recopilaron en los anexos y se revisaron. La información obtenida a partir de la visita realizada se puede observar en las fichas de caracterización de fisuras, deformaciones y demás aspectos que se lograron recopilar mediante mediciones, fotos y auscultaciones contenidas en los Anexos A, B, C, D, E y F.

7.2.1. Inspección y verificación de la estructura



El formato de inspección de campo incluye descripción de elementos que pueden influir en la durabilidad y la resistencia del concreto. Los formatos ilustran los diversos tipos de defectos y fallas, junto con la causa del deterioro cuando se conoce. El formato de inspección visual se usó para documentar los resultados de la inspección.

De igual forma las fotografías, son de gran utilidad en este proceso, para establecer qué tipo de daño, la magnitud del mismo y la cantidad de su presencia en la estructura y/o sus miembros. El levantamiento topográfico detallado, junto con sus secciones nos permiten evidenciar y registrar la magnitud de las deformaciones permanentes de los diferentes elementos, incluyendo los desplomes, desalineamientos y desproporciones de la estructura; relacionados en los anexos A, B, C, D, E y F.

7.2.2. Valoración de la condición actual

A través de listas de chequeo y formatos de inspección, se evalúa y valora la condición o estado actual de la estructura. Como los factores determinantes que intervienen en la durabilidad de una estructura de concreto están el diseño y cálculo, los materiales empleados, las prácticas constructivas o procedimientos constructivos, y los procedimientos de protección y curado, se han agrupado todo estos factores en tres formatos.

El anexo B, contiene una lista de chequeo de los procedimientos de diseño de acuerdo a la norma NSR-10, el anexo C; contiene una lista de chequeo de los procedimientos constructivos y de supervisión de acuerdo a la norma NSR-10, el anexo D; contiene un formato de inspección visual de acuerdo a la guía ACI 201.1R-08, y el anexo E; contiene un formato de inspección visual de acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas de acuerdo a la guía ACI 201.1R-08.



De tal manera, adicionalmente de las acciones del entorno y las condiciones de exposición de la estructura, se deben considerar los factores de diseño y construcción de la estructura.



8. DIAGNÓSTICO DE LOS DAÑOS

Para poder identificar y caracterizar los defectos y daños de la estructura, así como para delimitar los alcances de los mismos, se aplicaron de manera sistemática y ordenada los procedimientos establecidos en el ACI 364.1R-07 “Guide for evaluation of concrete structure before rehabilitation”, una serie de pasos secuenciales para llevar a cabo una investigación que nos permita elaborar un diagnóstico del paciente, o en pocas palabras determinar las causas de las enfermedades o daños de la estructura.

Para que un concreto sea durable, es decir resistente a la acción destructiva de acciones físicas, mecánicas, químicas y/o biológicas; y mantenga su forma original y la calidad especificada durante su vida útil, no solo es importante cumplir con los requisitos de resistencia, sino también tener en cuenta los aspectos de durabilidad.

De ahí la importancia de la durabilidad del concreto, su capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, de los ataques químicos o biológicos, de la abrasión y/o de cualquier otro proceso de deterioro. De tal manera, que las acciones del medio ambiente y las condiciones de exposición de una estructura se deben considerar como factores de diseño y construcción de las estructuras.

La durabilidad de un concreto está ligada directamente al diseño y cálculo de la estructura, a los materiales a implementar en el proyecto, la protección y curado del concreto y a las prácticas constructivas.

A continuación se analiza cada uno de los anteriores aspectos para el caso en estudio:



8.1. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

Teniendo en cuenta los requerimientos aprobados en la Ley 400 de 1997, la estructura de la edificación debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez adecuadas ante las cargas mínimas de diseño prescritas por el Reglamento NSR-10 y debe, además, verificarse que dispone de rigidez adecuada para limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la estructura.

El comportamiento estructural respecto a los diseños de los diferentes elementos que componen la estructura son responsabilidad de los profesionales que elaboran o dirigen las diferentes etapas en la concepción de los esquemas particulares. Se presume, que si un elemento figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir con los parámetros y requisitos básicos del Reglamento NSR-10 y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano es el garante del diseño correspondiente.

De la información relacionada con el diseño del tanque de almacenamiento se destacan los siguientes aspectos:

- No hay detalle constructivo de las escaleras de acceso al interior del tanque. Se desconoce la manera como se propone evitar la oxidación de las barras de acero de las escaleras y cómo evitar la posible transferencia del óxido al acero de refuerzo principal de los muros.
- No hay diseño de las juntas frías conforme a lo establecido en la norma NSR-10 (C.23-C-4.10) para garantizar la impermeabilidad de la estructura, la cual consiste en la colocación de una barrera impermeable, un relleno preformado y un sellante de junta.



- Hubo cambio de diseño de la placa de cubierta del tanque. Inicialmente se contempló una placa en concreto reforzado apoyada en vigas en concreto reforzado. Finalmente cambiaron a una placa en steel deck apoyada en vigas metálicas IPE. Sin embargo, no se observa el detalle de las uniones precalificadas. De hecho, en la visita de campo se pudo evidenciar que no se aplicaron los procedimientos reglamentados en el Título C de las NSR-10 en el apéndice C-D Anclaje al Concreto.
- Se eliminaron los chaflanes de los muros perimetrales del tanque y se oficiaron dichos cambios tal cómo se comentó en el capítulo 7 del presente informe y en el anexo M: Modificación de detalles estructurales.

Teniendo en cuenta estas observaciones, esta estructura tendría graves problemas de filtración de agua, lo cual supone situaciones adversas tales como oxidación de la armadura de acero, disminución en el área de refuerzo, fisuración del concreto por expansión y por ende debilitamiento de la estructura a nivel general. Por otro lado, la falta de detalle de los



anclajes de la viga IPE al concreto podría generar problemas de resistencia, estabilidad, equilibrio de los materiales y/o seguridad de la conexión.

8.2. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO

De acuerdo a la información suministrada por los proveedores de los materiales, las características de los materiales empleados en la construcción del tanque de almacenamiento son las siguientes.

8.2.1. Concreto

Premezclado suministrado por la Empresa CONGRESUR SAS.

- Cemento: Gris Argos (Planta Yumbo)
- Agregado fino: Arena gris de El Espino
- Agregado grueso: Grava triturada $\frac{3}{4}$ " de Briceño Bajo
- Aditivo: Plastiment TM 10 (Sika S.A.) – Plastificante, reductor de agua, retardante
- Aditivo: Plastocrete DM (Sika S.A.) - Impermeabilizante
- Resistencia a la compresión: 28Mpa
- Tamaño máximo de agregado grueso: $\frac{3}{4}$ "
- Asentamiento: 4 ± 1 "

Nota: No fue suministrado el diseño de mezcla del concreto.

8.2.2. Acero

Suministrado por la empresa GERDAU DIACO

- Diámetros: $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{5}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ "



En este punto es importante recalcar que si bien es cierto los proveedores de los materiales certificaron la calidad de los materiales al momento de ser despachados, en obra no se efectuaron ensayos de control por parte del contratista, ni de la interventoría, lo que implicaría que la responsabilidad de la calidad del material recae en el ejecutor y sobretodo en el encargado de ejercer el control en obra.

Teniendo en cuenta que para verificar las características de los materiales es necesario adelantar la práctica de ensayos invasivos (extracción de núcleos, sustracción de barras de acero de refuerzo, entre otros) que no hacen parte del alcance del presente estudio, se acogen las certificaciones de calidad suministradas por los proveedores de los materiales.

En ese orden de ideas, se puede decir que los materiales cumplen con la normatividad de calidad vigente en el país y por consiguiente no son los causantes de las patologías encontradas en el tanque de almacenamiento.

8.3. PROTECCIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

El curado del concreto debe darse durante la primera fase del endurecimiento (después del fraguado). Este proceso asegura que el concreto sea resistente, tenga baja permeabilidad, se encuentre libre de fisuras y por lo tanto sea durable.



Los procedimientos de curado deben procurar que no haya diferencias de temperatura demasiado grandes; y evitar que haya un secado prematuro. La Instrucción Española de Concreto Estructural (EHE, 1998) en su artículo 73 establece que: “cuando la colocación de concreto se efectúa en tiempo caluroso, se adoptarán las medidas oportunas para evitar la evaporación del agua de mezcla, en particular durante el transporte del concreto y para reducir la temperatura de la masa. Para ello, los materiales constituyentes del concreto y los encofrados o moldes destinados a recibirlo deberán estar protegidos del sol. Una vez efectuada la colocación del concreto, se protegerá éste del sol y especialmente del viento, para evitar que se seque. Si la temperatura ambiente es superior a 40°C o hay un viento excesivo se suspenderá la colocación del concreto, salvo que, previo autorización expresa de la interventoría de obra, se adopten medidas especiales”.

