
Estudio Patológico Tanque de Almacenamiento de Agua Potable

ESPINA & DELFÍN COLOMBIA



Carlos Alberto Parra Valencia
Ingeniero Civil



**ESTUDIO PATOLÓGICO
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE**

**ELABORADO POR:
ING. CARLOS ALBERTO PARRA VALENCIA**

**ELABORADO A:
ESPINA & DELFÍN COLOMBIA**



**MUNICIPIO DE TADÓ
DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ**

QUIBDÓ, MAYO DE 2016

TABLA DE CONTENIDO

i. INTRODUCCIÓN	7
ii. JUSTIFICACIÓN	8
iii. ALCANCE	9
iv. OBJETIVOS	10
a. GENERAL	10
b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. PREPARACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
3. HISTORIA CLÍNICA	13
3.1 DATOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO	13
3.1.1 NOMBRE DE QUIEN REALIZA EL ESTUDIO	13
3.1.2 FECHA DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO	13
3.1.3 RESPONSABLES DEL ESTUDIO	13
3.2 DATOS GENERALES DEL PACIENTE	14
3.2.1 NOMBRE	14
3.2.2 FECHA DE CONSTRUCCIÓN	14
3.2.3 LOCALIZACIÓN	14
3.2.4 DIRECCIÓN	21
3.2.5 PROPIETARIO	22
3.2.6 USO ACTUAL Y PREVISTO	22
3.2.7 IMPORTANCIA	22
3.2.8 SISTEMA ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO	23
3.2.9 NORMATIVA ACTUAL QUE LO RIGE	23
3.3 <i>DATOS GENERALES DEL ENTORNO</i>	24
3.3.1 EDIFICACIONES U OBRAS VECINAS	24
3.3.2 MEDIO AMBIENTE	24
3.4 DATOS ESPECÍFICOS DEL PACIENTE	46
3.4.1 ÁREA TOTAL	46
3.4.2 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	46
3.4.3 ALTURA TOTAL	46
3.4.4 NORMATIVA QUE REGLAMENTO LA CONCEPCIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS.	46
3.4.5 INTERVENCIONES PREVIAS	47
3.4.6 LICENCIAS DE CONSTRUCCIÓN OTORGADAS EN EL TIEMPO ..	47
3.4.7 PLANES ESPECÍFICOS QUE SE TIENEN (TIPO DE INTERVENCIÓN, USO PROYECTADO, ETC.)	47

3.4.8	TIPO DE INFORMACIÓN EXISTENTE PARA EL ESTUDIO:.....	47
3.5	REVISIÓN DEL SUELOS DE FUNDACIÓN	49
3.6	LA ESTRUCTURA	53
3.6.1	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	53
3.6.2	CONSTATACIÓN DE LA FIDELIDAD DE LOS PLANOS.	53
3.6.3	CONSTATACIÓN DEL RESPETO DE LA NORMATIVA A LA FECHA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	53
3.6.4	ANÁLISIS DE CARGAS	53
3.6.5	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL TANQUE	54
3.7	RESULTADO DEL ESTUDIO	60
4.	DIAGNOSTICO	67
4.1	GEOMETRÍA.....	67
4.2	MATERIALES	68
4.3	CAUSAS COMPROBADAS DE LAS LESIONES.....	69
4.3.1	Fisuras Longitudinales:.....	69
4.3.2	Fisuras Verticales:	69
4.4	ENSAYOS, PRUEBAS O SEGUIMIENTOS COMPLEMENTARIOS	71
5.	ALTERNATIVAS TANQUE NUEVO.....	74
5.1	Alternativa 1: Tanque en concreto Reforzado.	74
5.2	Alternativa 2: Tanque en Vidrio Fusionado al acero.....	76
5.3	Análisis de Alternativas	78
6.	CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO	79
v.	BIBLIOGRAFÍAS.....	81
	ANEXOS	82
	ANEXOS	83
	ANEXOS	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estructura económica y composición sub sectorial.....	18
Tabla 2 Niveles de ingreso del municipio de Tadó año 2008.....	19
Tabla 3 Ingresos por Hogar	19
Tabla 4 Información sobre aspectos físicos. Municipio de Tadó.....	20
Tabla 5 Edificaciones u obras vecinas.....	24
Tabla 6 Parámetros Geotécnicos y Sísmicos	51
Tabla 7 Evaluación de cargas actuantes en el tanque de almacenamiento de agua potable.	53
Tabla 8 Parámetros de Diseño	59
Tabla 9 Solicitaciones en las paredes del tanque.	62
Tabla 10 Cortante en Fondo de Muros	63
Tabla 11 Cortante en Borde de Muros.....	64
Tabla 12 Revisión de esfuerzos en los muros del tanque.....	64
Tabla 13 Revisión de los esfuerzos en el suelos de cimentación.	65
Tabla 14 Dimensiones alternativas para el tanque de almacenamiento nuevo.	74
Tabla 15 Costos estimados	75

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Localización del municipio de Tadó en el Departamento del Chocó..	15
Ilustración 2 Localización general del tanque de almacenamiento.	15
Ilustración 3 Ubicación del tanque de almacenamiento de agua potable.	22
Ilustración 4 Fuente: Consorcio ESSMIN.....	25
Ilustración 5 Zonas de Amenaza Sísmica (Fuente: NSR-10).....	27
Ilustración 6 Detalle de la zonificación sísmica para el Departamento del Chocó .	28
Ilustración 7 Zonas de amenaza sísmica, tomada de la NSR-10.....	55
Ilustración 8 Datos de entrada. Software Modulo Losas NSR-10.	60
Ilustración 9 Cortante en la losa. Software Modulo losa NSR-10.....	61
Ilustración 10 Momento en la losa. Software Modulo losa NSR-10.	61
Ilustración 11 Resultado de la revisión de las paredes del tanque; software modulo tanques,	63
Ilustración 12 Detalle de esquina en las paredes del tanque.	70
Ilustración 13 Sentido del giro y falla del tanque, luego del asentamiento producido.	71
Ilustración 14 Variación del Volumen prueba de estanqueidad	73

i. INTRODUCCIÓN

Dentro del contrato 014 de 2016 de “AMPLIACIÓN DE REDES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LOS MUNICIPIOS DE NUQUÍ Y TADÓ. EN EL DEPARTAMENTO DE CHOCO”, inversiones que buscan ampliar la cobertura de la red de distribución de acueducto en barrios que no estuvieron contemplados en el alcance del Contrato 186 de 2013.

De otra parte, se incluye entre el alcance del contrato 014, la realización del Estudio de Patología del Tanque de agua tratada en concreto reforzado, el cual presenta una serie de lesiones que impiden su utilización en la actualidad, estudios que fueron contratados con el Ing. Civil Carlos A. Parra Valencia por la empresa Espina & Delfín Colombia.

Además, la NSR – 10 entre otras mejoras significativas respecto a la versión anterior, establece en el capítulo A–10 la necesidad de realizar un estudio de actualización a las estructuras construidas antes de su vigencia, con el propósito de que una estructura que se refuerce siguiendo los requisitos allí presentados debe ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural pero con algún daño en elementos no estructurales y un temblor fuerte sin colapso. En otras palabras, es necesario realizar un estudio para evaluar la capacidad de respuesta de la estructura ante los nuevos requisitos expresados en esta normativa.

ii. JUSTIFICACIÓN

El recién optimizado sistema de acueducto del municipio de Tadó, cuenta con un tanque de almacenamiento elevado en concreto de 480 m³, un tanque enterrado de 995 m³, ambos nuevos construidos recientemente, cuenta además con un tanque semienterrado de 592 m³ el cual, de acuerdo a la cota actual, puede permitir dar cobertura a las zonas bajas y garantiza las presiones mínimas necesarias para la distribución de agua tratada a la población de Tadó.

De acuerdo a la información suministrada por el operador del sistema de acueducto, en el momento del estudio de patología sobre el tanque de almacenamiento, el tanque de almacenamiento en concreto reforzado, se encuentra fuera de servicio dado las diferentes lesiones que presenta, entre la que resalta el alto deterioro que se puede observar en toda la superficie de la tapa, la cual es una losa en concreto reforzado aligerada con casetones de estera (guadua), la cual permite el ingreso del agua de lluvia contaminando así el agua tratada almacenada en el tanque.

Presenta además, una serie de fisuras en especial en las paredes oriental y occidental, que coinciden con la información suministrada por el operador referente a los tiempo de llenado del tanque, los cuales son considerados excesivos; también se presenta una disminución importante en el nivel del agua almacenada, lo que permite inferir que el tanque posee filtraciones de importancia que evidencian un deterioro general de su sistema de resistencia estructural.

La importancia de este proyecto radica en la firme intención del Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Vivienda, ciudad y Territorio – MVCT, de garantizar una cobertura del sistema de acueducto del 100% a la población Tadoña, porcentaje que se puede alcanzar con la utilización del tanque existente, hoy fuera de servicio.

iii. ALCANCE

El presente trabajo, va encaminado a identificar las diferentes lesiones del paciente, así como también incluye realizar el diagnostico general a partir del planteamiento de las posibles causas que puedan estar generando las lesiones, y en base a ello, diseñar una propuesta de intervención, que permita mantener la estabilidad de la edificación.

Al igual que lo anterior se ajustará la estructura portante del paciente a las exigencias de la Norma Sismo resistente del 10 (NSR – 10) y el Ras 2000.

iv. OBJETIVOS

a. GENERAL

Realizar el estudio patológico del tanque de almacenamiento de agua potable del acueducto del municipio de Tadó, siguiendo los parámetros establecidos en la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR – 10) y el reglamento de Agua y Saneamiento (RAS 2000).

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Recopilar y estudiar la información existente acerca del diseño y construcción del Tanque de agua potable, así como también realizar las exploraciones necesarias con el fin de establecer el estado del Tanque de agua potable.
- ✓ Evaluar y revisar el comportamiento estructural del Tanque de almacenamiento.
- ✓ Definir las modificaciones realizadas a la estructura portante del tanque de almacenamiento.
- ✓ Definir las propuestas de reforzamiento basadas en la Norma Sismo Resistente 2010 más económica para presentársela al municipio para su implementación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tanque de almacenamiento al momento del estudio se encuentra fuera de servicio a causa de las diferentes lesiones que presenta, entre la que sobresale el alto deterioro que presenta la tapa en concreto reforzado aligerada con casetones de estera (guadua), la cual permiten el ingreso del agua de lluvia contaminando de esta manera deposito del agua tratada.

Presenta además, una serie de fisuras en las paredes oriental y occidental, que confirman la información suministrada por el operador, quien manifiesta que se demora excesivamente llenando dicho tanque, lo que significa un aumento considerable de los gastos administrativos de la operación del sistema; presenta además una disminución importante en el nivel del agua almacenada, lo que permite inferir que el tanque tiene filtraciones de importancia que evidencian un deterioro general del sistema de resistencia estructural.

El Tanque en estudio, tiene más de 20 años de construido por lo cual es necesario realizar una revisión de cada una de sus partes, que permitan establecer cuál será el comportamiento del tanque ante un eventual movimiento sísmico y así garantizar que dicha estructura esta en capacidad de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daños estructurales, pero con algún daño en elementos no estructurales y un temblor fuerte sin colapso, tal como lo define la NSR-10 en su título A.

2. PREPARACIÓN Y PLANEAMIENTO DEL ESTUDIO

En esta etapa se realizaron las siguientes actividades, la cual se materializó en las fichas de diagnóstico y en fotografías que acompañan el presente trabajo.

- ✓ Inspección preliminar de la obra.
- ✓ Definición de objetivos y alcances del estudio.
- ✓ Definición de la información que se necesita recopilar y/o levantar.
- ✓ Preparación de los formatos para el levantamiento y la recopilación de la información.
- ✓ Selección de la forma de almacenar y tabular la información.
- ✓ Definición del proceso de recopilación de información de la información de campo.
- ✓ Definición del alcance de la exploración y medios necesarios (apiques, calas, sondeos, etc.).
- ✓ Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración del paciente.
- ✓ Definición de los medios para la realización de la exploración.
- ✓ Medidas preventivas a tener en cuenta durante la exploración.
- ✓ Servicios especializados para la exploración (laboratorios, maquinaria, personal, etc.).

3. HISTORIA CLÍNICA

3.1 DATOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO

3.1.1 NOMBRE DE QUIEN REALIZA EL ESTUDIO

El siguiente estudio se realiza a solicitud de la empresa Espina & Delfín Colombia, en el marco del desarrollo del contrato 014 de 2016 AMPLIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO DE LOS MUNICIPIO DE TADÓ Y NUQUÍ DEL DEPARTAMENTO DE CHOCO, por el Ingeniero Civil Carlos Alberto Parra Valencia.