Tal como se señala en el anexo C: Lista de chequeo de los procedimientos constructivos y de supervisión de acuerdo a la norma NSR-10, no se realizó control de temperatura de la mezcla de concreto.

Con respecto a este punto, se observó que en algunas áreas de los muros se presentaba un descascaramiento de la superficie del concreto.

El descascaramiento es la delaminación local o desprendimiento de una superficie terminada de concreto endurecido como resultado de su exposición a ciclos de congelación y deshielo. Generalmente comienza en pequeñas zonas aisladas, que después pueden fusionarse y extenderse a grandes áreas.

La falta de curado frecuentemente da lugar a una capa superficial frágil, que sufrirá de descascaramiento si es expuesta a cambios bruscos de temperatura en presencia de humedad.



Para el caso en estudio, se revisó las anotaciones consignadas en la bitácora de obra, encontrando que de manera muy general se hace referencia al proceso de curado que se adelantó en la obra. Sin embargo, no hay registro detallado de dicho procedimiento, es decir, cuál fue el método utilizado, tiempo y frecuencia de curado, aditivos empleados (si aplica), materiales para la protección, etc.

8.4. PRACTICAS CONSTRUCTIVAS

Los procesos constructivos deben reflejar lo más fielmente posible los planos y las especificaciones dadas en las fases de planeación y diseño del proyecto.

Es por eso que la construcción de este tipo de obras (tanques de almacenamiento) demanda una metodología y unos cuidados específicos. Es decir, debe existir una experiencia previa, unos cuidados y unas calificaciones de la mano de obra, un control de calidad y unas precauciones que permitan obtener la calidad especificada.

Las fallas identificadas en el tanque de almacenamiento objeto del presente estudio, fueron ocasionadas por *fallas derivadas de la construcción o fallas en los procesos constructivos*.

Teniendo en cuenta la documentación del proyecto, junto con el examen de la estructura, se identificaron unas causas determinantes en la formación de los defectos presentes en el tanque de almacenamiento, caracterizados en la carencia de procesos de diseño, planeación y ejecución de los procesos constructivos. A continuación se describen las posibles causas que generaron los daños en el tanque de almacenamiento:

- No se efectuaron los ensayos de control de materiales en obra, para determinar factores de características de los mismos.



- No se efectuó el cálculo y diseño de la formaleta, encofrados o cimbras. A través de registros fotográficos se pudo evidenciar que no se colocaron los paneles (cerchas en sentido vertical) que ayuden a soportar el empuje del concreto y eviten el desplazamiento de los tableros hacia afuera. Solamente se colocaron los largueros (cerchas en sentido horizontal) de ahí el desalineamiento vertical presente en la estructural.
- Defectos o deformación de la formaleta.
- No se inspeccionó la formaleta antes del vaciado, para verificar su integridad y estabilidad.
- No se respetó la separación de barras y el recubrimiento de norma y diseño (ver anexo A: formato de inspección de campo), mediante el uso de separadores adecuados y con las precauciones detalladas en las normas. Sobre la base de que la máxima resistencia y durabilidad se obtienen cuando la masa unitaria del concreto es máxima, el grado de compactación juega un papel muy importante en el peso unitario y por lo tanto en la calidad del concreto colocado. Un alto grado de compactación genera una baja relación de vacíos y por lo tanto una baja permeabilidad con alto grado de uniformidad y resistencia. Esto es especialmente importante, en la capa de recubrimiento, para generar una barrera impermeable al concreto.
- Malas prácticas de manejo, colocación y compactación del concreto. Sobre este aspecto, deben buscarse tiempos de transporte cortos entre el sitio de producción y la obra, o uso intensivo de aditivos retardadores de fraguado (para evitar fenómenos de retemplado); y contemplar la colocación por medio de sistemas ágiles como el bombeo; junto con una vibración y curado apropiados. De acuerdo a la información suministrada por el proveedor del concreto, el tiempo de cargue y descargue del concreto desde la planta productora y el



sitio de la obra fue de 4 horas y 5 minutos en promedio, tal como se registra en el anexo R:
Registro de control de calidad del concreto.

- Mala programación en la fundición del tanque de almacenamiento. Teniendo en cuenta que las dimensiones del tanque eran considerables (14.2m de largo x 14.20m de ancho x 4m de alto x 0.33m de espesor), no se adelantó un proceso constructivo adecuado para tratar las juntas que se generarían. En el caso de prever la generación de juntas frías o juntas de construcción, se debe adelantar todo el proceso establecido en la NSR-10 (C.23-C-4.10) para garantizar la impermeabilidad de la estructura, la cual consiste en la colocación de una barrera impermeable, un relleno preformado y un sellante de junta. Tal omisión dio lugar a que se produzca el fenómeno de retemplado, ocasionado cuando el concreto en estado fresco



inicia su fase de fraguado inicial, provocando la creación de juntas de construcción, o una desvinculación directa entre la integridad de varios tipos de mezcla de concreto empleadas.

Estas irregularidades generaron las siguientes fallas:

- Filtraciones de agua a través de las juntas frías o juntas de construcción (en prueba de estanqueidad realizada). Ver anexo V: Informes técnicos y actas de obra.
- Segregación de los agregados del concreto.
- Barras de acero sin la separación y sin el recubrimiento establecido según diseño y norma.
- Porosidad de las superficies de los muros
- Pérdida de la verticalidad y alineamiento de los muros
- Cambio de color en la mezcla
- No hay uniformidad en el espesor de los muros
- No hay homogeneidad en el espesor de recubrimiento del acero de refuerzo
- Se ha demolido o rebajado sobrespesores en las caras laterales
- No hay una linealidad en el refuerzo principal
- Refuerzo transversal expuesto en la cara interna del tanque



9. RECOMENDACIONES DE INTERVENCIÓN

Teniendo en cuenta la ruta metodológica expuesta en el Capítulo 4: “Metodología”, el análisis efectuado de la información preliminar del proyecto y de la recolectada en campo desarrollado en el Capítulo 7: “Investigación preliminar” y la identificación de las patologías presentes en el tanque de almacenamiento descritas en el Capítulo 8: “Diagnóstico de los daños”, se contempla las recomendaciones de intervención suministradas en la ACI 201.2R “Guía para la durabilidad del hormigón”.

Para evaluar objetivamente los daños que ha sufrido una estructura es necesario determinar las causas que los provocaron. Los daños pueden ser el resultado de un diseño pobre, mano de obra deficiente, acción abrasiva mecánica, cavitación o erosión debida a la acción hidráulica, deslave, ataques químicos, reacciones químicas inherentes a la mezcla de hormigón, exposición a sales anticongelantes, corrosión de metales embebidos, o exposición prolongada a algún otro ambiente desfavorable.

La ACI 201.1R “Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service” contiene lineamientos acerca de cómo examinar y realizar inspección visual de concreto en servicio, y aplicada en el Capítulo 7: “Investigación preliminar”, específicamente en el subcapítulo “Examen de la estructura”.

Es necesario realizar preparativos previos a las intervenciones a realizar, en general es aconsejable cortar con sierra alrededor del perímetro del área donde se realizaran las reparaciones para eliminar los bordes biselados. Se obtienen mejores resultados si se mantiene un espesor mínimo de 3/4" (20 mm).



Si fuera posible, los cortes con sierra se deberían hacer con una ligera inclinación de modo que el ancho en la base del parche sea mayor que en la superficie, logrando así un mecanismo de encastre. Se deberá retirar todo el hormigón deteriorado o defectuoso. Luego se deberá limpiar exhaustivamente las superficies del hormigón, preferentemente con ayuda de un chorro de arena húmedo o chorro de agua a presión.

Si como agente adherente se utiliza un epóxico, antes de aplicar el epóxico se debería secar la superficie a reparar. A menos que el fabricante de un material especifique lo contrario, la reparación se debería realizar inmediatamente después de aplicar el agente adherente.