3.1.2 FECHA DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Los trabajos del estudio en mención, se realizaron entre mayo y agosto de 2016.

3.1.3 RESPONSABLES DEL ESTUDIO

El responsable de dicho estudio es el profesional mencionado en el numeral 3.1.1. Es de anotar que dicho estudio se realiza además como requisito para verificar el estado actual del tanque, que permita al MVCT definir su demolición o reforzamiento para garantizar una cobertura del 100% y una continuidad de 24 horas a los habitantes del municipio de Tadó.

3.2 DATOS GENERALES DEL PACIENTE

3.2.1 NOMBRE

Tanque de Almacenamiento de Agua Potable en Concreto Reforzado.

3.2.2 FECHA DE CONSTRUCCIÓN

Entre los años de 1970 y 1975

3.2.3 LOCALIZACIÓN

Se encuentra localizado en el municipio de Tadó población importante en la región del Pacífico Colombiano. El Municipio de Tadó se encuentra localizado al suroriente del departamento del Chocó, al margen izquierdo del río San Juan y a la derecha del río Mungarrá.

3.2.3.1 CLIMA

El municipio de Tadó posee un clima tropical que presenta pequeñas oscilaciones de temperatura durante el año; un promedio de 28 °C. Tiene una precipitación promedio anual entre los 6800 y 7600 mm con un comportamiento bimodal donde las épocas de mayores precipitaciones se presentan durante los meses de Abril-Junio y Septiembre – Noviembre, registrándose estas hacia la parte media del río San Juan y las menores precipitaciones hacia la parte oriental del municipio. La humedad relativa oscila entre el 70 – 85%; el brillo solar oscila en un promedio de 3.4 horas /día.

La acción de los vientos, especialmente los Alisios procedentes del norte, favorecen al municipio con un clima menos malsano que el que se presenta en el resto del departamento¹.