Generalmente para establecer la unidad entre el hormigón o mortero fresco y el hormigón de base se utilizan capas adherentes. Los materiales más utilizados en el pasado son el mortero de arena y cemento o la pasta cementicia pura. Hay mucha literatura que testimonia lo exitosos que resultan estos tratamientos cuando se siguen las prácticas recomendadas, entre las cuales tenemos la Guía ACI 502 donde se describe la utilización de resinas epóxicas como agentes adherentes y la norma ASTM C 881 que describe los diferentes tipos y grados de resina epóxica y sus diferentes aplicaciones, entre otras. También se utilizan agentes adherentes para lograr adherencia adicional como los adhesivos látex (estructurales y no estructurales) y los adhesivos epóxicos.



A menos que se consideren todos los factores que afectan el aspecto de las reparaciones del hormigón, es probable que las reparaciones no sean agradables desde el punto de vista estético. Para aquellos hormigones en los cuales el aspecto es importante se debe asegurar que la textura y el color de las reparaciones coincidan con las del hormigón circundante. Mezclando cemento blanco con el cemento de la mezcla o utilizando pigmentos cuidadosamente seleccionados, tales como endurecedores de cuarzo de gran pureza, se puede lograr que los parches tengan un color similar al del hormigón original.

Todos los concretos o morteros convencionales utilizados en las reparaciones se deben curar en húmedo de acuerdo con las recomendaciones de la norma ACI 308. Los látex pueden requerir curados especiales. Las resinas epoxi no requieren curado en húmedo.

Para decidir acerca de si una fisura se debe reparar para restablecer la integridad estructural o simplemente se la debe sellar depende, de la naturaleza de la estructura, la causa que originó la fisura, su ubicación y extensión. Si el desarrollo de la fisura alivió las tensiones que la provocaron, se puede restablecer la integridad estructural anticipando un cierto grado de permanencia. Sin embargo, en el caso de las fisuras relacionadas con las condiciones de servicio (como por ejemplo las fisuras provocadas por movimientos de las fundaciones o fisuras que se abren y cierran acompañando los cambios de temperatura), la única solución satisfactoria consiste en sellarlas con un material flexible o extensibles.



Antes de aplicar cualquier tratamiento es fundamental limpiar la fisura, retirando todo el hormigón suelto, los materiales selladores existentes y cualquier otro material extraño. El método de limpieza depende del tamaño de la fisura y de la naturaleza de los contaminantes, y puede incluir cualquier combinación de los siguientes: aire comprimido, cepillo de alambre, chorro de arena o uso de picos o herramientas similares.

Para sellar las fisuras sin restablecer la integridad estructural se requieren materiales similares a los utilizados para sellar juntas. La norma ACI 504R contiene una discusión detallada de los selladores de juntas disponibles y sus métodos de instalación. Debido a que en general el ancho de las fisuras es menor que el ancho de las juntas, muchas veces es necesario introducir algunas modificaciones a los procedimientos, tales como ensanchar la fisura con un contorneador mecánico o utilizar un material de baja viscosidad.

Las barreras protectoras se utilizan para proteger al hormigón contra la degradación que provocan los productos químicos y la consiguiente pérdida de integridad estructural, para evitar que el hormigón se manche, o para evitar que un líquido sea contaminado por el hormigón. Una barrera protectora consiste no sólo en el material de la barrera propiamente dicha, sino también en la superficie que ha de proteger, la estructura de hormigón y la fundación. La calidad del hormigón, especialmente en la superficie y cerca de la misma, afectará el comportamiento del sistema ya que afecta la capacidad del material de la barrera para comportarse de la forma anticipada. Comprender estos elementos es fundamental para lograr un comportamiento óptimo de los sistemas protectores.



Las propuestas de intervención a seleccionar contemplan el sellamiento de todas las fisuras, las juntas frías programadas y no programadas, las áreas que contemplen segregación de la mezcla de concreto (hormigqueo) y las áreas donde se removió manualmente las deformaciones en el concreto por el movimiento de la formaleta.

Se recomienda como primera propuesta de intervención la implementación de un sello inyectable flexible para detener las filtraciones, siguiendo los parámetros establecido en la NSR-10 (C.23-C-4.10) para garantizar la impermeabilidad de la estructura.

Dicho sello inyectable compuesto de una resina de poliuretano, de doble componente, que inyectada a presión en fisuras o grietas en concreto, se expande formando una espuma que sella definitivamente las filtraciones, el cual detiene permanentemente el paso de agua, que se filtra a través de concreto agrietado o con hormigueros, juntas de construcción o de dilatación, aplicable en tanques de almacenamiento. Este sello será inyectado en todas las juntas constructivas o juntas frías, y en todos los sectores de segregación de mezcla.



Posterior al sello inyectable se realizará un sello de juntas de alto desempeño, el cual es un sistema para sellado de juntas de construcción, expansión (movimiento), contracción y conexión, así como para sellado de grietas. Cuando se fija a la junta, permite movimientos grandes e irregulares en más de una dirección, manteniendo un sello impermeable de alta calidad. Se recomienda un sistema de cinta impermeable de poliolefina (TPO) flexible con un adhesivo epóxico de alta adherencia para su instalación. Este sistema de sello de juntas se utilizara en todas las juntas constructivas o juntas frías después de realizar el sello inyectable, y específicamente en todas las caras internas del tanque de almacenamiento, aunque se recomienda de igual forma en las caras exteriores del mismo, aunque cabe la salvedad que el tanque al ser superficial no está en contacto con agentes externos contaminantes; por ende permitiendo que la estructura sea impermeable exteriormente con el sello inyectable y los sistemas de protección ante agentes ambientales.

Se recomienda realizar una intervención en la cara interna y externa del tanque de almacenamiento a través de un recubrimiento uniforme; sin tener en cuenta la falta de alineamiento de la estructura como factor indispensable que afecte directamente la durabilidad del tanque de almacenamiento. Dicha actividad consiste en un recubrimiento impermeable para tanques sometidos a presión y movimiento; un mortero modificado, semiflexible, el cual es un mortero de dos componentes con base en cemento y polímeros modificados, para recubrimientos impermeables, listo para aplicar, cuya ventaja es su flexibilidad e impermeabilidad, excelente adherencia, no es corrosivo, ni inflamable o tóxico, y que sea apto para estar en contacto con agua potable.



De igual forma y específicamente para la cara externa del tanque de almacenamiento, se recomienda la instalación; sobre el mortero modificado, de un repelente de agua de gran durabilidad, con el objeto de proteger contra la penetración de agua lluvia y prolongar la vida útil del mortero modificado ante los agentes ambientales. Se recomienda una pintura epóxica transparente de gran durabilidad, permite que la superficie respire, evita que los muros absorban agua lluvia, no altera la apariencia, y protege las caras exteriores del muro de almacenamiento de la suciedad, polvo, hollín y de esta forma disminuye los costos de mantenimiento a largo plazo.

Otra propuesta con el fin de generar la verticalidad de la estructura en las caras exteriores, junto con el alineamiento del mismo, es generar; adicional al sistema de protección de mortero modificado en la cara exterior, una fachada liviana en materiales prefabricados de alta durabilidad generando una construcción liviana en seco. Se recomienda la implementación de productos prefabricados, teniendo en cuenta el sistema de instalación de anclaje del sistema liviano a la estructura de almacenamiento, el cual debe contemplar un anclaje de piso a techo, que sea aislado de las superficies del tanque para evitar pérdida de durabilidad en el concreto.

En este orden de ideas y teniendo en cuenta la gran importancia de realizar el sello de los sistemas hidráulicos pasantes en el concreto, para ello es necesario emplear un sello expandible polimérico, que es un sellante de poliuretano monocomponente, expandible en contacto con agua, para sellado por presión en juntas de construcción, que no sea contaminante o apto para estar en contacto con agua potable.



Cabe resaltar que a la ausencia del detalle de las escaleras de acceso a las cámaras internas del tanque, es necesario generar un sistema de protección ante la corrosión de las varillas de refuerzo instaladas en la estructura, emplear un sistema de pintura epóxica de alta durabilidad para que el proceso de oxidación no penetre el acero de refuerzo principal del tanque, y evitar futuras patologías ocasionadas por el proceso de oxidación.

A continuación se presenta un resumen general del procedimiento de inyección del sello flexible, sello de juntas de alto desempeño y mortero modificado. Cabe resaltar que todos los trabajos realizados a nivel de rehabilitación es necesario realizarlo por personal calificado y supervisado por personal técnico que cumpla con los requerimientos de supervisor técnico de acuerdo al reglamento NSR-10. Del éxito de los procedimientos constructivos y técnicas empleadas, depende el nivel de resultado esperado y el nivel de servicio de la estructura.

Inyección Con Boquillas Ancladas

Uno de los procedimientos de reparación potencialmente efectivos consiste en inyectar las grietas con resina epóxica a presión. El procedimiento de inyección variará en función de la aplicación y localización de las grietas, además las grietas horizontales, verticales o “sobre-cabeza” requieren algunos enfoques de aplicación diferentes. El enfoque que se utilice debe considerar también la accesibilidad a la superficie agrietada y el tamaño de la fisura.

Las grietas pueden ser inyectadas desde uno o ambos lados de un elemento de concreto. Si el acceso está limitado a un lado solamente, los procedimientos de aplicación pueden incluir variaciones en la viscosidad de la resina epóxica, el equipo de inyección, la presión de inyección y el espaciamiento de los puertos de inyección para asegurar una completa penetración de la resina en la fisura.



El objetivo principal de este tipo de reparación para el tanque de almacenamiento, es restaurar la resistencia a la penetración de humedad del elemento de concreto; dónde los métodos convencionales de reparación no pueden penetrar y distribuir el producto de reparación específico en la fisura.

Se procede antes de la instalación de la resina epóxica, se debe limpiar el área de la superficie de aproximadamente 13 mm de ancho a cada lado de la fisura. Esto se realiza para asegurar que los materiales que se utilicen para sellar se adhieran adecuadamente al concreto. Se recomienda usar cepillos de alambre ya que los esmeriladores mecánicos pueden provocar que polvo indeseable penetre en la fisura. También pueden eliminarse contaminantes usando agua a alta presión, aire comprimido “sin aceite”, o aspiradoras eléctricas. Cuando utilice agua para limpiar la fisura, sople aire caliente o comprimido, sin aceite, en la fisura para acelerar el secado. De lo contrario, hay que dar tiempo suficiente para que se seque naturalmente antes de inyectar las resinas epóxicas que son sensibles a la humedad.

La especificación de la ASTM C881, “Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete,” identifica los criterios básicos para la selección del grado y clase de las resinas a usar, como se observa en la siguiente imagen.



	Tipo I*	Tipo IV †
Viscosidad, Pa·s (centipoises)		
Grado 1 (viscosidad baja), máxima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Grado 2 (viscosidad media), mínima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Máxima	10 (10,000)	10 (10,000)
Consistencia, mm (pulg.)		
Grado 3 (sin escurrimiento), máxima	6.0 (¼)	6.0 (¼)
Tiempo de gelificación, minutos	30	30
Resistencia a la adhesión, mínimo, MPa (psi)		
2 días, curado en húmedo [‡]	7.0 (1000)	7.0 (1000)
14 días, curado en húmedo	10.0 (1500)	10.0 (1500)
Absorción, 24 horas máximo, %	1	1
Temperatura de deflexión por calor, °C (°F)		
7 días mínimo	—	50 (120)
Coeficiente lineal de retracción		
Al curar, máximo	0.005	0.005
Resistencia a la fluencia bajo compresión, MPa (psi)		
7 días mínimo	55.0 (8000)	70.0 (10,000)
Módulo de compresión, mínimo	1000 (150,000)	1400 (200,000)
Resistencia a la tensión, 7 días mínimo	35.0 (5000)	50.0 (7000)
Elongación a la ruptura, mínimo, %	1	1
*Tipo I: para usarse en aplicaciones que no están bajo carga.		
†Tipo IV: para usarse en aplicaciones que soportan carga.		
Fuente: ASTM C881, Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete.		
‡Los sistemas curados por humedad deben someterse a prueba, ensamblando las secciones que se van a adherir antes de sumergirlas en agua.		

Figura 13 Requisitos del estándar ASTM C881 para las resinas epóxicas que se utilizan para la adhesión de concreto endurecido a concreto endurecido.

Para secciones de concreto mayores de 305 mm, se puede necesitar un tiempo de aplicación mayor con una viscosidad menor, conforme la fisura disminuye de tamaño.

Además de los criterios utilizados en la anterior figura para la selección de la resina epóxica, también deberán considerarse las siguientes características del producto; el módulo de elasticidad (rigidez), tiempo de trabajabilidad de la mezcla epóxica, tolerancia a la humedad, color, y resistencias a la compresión, flexión y tensión.



Las resinas epóxicas son materiales peligrosos y deben tratarse como tal, hay que realizar prácticas de seguridad de protección en obra.

A continuación se detalla los procedimientos de reparación, para la instalación de resinas epóxicas de acuerdo a los procedimientos establecidos en el boletín 1 de RAP del ACI “Reparación de Grietas Estructurales por Inyección de Resinas Epóxicas”.

Instalación de los puertos de entrada: Instale los puertos de entrada únicamente después de haber preparado la superficie en forma adecuada. Existen dos tipos de puertos de entrada disponibles para el proceso de inyección, montado en la superficie; o montado en la boquilla.

Los puertos de entrada (también llamados adaptadores de puerto) pueden ser cualquier dispositivo similar a un tubo que permite la transferencia efectiva de la resina epóxica bajo presión en la grieta. Existen también pistolas de inyección patentadas con boquillas especiales con empaque para usarse sin los adaptadores de puertos. El espaciamiento entre los puertos es típicamente de 200 mm de centro a centro, con un espaciamiento mayor para fisuras más anchas. El espaciamiento de los puertos puede también depender del espesor del elemento de concreto.

Los puertos de entrada montados en la superficie son normalmente adecuados para la mayoría de las fisuras, pero los puertos montados en boquillas se utilizan cuando las fisuras están bloqueadas, como es el caso del concreto calcificado. Los puertos de entrada pueden también conectarse por un sistema múltiple cuando la inyección simultánea de múltiples puertos representa una ventaja.

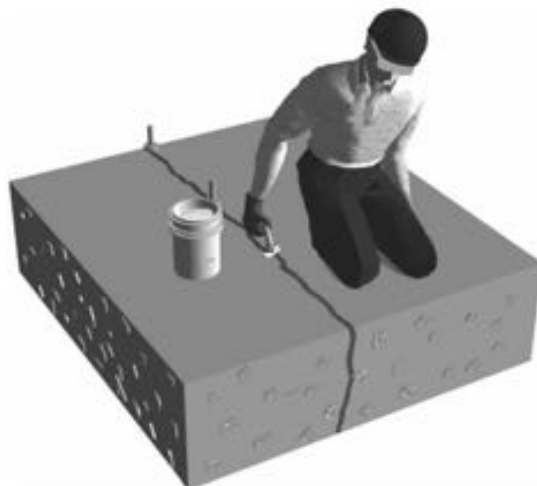


Figura 14 Instalación de puertos de entrada, figura fuente RAP-1 ACI.

Instalación de sello externo: Si se instaló en forma adecuada, el sello externo retendrá la resina epóxica conforme se inyecta bajo presión dentro de la fisura. Cuando las fisuras penetran a través de una sección, los sellos externos trabajan mejor cuando se instalan a ambos lados del elemento agrietado, asegurando la contención de la resina epóxica.

Los sellos externos se han instalado exitosamente usando resinas epóxicas, poliésteres, ceras de parafina y selladores de silicón. Para la selección del material del sello externo, deberán considerarse los siguientes criterios, sujetos al tipo de fisura por reparar; consistencia sin escurrimiento (para elementos verticales o “sobre-cabeza”); tolerancia a la humedad; tiempo de trabajabilidad de la mezcla epóxica; y rigidez (módulo de elasticidad).

Cambios en la temperatura del concreto después de la instalación del sello externo, pero antes de la inyección, pueden causar que el sello externo se agriete. Si esto sucede, el sello externo debe repararse antes de inyectar la resina epóxica.

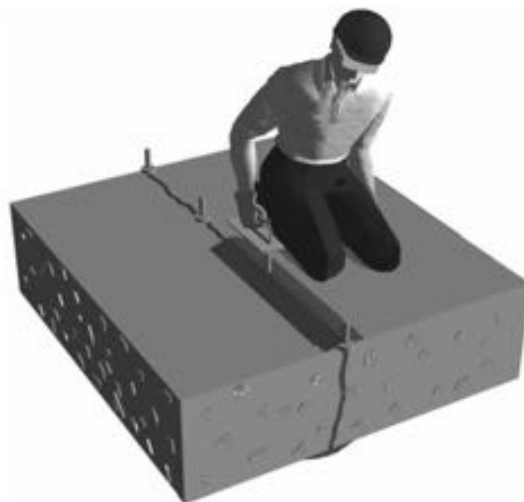


Figura 15 Instalación del sello externo final, figura fuente RAP-1 ACI.