¹ Tomado de www.tado-choco.gov.co

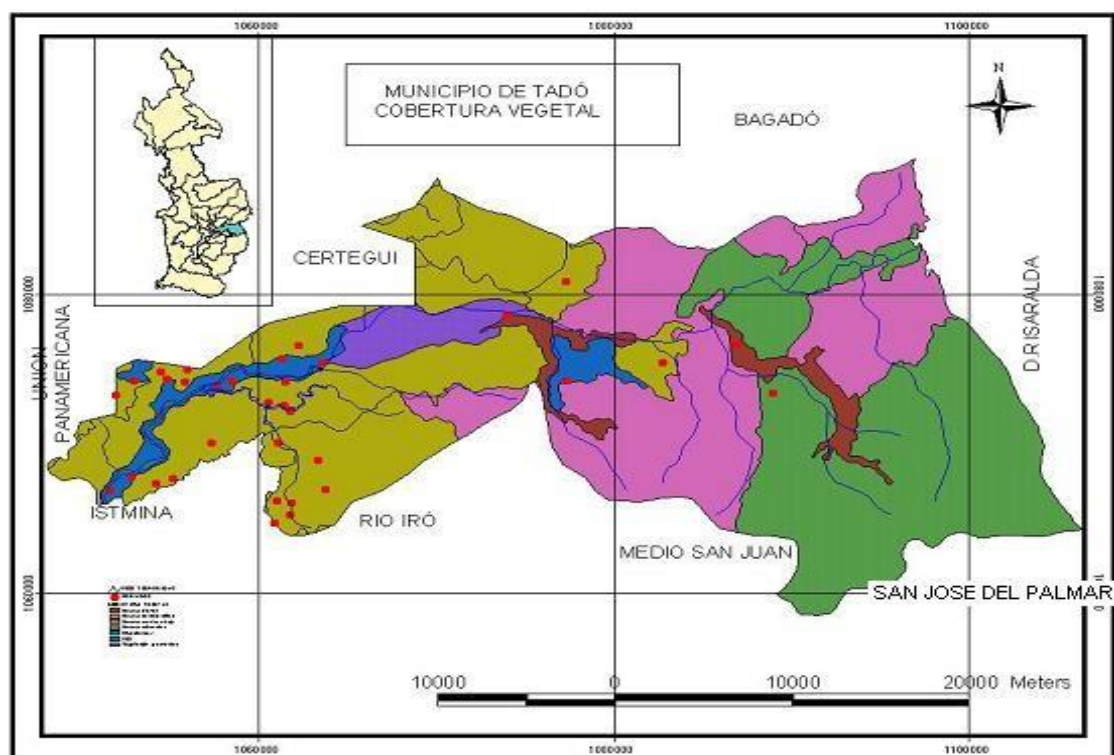


Ilustración 1 Localización del municipio de Tadó en el Departamento del Chocó

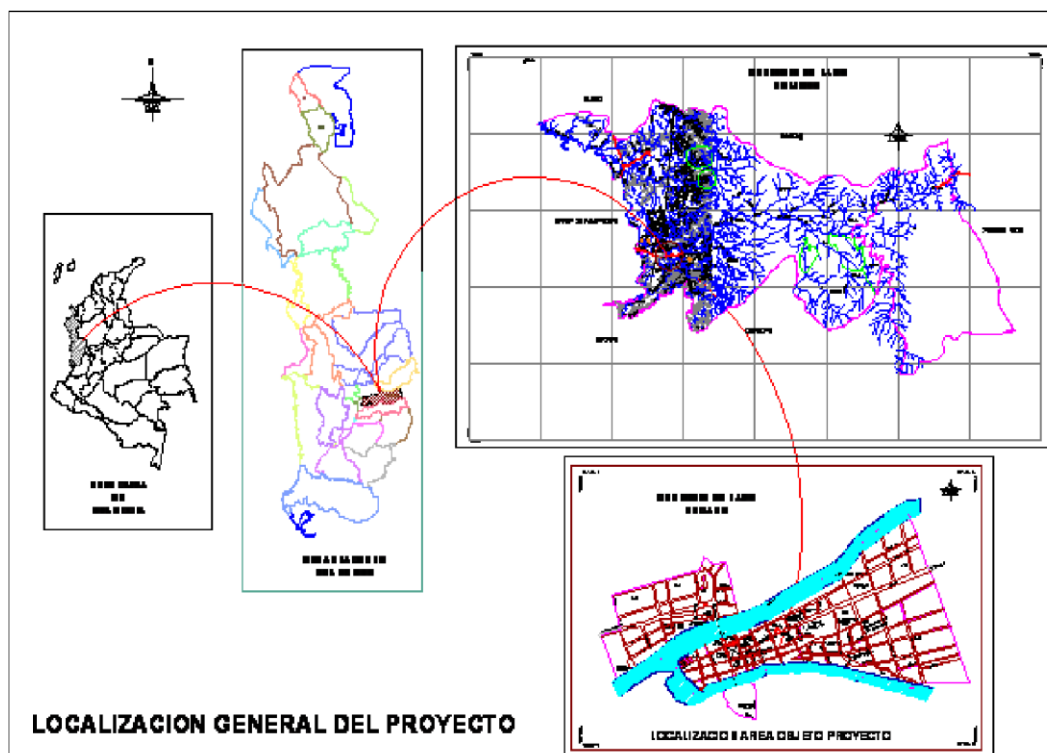


Ilustración 2 Localización general del tanque de almacenamiento.

3.2.3.2 HISTORIA²

El 16 de julio de 1.532, la expedición de los españoles dirigida por el Vasco Núñez de Balboa, Capitán Antonio Mosquera, los alférez Pedro de Ayamonte y Nicasio Arboleda, después de tramontar las terrazas del Andágueda, llegan al San Juan por el sitio de Mumbú y se establecen en un montículo a la margen izquierda del Río Puerto, posteriormente dándole el nombre de monte Carmelo.

En 1.580, marzo 19; los españoles y esclavos se trasladan del monte Carmelo al sitio de “Pueblo Viejo”, margen izquierda del Río San Juan y organizan el asentamiento denominado “Estatuto Libre Español”.

En 1.660, con la presencia de los franciscanos Fray JACINTO HURTADO, Fray BERNARDO DE LIRA, Fray JUAN TROYANO, se inicia el proceso de la Iglesia Católica de Tadó. En 1.697, los franciscanos ya han tomado pleno dominio del territorio indígena y han organizado su centro catequizador denominado Doctrina de los Naturales de San Francisco de Tadó.

En 1.715, con la integración de los españoles, franciscanos, esclavos e indígenas, se logra implantar, el nuevo poblado conformado por el asentamiento de san José de Tadó, Doctrina de los Naturales de San Francisco, VALERIO PEREA y las Hermanas Salinas. Tadó comienza su vida administrativa desde 1.821 con la Ley 8°, que designa a Tadó como Distrito del Cantón del San Juan, perteneciente a la Provincia del Chocó, la cual estaba incorporada al Estado del Cauca. En 1.857, por la Ley suscrita de la Presidencia, Tadó se constituye en el Círculo Electoral N° 31 con un total de 6.388 habitantes. En 1.906, antes de dividirse la Intendencia del Chocó en las dos provincias del San Juan y el Atrato, Pueblo Rico deja de ser corregimiento de Tadó y se constituye en Municipio del Departamento del Chocó, para posteriormente en 1.912, ser Municipio de Caldas.

3.2.3.3 DIVISIÓN POLÍTICA³

El municipio de Tadó en su cabecera municipal, es el centro administrativo, comercial y de servicios comunitarios de carácter local, además existen 11 corregimientos caracterizados por ser asentamientos poblacionales de importancia

² Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

³ Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

estos son: Guarato, Tabor, Playa de Oro, Carmelo, Corcobado, Tapón, La Esperanza, Betania, Manungará, Profundó, Ibordó.

También cuanta con veintiuna veredas y cinco parajes, además tres resguardos y nueve asentamientos indígenas.

3.2.3.4 ETNICIDAD⁴

La población del municipio de Tadó es mayoritariamente negra, seguida del mestizo y de la población indígena. En el municipio de Tadó el proceso de desarrollo étnico territorial ha tenido un importante impulso a través del liderazgo que ha mostrado el consejo comunitario del Alto San Juan en la formulación del plan de etnodesarrollo, documento que plasma la visión de vida de las comunidades negras.

Aunque una de las características marcadas de la población negra es su alegría y su folclor, los ritos y tradiciones funerales afrodescendientes se están convirtiendo en historia antigua, las generaciones actuales desconocen el acervo cultural que se esconde tras la sabiduría de la cultura afro, de la medicina tradicional. Los festivales de gualíes que antaño se realizaban no existen.

3.2.3.5 ECONOMÍA⁵

En términos generales, la composición y organización de los subsectores económicos están fundamentalmente representados por las actividades agrícolas, pecuarias, de explotación forestal, la caza, la minería, las microempresas y/o artesanías y la de comercio y servicios que se realizan en todo el espacio municipal, pero que en más del 70% son explotaciones de subsistencia.

Sólo las actividades ejercidas en un 95% por foráneos, como la explotación maderera, los establos mineros con retroexcavadoras y los depósitos comerciales especialmente de materiales de construcción, gaseosas, cervezas y otros artículos al por mayor, producen excedentes económicos de consideración.

⁴ Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

⁵ Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

Además que las actividades económicas no producen beneficios sostenibles al interior del municipio, el mercado urbano-rural está desarticulado y por lo mismo deja grietas para la fuga de importante porción de dinero, que no facilita la reinversión productiva local.

Todo lo anterior refleja una baja dinámica económica y provoca la expulsión de mano de obra joven a veces calificada, como es el caso de los maestros.

El siguiente cuadro nos reflejaría la estructura económica, en donde unas pocas unidades estarían manejando la mayor producción con beneficio económico para los foráneos y por el contrario una mayoría de actividades de tipo artesanal con producción de subsistencia agrupa al grueso de la población local.

Tabla 1 Estructura económica y composición sub sectorial

SUBSECTOR	UNIDADES ECONÓMICAS	PARTICIPACIÓN %
Agropecuario	1237	76.17
Forestal	51	3.14
Minero	77	4.74
Manufacturero	33	2.03
Comercio y servicios	226	13.92
Turismo	--	
TOTAL	1624	100.00

Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

El anterior cuadro refleja que las unidades económicas de mayor peso corresponden al subsector agropecuario, pero es necesario tener en cuenta ciertas precisiones:

El 70% de la población que trabaja en la actividad agropecuaria de subsistencia, también participa en la minería artesanal o barequeo, población flotante; existen 18 entables mineros con retroexcavadora de alta producción y rentabilidad, de manera ilegal.