Inyección de resina epóxica: Para la inyección exitosa de la resina epóxica, hay que empezar con una dosificación y mezclado adecuados de los componentes epóxicos apegándose estrictamente a los requisitos del fabricante. Antes de iniciar con la inyección, se debe asegurar que el sello externo y el adhesivo del adaptador del puerto se hayan curado adecuadamente de tal forma que puedan soportar las presiones de inyección.

Las fisuras verticales son inyectadas de la parte inferior hacia la parte superior, se continúa la inyección hasta que se rebose. Si un puerto adyacente empieza a rebosar, hay que tapar el puerto que se está inyectando y continuar la inyección en el puerto más lejano del que este brotando resina.

Cuando la inyección en el puerto se completa, se tapa inmediatamente. Se pueden usar presiones mayores para inyectar fisuras muy estrechas o aumentar la velocidad de inyección. Sin embargo, se debe tener cuidado al usar presiones mayores para prevenir que el sello externo o los puertos se revienten.

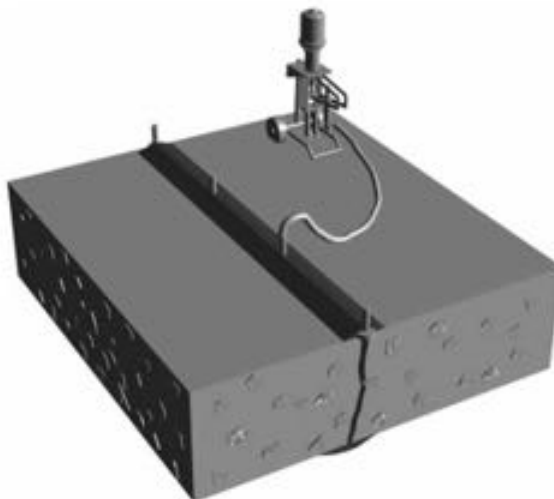


Figura 16 Inyección en el segmento más ancho de la fisura, hasta que ya no entre más resina y se rebose, figura fuente RAP-1 ACI.

Retiro de los puertos y el sello externo: Al terminar el proceso de inyección, se procede a retirar los puertos y el sello externo por calentamiento, cincelando o esmerilando. Si la apariencia no es objetada, el sello externo puede dejarse en su lugar. Si se requiere quitarlo por completo para aplicar posteriormente un recubrimiento más estético, prepare la superficie de concreto por esmerilado.

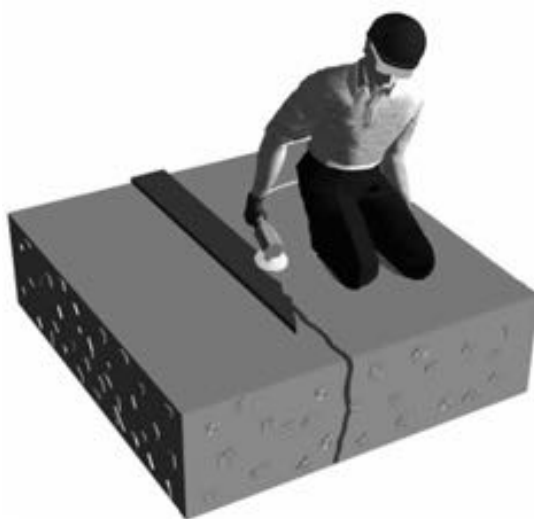


Figura 17 Retiro del sello externo, figura fuente RAP-1 ACI.



Este método de inyección es normalmente utilizado para sellar fisuras con presencia de agua (a presión o sin presión). Se utilizan unas boquillas que se anclan a los lados de la fisura a inyectar, previa perforación con un taladro hasta interceptar la fisura.

El objetivo en este tipo de inyecciones es que la resina reaccione con el agua que sale por la fisura y la selle. Los poliuretanos expandibles pueden aumentar su volumen entre 20 y 40 veces el volumen inicial. En algunos casos se utilizan resinas acrílicas (no expandibles) que forman un sello flexible más permanente.

Instalación de la Cinta Impermeable de Poliolefina (TPO) Semiflexible con Adhesivo Epóxico

Este procedimiento se emplea para la protección del sello inyectable, empleando una cinta de poliolefina (TPO) semiflexible que permita movimientos bidireccionales, en el caso de las fisuras superiores a 1mm, el centro de la cinta no debe ser pegado al sustrato; en dicho caso, se debe aplicar una cinta de enmascarar sobre la fisura y a ambos lados de la junta antes de aplicar el adhesivo, para garantizar la libertad de adherente en la fisura.

Se procede aplicar el adhesivo epóxico a ambos lados de la junta sobre el sustrato preparado previamente, usando una llana apropiada. Si el sustrato de concreto se encuentra húmedo, restriegue bien el adhesivo sobre el sustrato.

El espesor de la capa de adhesivo debe ser de 1mm a 2mm y el ancho a cada lado de al menos 40 mm. Antes de colocar la cinta impermeable de poliolefina (TPO), se remueve la cinta de enmascarar del centro de la junta de expansión o fisura. Posteriormente se aplica la cinta impermeable de poliolefina (TPO) antes del tiempo abierto del adhesivo.



Se presiona firmemente la cinta contra el adhesivo y se elimina el aire atrapado con la ayuda de un rodillo apropiado. El adhesivo debe rebasar por ambos lados de la cinta en aproximadamente 5mm. En caso de esperar o presentar grandes movimientos en la junta, coloque la cinta como un fuelle en el interior de la junta.

Se deja que la capa base de adhesivo endurezca levemente antes de aplicar la capa superior. Se debe aplicar el adhesivo en un espesor de aproximadamente 1mm en ambos lados de la junta o fisura, cubriendo los extremos y terminando en casi cero. Seguidamente, se remueve las cintas de enmascarar de los extremos de la cinta para asegurar la terminación precisa. La capa superior de adhesivo puede ser alisada con una brocha usando detergente diluido, en el momento en que se inicia el curado. No se debe aplicar detergente si se aplicará otra capa posteriormente. Cuando se sellen fisuras menores a 1mm de ancho, la cinta puede ser completamente cubierta con el adhesivo epóxico, de esta forma también se otorgará protección mecánica. En la siguiente figura se detalla los pasos explicados.

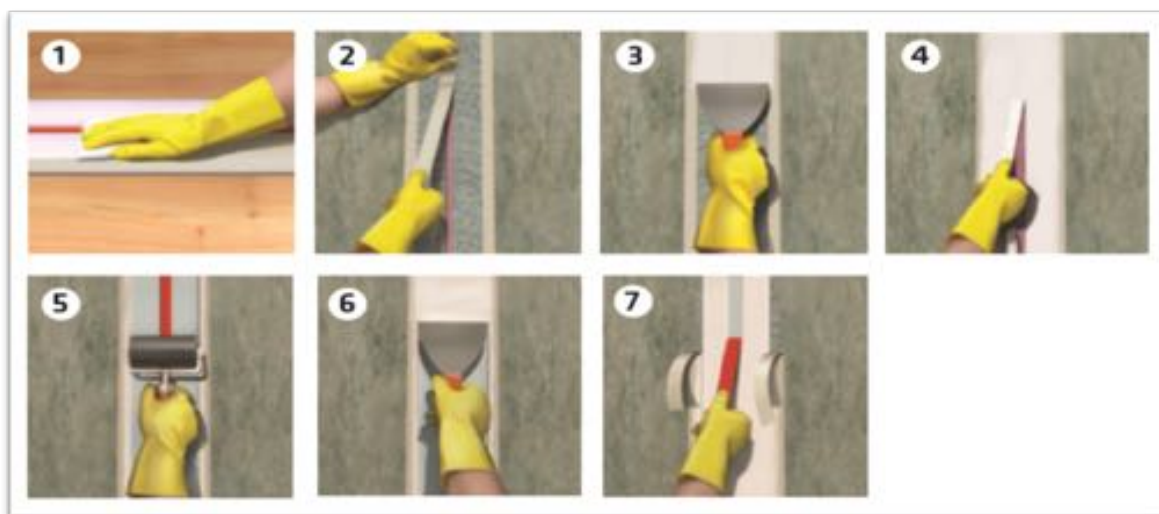


Figura 18. Proceso de instalación de cinta impermeable de poliolefina (TPO) flexible con adhesivo epóxico, imagen de fuente productos SIKA.



Aplicación de Mortero Modificado de Dos Componentes con Base en Cemento y Polímeros Modificados

Para la aplicación del mortero modificado con polímeros, se debe garantizar que la superficie debe estar completamente limpia, sin partes sueltas o mal adheridas, totalmente exenta de pintura, grasa, aceites, y sustancias extrañas. Previo a la aplicación del mortero deberá humedecerse la base con agua evitando empozamientos (saturada, superficialmente seca).

Se aplica con una brocha o cepillo de fibra de nylon, llana metálica o esponja el mortero modificado con polímeros sobre la superficie de forma uniforme. Se aplica el mortero como una capa densa, no como una capa delgada de pintura, y se reparte uniformemente, conservando el sentido de la aplicación para lograr un buen acabado. Se deben aplicar dos capas de producto, la segunda capa se aplica después de 12 horas de haber aplicado la primera, garantizando en sus aplicaciones el espesor deseado.

Cabe resaltar que las alternativas de sello de juntas constructivas con inyección de polímeros expandibles y recubrimiento con mortero modificado es de carácter obligatorio, para garantizar el nivel de servicio del tanque de almacenamiento; pero de igual forma se recomienda elevar el nivel de durabilidad de la estructura, empleado todas las alternativas propuestas anteriormente y las necesarias para generar una vida útil recomendada a la estructura, por esta razón se propone dentro de esta alternativa el revestimiento con mortero modificado con aditivo de látex para mejorar la impermeabilidad, la trabajabilidad, la resistencia a tracción, a flexión y la adherencia; de las caras exteriores del muro, igualmente mejorando el aspecto visual de la estructura.

A continuación se presenta el presupuesto general de la primera propuesta de intervención:



PRESUPUESTO GENERAL - PROPUESTA DE INTERVENCIÓN 1

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Preparación Previa				
1.1	Lavado Interno y Externo de Tanque (Mecánico con agua a alta presión)	M2	513.8	\$ 2,640	\$ 1,356,432
1.2	Secado de juntas constructivas (Mecánico con aire a presión)	M	545.0	\$ 2,105	\$ 1,147,225
1.3	Secado de áreas de segregación de la mezcla de concreto (Mecánico con aire a presión)	M2	20.9	\$ 12,140	\$ 253,726
2	Sistema de Impermeabilización Principal				
2.1	Sellado de juntas constructivas con resina epóxica inyectable flexible (Expandible en contacto con agua con un rendimiento de 1Kg/m)	M	545.0	\$ 211,448	\$ 115,239,160
2.2	Impermeabilización de junta con sellado de alto desempeño (Cinta poliolefina TPO flexible 150mm con adhesivo epóxico de alta adherencia)	M	545.0	\$ 130,602	\$ 71,178,090
2.3	Revestimiento impermeable con mortero modificado espesor 10mm para caras internas del tanque (Polimeros con un rendimiento de 2Kg/m2/mm)	M2	460.8	\$ 66,541	\$ 30,662,093
2.4	Revestimiento con mortero modificado espesor 30mm para caras externas del tanque (Aditivo de latex de ultima generación como puente de adherencia y mejorador de mortero)	M2	227.2	\$ 34,253	\$ 7,782,282
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 227,619,007
AUI 30%					\$ 68,285,702
TOTAL PROPUESTA DE INTERVENCIÓN 1					\$ 295,904,709

Figura 19. Presupuesto general de la primera propuesta de intervención

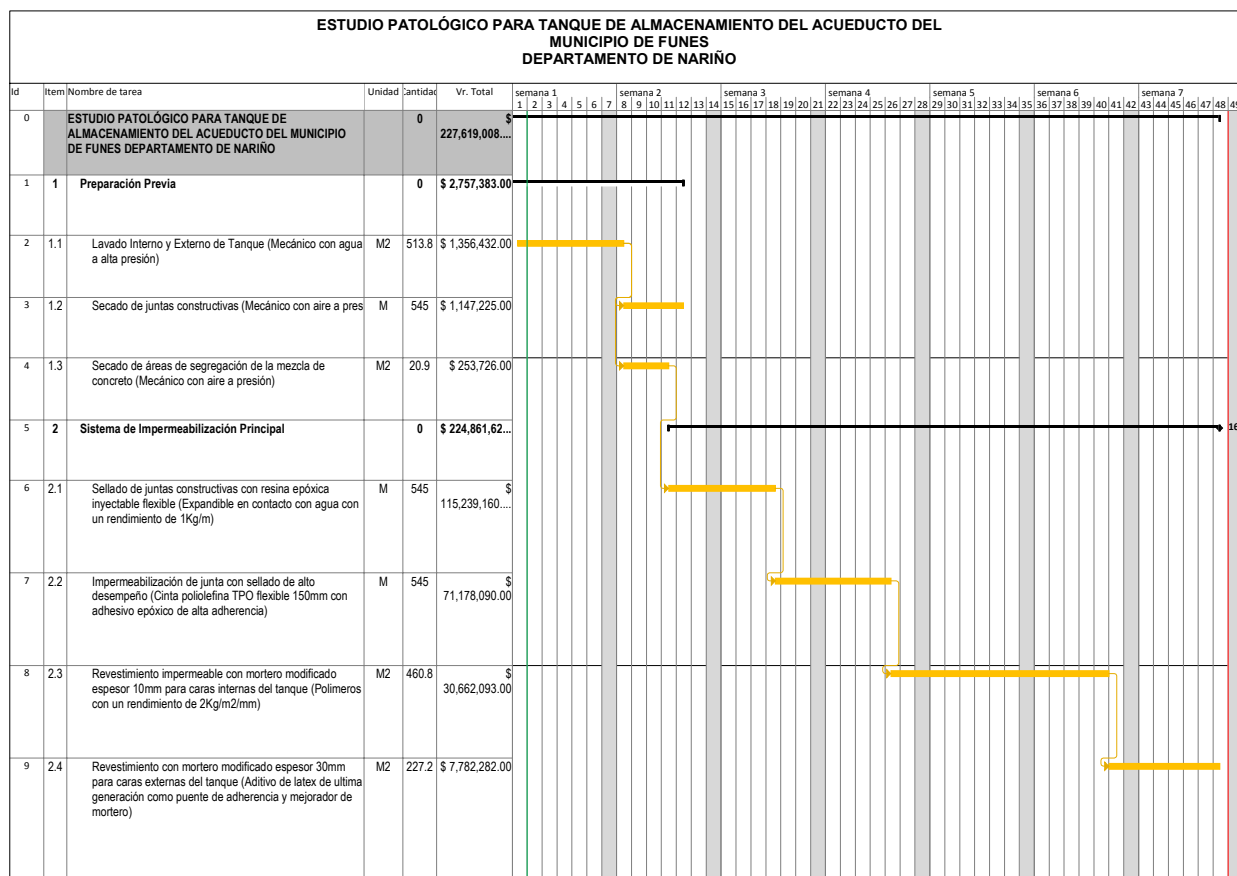


Figura 20. Cronograma de ejecución de la primera propuesta de intervención.

La segunda propuesta de intervención consiste en la impermeabilización del tanque de almacenamiento a través de la instalación de una membrana a base de PVC plastificado y reforzado con armadura de poliéster apto para tanques de almacenamiento de agua potable.

Se debe iniciar con el sellado de todas las juntas constructivas programadas y no programadas mediante el uso de una masilla de sellado elástica y adhesiva, con base en poliuretano, que cura con la humedad del medio ambiente.

Para esto, se debe diseñar una junta a lo largo de las fisuras con un ancho de junta de $\geq 10\text{mm}$ y $\leq 40\text{mm}$. La relación ancho profundidad debe ser 2:1.



Una vez preparada la superficie, es decir, cuando esté limpia, seca, homogénea, libre de aceites, grasas o material particulado, se aplica la masilla de sellado con pistola de calafeteo, colocando la boquilla de la pistola en el fondo de la junta y rellenando la totalidad de la junta, manteniendo la boquilla profundamente entre el sellante en contacto con el fondo de junta y continuar con un flujo estable de sellante para evitar atrapar aire. La masilla de sellado debe alisarse firmemente de modo tal que quede en completo contacto con la totalidad de la superficie, para asegurar buena adherencia. Se recomienda usar cinta de enmascarar para proteger las áreas que no deben quedar en contacto con el sellante. Para el alisado no emplear productos que contengan solventes.