El subsector manufacturero lo constituyen los talleres de carpintería, modistería y sastrería, joyería, herrería y la cestería; en la actividad comercial y de servicios participan los grandes y pequeños comerciantes.

Los niveles de ingreso del Municipio para el año 2008, de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla 2 Niveles de ingreso del municipio de Tadó año 2008

Totales per cápita	Miles de pesos	581,9
Tributarios (ingresos propios) per cápita	Miles de pesos	41,0
Transferencias per cápita	Miles de pesos	520,1
Regalías per cápita	Miles de pesos	20,9
Deuda per cápita	Miles de pesos	44,6
Inversión per cápita	Miles de pesos	453,4
Gastos totales per cápita	Miles de pesos	563,7

Fuente: Censo DANE 2005

Las cifras del DANE del censo 2005, de ingresos para cada hogar por rangos se presentan en el cuadro siguiente, donde se observa que la mayor frecuencia de hogares está en el rango de ingresos entre 400.001 a 700.000 de pesos, y un 72% de la población tiene ingresos inferiores a 1.000.000 de pesos.

Tabla 3 Ingresos por Hogar

CATEGORÍAS	CASOS	%	ACUMULADO %
De 0 a 200.000	91	3	3
De 200.001 a 400.000	502	14	17
De 400.001 a 700.000	1121	32	49
De 700.001 a 1.000.000	756	22	71
De 1.000.001 a 1.500.000	412	12	83
De 1.500.001 a 2.000.000	206	6	89
De 2.000.001 a 3.000.000	173	5	94
De 3.000.001 a 4.500.000	55	2	95
Más de 4.500.000	36	1	96
CATEGORÍAS	CASOS	%	ACUMULADO %
No informa	95	3	99
No sabe	31	1	100
TOTAL	3476	100	100

Fuente: Censo DANE 2005

3.2.3.6 GEOGRAFÍA⁶

El Municipio de Tadó se encuentra localizado al suroriente del departamento del Chocó, al margen izquierdo del río San Juan y a la derecha del río Mungarrá. El Municipio se encuentra localizado a una altura de 75 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de 68 Km. de la Capital de Departamento.

En el Cuadro No. 4 se presenta información relacionada con la localización geográfica, extensión tanto del área urbana como rural y límites del Municipio de Tadó.

Tabla 4 Información sobre aspectos físicos. Municipio de Tadó

MUNICIPIO	VARIABLE	INFORMACIÓN
Localización	Latitud norte	05°15'25"
	Longitud oeste	76°33'12"
Extensión	Área urbana	7 Km ²
	Área rural	1.010 Km ²
Altura sobre el nivel del mar	Cabecera municipal	75 m.s.n.m.
Límites	Norte	con los Municipios de Cértégui y Bagadó
	Sur	con el Municipio de Istmina, Medio San Juan, Río Oro y San José del Palmar
	Oriente	con el Departamento de Risaralda
	Occidente	con el Municipio de Unión Panamericana

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal 2008 – 2011. “*Juntos haremos una excelente gestión por Tadó*” www.tado-choco.gov.co

⁶ Fuente: EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

3.2.3.7 TRANSPORTE

3.2.3.7.1 AÉREO

El aeropuerto más cercano es el de la ciudad de Quibdó “Aeropuerto El Caraño” que permite la conexión con las demás regiones del país y ha recibido en los últimos años atención especial como un completo sistema de iluminación.

3.2.3.7.2 TERRESTRE

La ciudad posee tres importantes arterias, que por su estado son más parecidas a caminos de herradura, las cuales son:

1. Vía Tadó – Pereira.
2. Vía Tadó - Unión Panamericana - Cértegui - Medio Atrato - Quibdó
3. Vía Tadó - Unión Panamericana - Istmina - Condoto - Nóvita

El transporte dentro de los distintos corregimientos de la ciudad se hace principalmente por medio de automóviles, canoas y lanchas. La mayoría de los corregimientos están a lo largo de los afluentes.

3.2.3.7.3 FLUVIAL

Las principales vías fluviales están constituidas por el río San Juan, el segundo río más importante y más navegable que tiene el departamento del Chocó, otros ríos son: río Mungarrá, río Chato y río Tadocito.

3.2.4 DIRECCIÓN

El tanque en estudio, está localizado en la zona alta del municipio de Tadó, frente al hospital de la ciudad.

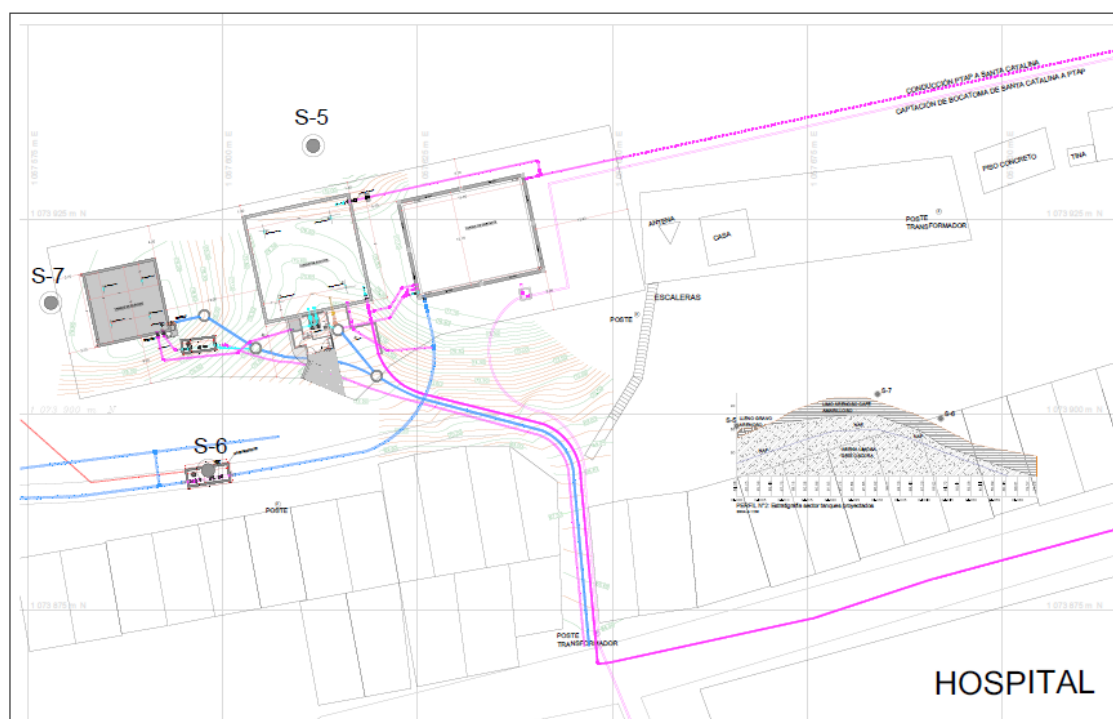


Ilustración 3 Ubicación del tanque de almacenamiento de agua potable.