El procedimiento debe realizarse a lo largo de todas las juntas constructivas programadas y no programadas del tanque de almacenamiento.

A continuación se realizará la aplicación de un mortero de nivelación cementoso modificado con resina acrílica, de consistencia pastosa, con altas resistencias mecánicas y gran adherencia al soporte en todas las caras internas del tanque de almacenamiento.

Para esto, la superficie debe estar rugosa, sana, limpia (libre de grasa, polvo, lechada de cemento u otras sustancias extrañas). Antes de la aplicación del mortero se debe saturar la superficie con agua, evitando empozamientos.



El área de aplicación del mortero de nivelación debe ser imprimada previamente con una pequeña cantidad del mismo mortero, frotándolo fuertemente contra la superficie con la mano enguantada. Esperar entre cinco y diez minutos y proceder a la aplicación del mortero en capas sucesivas de máximo 2 cm. Después de aplicar una capa dejar la superficie rugosa y esperar aproximadamente 20 minutos antes de colocar la siguiente. El afinado se hace con llana metálica o de madera. Se realizará la aplicación del mortero hasta alcanzar un espesor de 4 cm que permita uniformizar la superficie al interior y al exterior del tanque al igual que resanar sus filos.

Finalmente se realiza la instalación de la membrana a base de PVC plastificado y reforzado con armadura de poliéster de la siguiente manera. Toda la superficie del tanque de almacenamiento debe estar sana y resistir los anclajes que se instalaran, es necesario eliminar protuberancias que puedan afectar o punzar la membrana, de ahí la importancia de realizar el resane antes mencionado para dar uniformidad a estas superficies. Debe estar limpia, se recomienda que el tanque este completamente desocupado.

Para evitar la ruptura de la membrana en los cambios de plano, es necesario sellar las uniones muro piso con un sello elastomérico impermeable generando un ángulo de 45 grados para conformar la media caña, se debe asegurar una altura mínima de 2 cm. Se debe dejar curar el sellante en las medias cañas de 48 a 72 horas antes de colocar la impermeabilización.

Con el fin de proteger la membrana de posibles punzonamientos y de los esfuerzos que genera la cabeza de presión, es necesario colocar un geotextil no tejido de mínimo 1800 micras sobre el concreto antes de instalar la membrana, este debe ir adherido con un adhesivo tipo bóxer o similar.



La membrana debe sellarse por termofundido generando un traslapo de mínimo 5 cm de ancho, se recomienda utilizar equipos adecuados de calor para realizar las uniones, inmediatamente se debe ejercer presión sobre la soldadura con un rodillo de neopreno para mejorar la unión de las dos membranas. Es totalmente necesario realizar un control estricto del traslapo con el fin de asegurar una unión adecuada.

Cuando se realiza la impermeabilización con la membrana esta debe ser anclada en los perímetros a una altura mayor al máximo nivel de agua del tanque. Es necesario colocar los perfiles alrededor de todo el perímetro anclándolo cada 10 a 15 cm y luego termofundiendo la membrana, esta se debe cortar al ras de la terminación del perfil.

Se recomienda realizar un plan de colocación de la membrana con el fin de tener la menor cantidad de traslapes posibles. Realizar un lavado final de la membrana con un jabón de pH neutro y una escoba de cerdas suaves antes de ponerla en servicio, igualmente se debe realizar un mantenimiento de igual forma mínimo cada año e incluir una revisión de los sellos de poliuretano de todo el perímetro. Se debe hacer una prueba de estanqueidad después de que se hayan realizado las labores de limpieza. La inundación debe ser mínimo por 48 horas. Mantener buena ventilación durante la colocación.

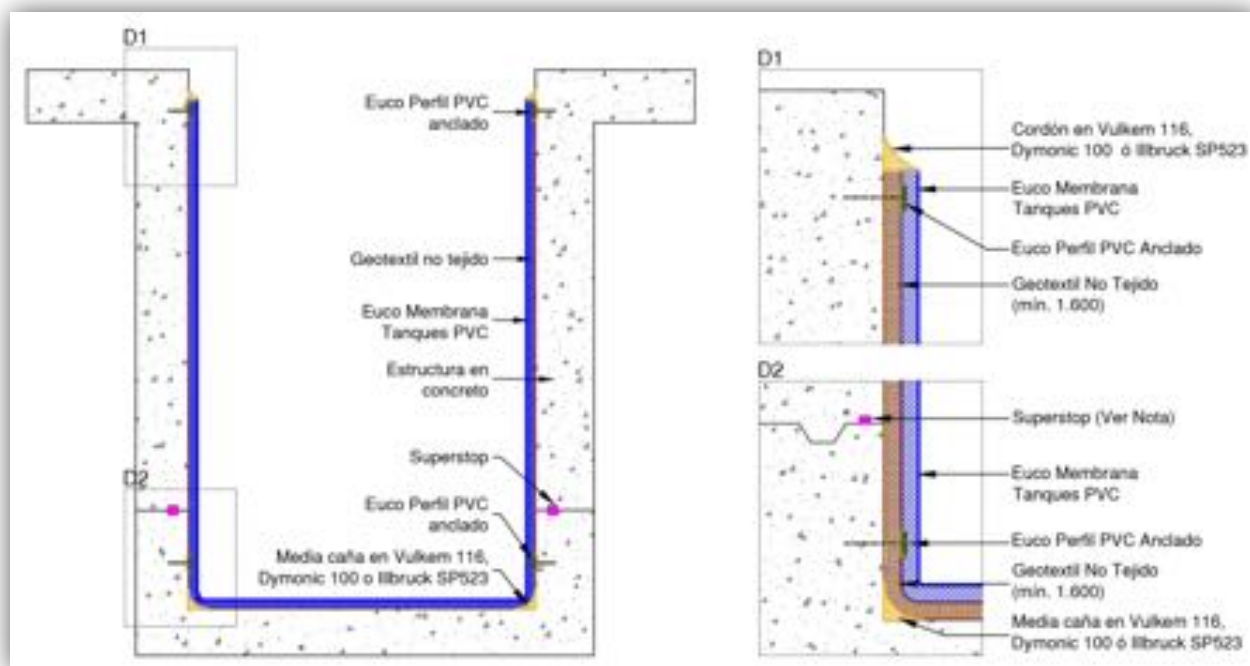


Figura 21 Detalles constructivos instalación membrana a base de PVC plastificado y reforzado con armadura de poliéster, imagen de fuente productos Toxement.

A continuación se presenta el presupuesto general de la segunda propuesta de intervención:



PRESUPUESTO GENERAL - PROPUESTA DE INTERVENCIÓN 2

ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Preparación Previa				
1.1	Lavado Interno y Externo de Tanque (Mecánico con agua a alta presión)	M2	513.8	\$ 2,640	\$ 1,356,432
1.2	Secado de juntas constructivas (Mecánico con aire a presión)	M	545.0	\$ 2,105	\$ 1,147,225
1.3	Secado de áreas de segregación de la mezcla de concreto (Mecánico con aire a presión)	M2	20.9	\$ 12,140	\$ 253,726
2	Sistema de Impermeabilización Principal				
2.1	Sellado de juntas constructivas con masilla de sellado elástica y adhesiva con base en poliuretano (Se cura en contacto con el medio ambiente)	M	545.0	\$ 239,359	\$ 130,450,655
2.2	Revestimiento con mortero de nivelación cementoso modificado con resina acrílica 4mm para caras internas del tanque	M2	460.8	\$ 61,850	\$ 28,500,480
2.3	Revestimiento impermeable con membrana de PVC reforzada con poliéster para las paredes internas del tanque (Con sistema de anclaje, sello elastomérico impermeable de alto desempeño y protección de membrana con geotéxtil no tejido)	M2	286.6	\$ 176,774	\$ 50,663,428
2.4	Revestimiento impermeable con membrana de PVC reforzada con poliéster para placa de piso del tanque (Con protección de membrana con geotéxtil no tejido)	M2	174.2	\$ 123,742	\$ 21,555,856
2.5	Sello de uniones muro piso con sello elastomérico impermeable generando ángulo de 45 grados (Media caña)	M	79.6	\$ 64,688	\$ 5,149,165
2.6	Revestimiento con mortero modificado espesor 30mm para caras externas del tanque (Aditivo de latex de última generación como puente de adherencia y mejorador de mortero)	M2	227.2	\$ 34,253	\$ 7,782,282
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 246,859,249
AUI 30%					\$ 74,057,775
TOTAL PROPUESTA DE INTERVENCIÓN 2					\$ 320,917,024

Figura 22. Presupuesto general de la segunda propuesta de intervención

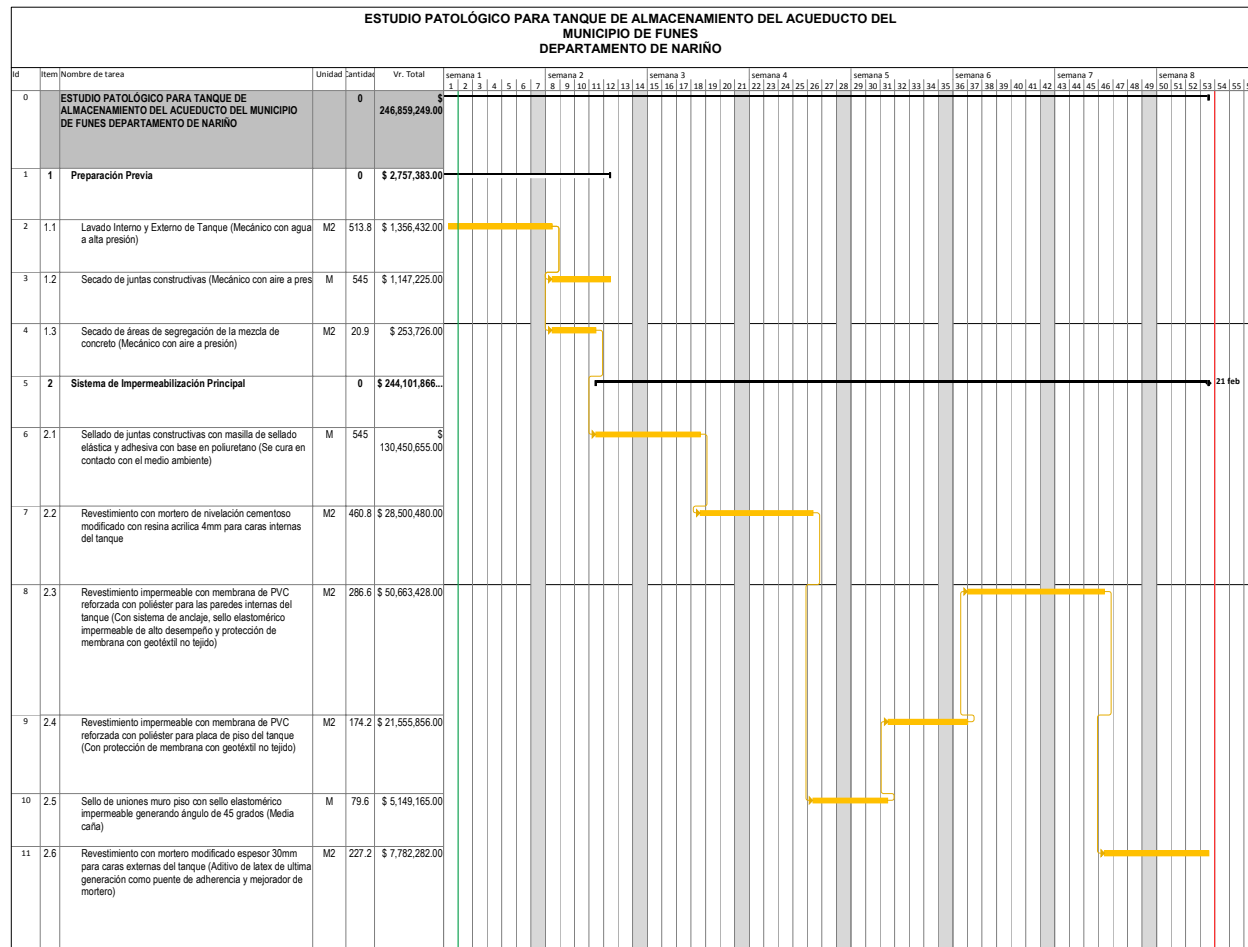


Figura 23. Cronograma de ejecución de la segunda propuesta de intervención.



10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este trabajo practico investigativo, se puede concluir lo siguiente:

- El agua es un derecho fundamental ya que se debe garantizar continuidad, calidad y cobertura, tal como lo establece la constitución política colombiana; y la falta del servicio atenta directamente a la vida de las personas.
- El estudio patológico se realizó con el fin de diagnosticar los daños presentados en el tanque de almacenamiento de agua potable del Municipio de Funes (Nariño) y de presentar alternativas de intervención que permitan rehabilitar la estructura para su óptimo funcionamiento.
- Todas las etapas que constituyen un proyecto son de vital importancia para lograr su éxito, tanto en su fase de planeación como en la de ejecución. Del proyecto en estudio queda claro que no fue suficiente con tener óptimos estudios y diseños y con emplear materiales certificados. La principal causa de los daños detectados en el tanque de almacenamiento fue el deficiente proceso constructivo adelantado por el contratista de obra y la falta de control por parte de la interventoría del proyecto.
- Dentro de las obras establecidas para la rehabilitación del tanque de almacenamiento de agua potable del Municipio de Funes (Nariño), se emplearon alternativas en las intervenciones propuestas que no generan impacto negativo al medio ambiente y no pone en riesgo de contaminación la calidad del agua potabilizada.
- Analizando las propuestas economicas de las alternativas propuestas, se concluye que las intervenciones de impermeabilización como alternativas de rehabilitación son más costosas



versus las intervenciones como alternativa dentro de los procesos constructivos. De esta forma es claro que hay que planificar y proceder dentro de la ejecución de cualquier proyecto, con los correctos y acertados procesos constructivos dentro del desarrollo del mismo, evitando de esta forma sobre costos, reprocesos y sobretiempos.

- Teniendo en cuenta el compromiso social que tiene la Alcaldía Municipal de Funes de optimizar los recursos en beneficio de la comunidad se plantearon dos alternativas de intervención en la parte técnica y económica del proyecto, que se enmarca en un proceso de rehabilitación de la estructura existente.
- Las dos propuestas de intervención son técnicamente viables; no obstante lo anterior, la primera propuesta prevalece sobre la segunda toda vez que para su implementación se invertirían menos recursos económicos, factor determinante, sobretodo, porque es una entidad pública el ente contratante.
- La intervención a ejecutarse debe realizarse por parte de personal técnicamente calificado y conocedor del tema, con una supervisión técnica permanente tanto profesional como de proveedores certificados, con el objetivo de garantizar la correcta ejecución y funcionalidad de la alternativa recomendada.
- La continuidad del proyecto en su fase final de ejecución, tanto en el desarrollo de la etapa estructural, como en la etapa de funcionalidad hidráulica y terminado de obra, debe realizarse cumpliendo todos los parámetros descritos y reglamentados en el reglamento NSR-10, sus decretos modificatorios y normas complementarias, con el fin de culminar a cabalidad y calidad el objeto contractual del proyecto. De ahí que la correcta ejecución de los procesos



constructivos como de la supervisión de los mismos es determinante en esta fase final de entrega y liquidación del proyecto.

- Se deben realizar mantenimientos periódicos sobre la estructura para preservar los elementos que la conforman y brindar la durabilidad proyectada en la etapa de diseño.
- El personal que haga el mantenimiento a la parte interna del tanque debe ser personal idóneo y capacitado, con el manejo de espacios confinados que siga a cabalidad las recomendaciones y especificaciones descritas en cada alternativa, para evitar daños o afectaciones a la estabilidad de la propuesta adoptada.



11. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 209 “Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures”
- ACI Committee 214 “Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results”
- ACI Committee 222 “Protection of Metals in Concrete Against Corrosion”
- ACI Committee 224 “Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures”
- ACI Committee 301 “Specifications for Structural Concrete”
- ACI Committee 302 “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”
- ACI Committee 350 “Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures (ACI 350-01) and Commentary (ACI 350r-01)”
- ACI Committee 365 “Service-Life Prediction – State-of-the-Art Report”
- ACI Committee 546 “Concrete Repair Guide”
- ACI Committee 546 “Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete”
- ACI Committee 201 “Guide to Durable Concrete”
- ACI Committee 201 “Guía para la Durabilidad del Hormigón”
- ACI Committee 503 “Guide for the Selection of Polymer Adhesives with Concrete”
- ACI Repair RAP
- Reglamento NSR-10
- Normas Técnicas NTC
- Asocreto - Colección del Concreto “Durabilidad y Patología”



- Normas ASTM
- Manual de productos SIKA
- Manual de productos TOXEMENT