3.2.5 PROPIETARIO

Municipio de Tadó

3.2.6 USO ACTUAL Y PREVISTO

Hace parte del sistema de acueducto del municipio de Tadó, está previsto su incorporación para poder cumplir con la cobertura y la promesa de servicio de 24 horas al día.

3.2.7 IMPORTANCIA

El tanque objeto de estudio, de acuerdo a la cota actual, puede permitir ampliar la cobertura a las zonas bajas y garantiza las presiones mínimas necesarias para la distribución de agua tratada a la población de Tadó.

3.2.8 SISTEMA ESTRUCTURAL Y CONSTRUCTIVO

El sistema utilizado es un sistema monolítico de muros en concreto reforzado.

La tapa se proyectó como una losa aligerada de concreto reforzado, con casetones de estera (guaduas).

3.2.9 NORMATIVA ACTUAL QUE LO RIGE.

3.2.9.1 NORMATIVA TÉCNICA

Norma Colombiana Sismo Resistente Colombiana NSR-10.

Reglamento de Agua y Saneamiento RAS2000

3.2.9.2 URBANA

No existe.

3.3 DATOS GENERALES DEL ENTORNO

3.3.1 EDIFICACIONES U OBRAS VECINAS

Tabla 5 Edificaciones u obras vecinas

DETALLE	DESCRIPCIÓN
NORTE	Viviendas vecinas.
SUR	Calle de acceso principal. Hospital San José de Tadó
OCCIDENTE	Tanque de Almacenamiento Nuevo
ORIENTE	Antena de telecomunicaciones

3.3.2 MEDIO AMBIENTE

Se toman los registros de temperatura, precipitación, velocidad del viento, y humedad relativa del Instituto de hidrológica, meteorología y estudios ambientales IDEAM, como también de las referencias descritas.

3.3.2.1 EVAPORACIÓN

El valor medio multianual en la zona está por encima del 80 mm. Los meses que presentan valores más altos de evaporación corresponden también al periodo de temperaturas más elevadas.

3.3.2.2 CONTAMINANTES CERCANOS

Dada la ubicación del edificio, podríamos definir como fuente de contaminación los residuos hospitalarios provenientes del hospital San José de Tadó.

3.3.2.3 VELOCIDAD DEL VIENTO

El valor máximo medio mensual de los vientos es de 28 m/s y se presenta en el mes de diciembre; los valores mínimos medios mensuales se presentan en el mes de enero con 1,5 m/s y la media mensual multianual es de 4 m/s.

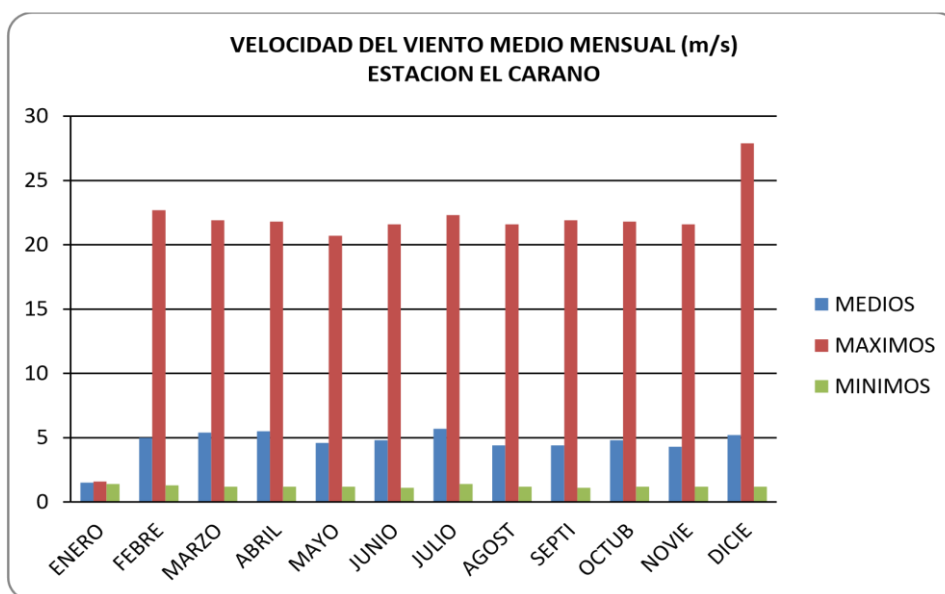


Ilustración 4 Fuente: Consorcio ESSMIN

3.3.2.4 SISMICIDAD⁷

Las característica geológicas regionales (colisión de placas tectónicas, fallas) y la distribución orográfica en combinación con el régimen climático (Corriente de Humboldt, vientos alisios, faja climática tropical), generan algunas características relevantes para esta porción del continente, tales como la actividad sísmica tectónica y altas pendientes y el régimen pluvial en general elevado y controlado por sistemas montañosos y de vertiente.

Por el hecho de estar situada Colombia en la zona donde convergen las tres placas tectónicas principales (La Nazca con movimientos lentos de alrededor de 60 mm/año, en dirección W-E; la de Sur América, con desplazamientos de +/- 20 mm/año, en dirección E-W; y la Caribe, con movimientos menores a 20 mm/año), la ocurrencia de los sismos es bastante frecuente; el sector de occidente Colombiano es considerado una zona de alta sismicidad.

Las principales fallas geológicamente que son activas, o que han sido postuladas como potencialmente activas o que la sismicidad se asocia a ellas se puede considerar que tienen actividad son: Utría, Atrato, Cauca, Romeral, Sinu-Bolívar, La Palestina, Salinas, Ibagué- Cucuana, Magdalena, Arboledas, Fronta de la cordillera

⁷ EOT 2009-2016. Documento Diagnóstico

oriental, Santa marta- Bucaramanga, Suárez, Oca, Cuisa, Nido de Bucaramanga, Boconó, Zona de subducción de la zona del Pacífico.

El Chocó por su ubicación en la costa pacífica Colombiana es considerado de alto riesgo sísmico. Los terremotos producen manifestaciones como licuación de los suelos y los tsunamis; los primeros se presentan en suelos con niveles arenosos y saturados de agua. Estos al presentarse el fenómeno telúrico, expulsan el agua hacia la superficie y debido al cambio de volumen generan agrietamiento paralelo a las corrientes de agua principalmente, afectando a las construcciones existentes; por esto se verían afectadas aquellas poblaciones que se ubican en las llanuras de inundación de los ríos. El crecimiento desordenado de los municipios y caseríos del departamento, las construcciones mal diseñada o muy antiguas, la poca educación de la comunidad sobre cómo enfrentar este fenómeno natural, permiten que cuando los terremotos suceden, se incrementan los riesgos y daños en la población.

En conclusión, el territorio chocoano tiene alto riesgo sísmico por movimientos telúricos y para que éstos sucedan con el mínimo daño y con el menor número de perdidas debe aplicarse rigurosamente el código Colombiano de Construcciones Sismo resistente (Decreto ley 1400 de 1984 – NSR 10) y proporcionarle a la comunidad una educación adecuada, fortalecer la acción del CLOPAD para enfrentar emergencias provocadas por estos fenómenos naturales.

Las fuentes sismogénicas activas que pueden afectar sísmicamente a la zona del proyecto son:

- ☞ La falla del Atrato
- ☞ La falla de Murindó
- ☞ La falla de Utria o Bahía Solano y
- ☞ La actividad sísmica asociada a la dinámica de la zona de subducción del borde del Océano Pacífico.



Ing. Carlos Alberto Parra Valencia

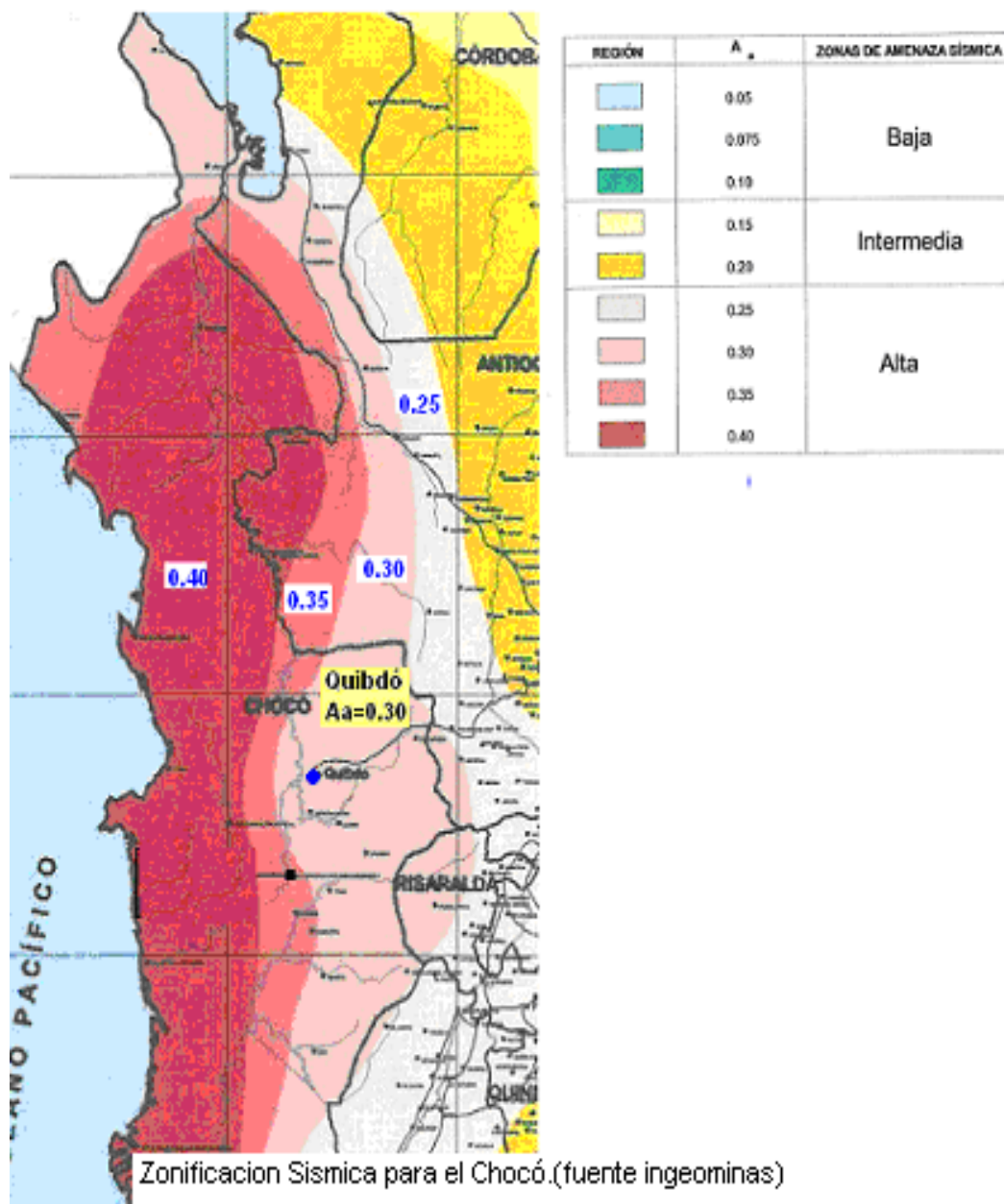


Ilustración 6 Detalle de la zonificación sísmica para el Departamento del Chocó

3.3.2.5 TOPOGRAFÍA DEL TERRENO

El sector urbano del municipio, es de topografía plana y ligeramente ondulada.

3.3.2.6 GEOLOGÍA

El estudio “Investigación Integral del Pacífico Colombiano” realizado de manera conjunta entre el IGAC e Ingeominas, contiene entre otras cosas un análisis detallado de la Geología regional del Andén Pacífico Colombiano, a continuación extractamos la información relevante en esta área en lo concerniente al municipio de TADÓ.

3.3.2.6.1 ESTRATIGRAFÍA

El Andén Pacífico está constituido por unidades—roca ígneas volcánicas, plutónicas, y sedimentarias cuyas edades se han asignado desde el Cretácico Inferior hasta el Reciente. Para su descripción se ha tenido en cuenta tanto su origen como la edad asignada en la leyenda del mapa geológico, indicando para cada una el origen de la nomenclatura utilizada, su localización con respecto al área considerada, sitios de exposición de mejor o más fácil acceso, contactos, características litológicas, origen, edad y posibles correlaciones con unidades litoestratigráficas conocidas.

Estructuralmente se ha dividido la región pacífica y el área que la limita en los bloques: cordillera Occidental Norte, cordillera Occidental Sur, serranía del Baudó y las cuencas de: Urabá, Atrato, San Juan, Cauca y Tumaco.

A continuación se aborda el bloque correspondiente a las cuencas del Atrato y San Juan, dentro de la cual se localiza el municipio de Tadó.

3.3.2.6.2 CUENCA DEL ATRATO⁸

La Cuenca del Atrato se encuentra localizada en la región costera pacífica del noroccidente colombiano e incluye las llanuras pantanosas y selváticas del valle del río Atrato, entre la Serranía del Baudó al occidente y el flanco occidental de la cordillera Occidental al oriente en los departamentos de Antioquia y Chocó; a su vez forma parte de la franja estrecha del sureste centroamericano (Panamá–Costa Rica), con una barrera geográfica que separa el océano Pacífico del mar Caribe; tiene un área aproximada de 19.200 Km².

Estructuralmente la Cuenca del Atrato está limitada al sur por el arco deformado de Istmina (Duque – Caro, 1985; 1990 a, b) y en especial por la Falla del río Pepé, entre las planchas 221 Pizarro y 203 Istmina (Cossio, 2002 a). Se caracteriza por la presencia de pliegues imbricados con convergencia al occidente que incluyen escamas de corteza oceánica. La estratigrafía de la Cuenca del Atrato es poco conocida, de ahí que no haya claridad en cuanto a una nomenclatura formal y la utilizada por la mayoría de los autores; ésta se basa en la nomenclatura estratigráfica original de Haffer (1967), no publicada formalmente, que incluye entre otras la formaciones Napipí.

- **Formación Napipí (N1np)**

Definida por Haffer (1967) con la localidad tipo en el río Napipí, al norte de la población de Bojayá (Chocó). En las planchas Quibdó y Lloró, esta unidad aflora en una franja de 5 – 8,5 Km de ancho en la margen occidental del río Baudó. Esta unidad forma los núcleos de los anticlinales de Urudó y Berreberre, aunque los afloramientos son escasos. Bouman (1965) y Haffer (1967) plantean que el contacto de la Formación Napipí con la Formación Uva es normal, pero Duque – Caro (1990b) lo considera discordante debido al hiato del límite Mioceno inferior - Mioceno medio con desaparición de los radiolarios. El contacto superior con la Formación Sierra, Haffer (1967) y Bouman (1965) lo consideran normal y Duque–Caro (1990 b) lo presenta como una discordancia marcada por el hiato del Mioceno medio. Según Haffer (1967), el espesor promedio en el valle del Atrato es de 700 m, en el río Uva es de 500 m, en el río Salaquí 1.200 m, en el pozo Opogadó – 1 es de 534 m (plancha 128 Río Murri) y en el río Mumbaradó es de

⁸ IGAC. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Geología.

850 m (plancha Bagadó). Bouman (1965) calcula un espesor de 1.500 m a lo largo del río Baudó.

La formación está conformada por arcillolitas nodulares masivas de color gris verdoso, laminadas, en capas finas bien definidas, con concreciones redondeadas y lenticulares de calizas y zonas de arcillolitas y areniscas finogranulares. En los ríos Nauritá y Neguá, los estratos expuestos son de color verde oliva a gris oscuro, micáceos, localmente carbonosos, granulometría arcillosa y con lentes de arena fina. Sobre la carretera Medellín-Quibdó, la unidad consta de bancos delgados de arcillolitas, micáceas, silíceas y en parte carbonosas o calcáreas (Álvarez *et al.*, 1987). En los ríos Mumbaradó, Capá y Atrato, se presentan facies conglomeráticas, con guijarros de chert negro, calizas arenosas, limos calcáreos y fragmentos de rocas ígneas (Rojas, 1967). Sobre la vía Istmina-Curundó, antes del poblado de Curundó, afloran areniscas y limolitas grises, finas, masivas en bancos fosilíferos con láminas ferruginosas y con arcillolita blanca. Entre los fósiles se encuentran gasterópodos y bivalvos. En la vía a Santa Cecilia, abajo del puente sobre el río San Juan, se observa, una secuencia con disposición vertical, que incluye bancos de caliza de hasta 2 m de espesor con abundantes concreciones calcáreas de gran tamaño y margas con intercalaciones de lodolitas grises y areniscas conglomeráticas de hasta 50 cm. Las capas de nódulos calcáreos, fueron también observadas por el río Iró, abajo de Viriviri, en donde presentan contenidos fosilíferos. Allí alternan con lodolitas calcáreas, de color gris oscuro, en capas de hasta 40 cm. La Formación Napipí, se presenta en fajas estrechas alargadas de dirección aproximadamente N - S, dispuestas sobre los dos flancos, el oriental y occidental del amplio Sinclinal del Atrato.

Según Bouman (1965) y Duque–Caro (1990 b), el ambiente de sedimentación de esta formación es de baja energía, en aguas con profundidad mayor de 2.000 m, de las zonas *Globigerinatella insueta* y *Globorotalia fohsi*, con sedimentos ricos en materia orgánica y oxígeno restringido (Zapata, 2003). **Edad.** Tanto Haffer (1967) como Duque–Caro (1990 b) proponen para la Formación Napipí una edad del Mioceno medio.

Haffer (1967) correlaciona esta unidad con la Formación Aquagua del este de Panamá y Duque–Caro (1990 b) la correlaciona con las formaciones miocénicas marinas del Ecuador costero y del área caribeña (Zapata, 2003).

3.3.2.6.3 CUENCA DEL SAN JUAN

La cuenca del río San Juan (Cuenca del San Juan) se encuentra localizada en la región pacífica costera del occidente colombiano e incluye llanuras pantanosas y selváticas del valle del río San Juan entre la línea de costa al occidente y el borde occidental de la cordillera Occidental al oriente en los departamentos de Chocó y Valle del Cauca. Al norte está separada de la Cuenca del Atrato por el denominado Istmo de San Pablo, alto geográfico con elevación alrededor de 100 m.s.n.m. Esta cuenca abarca un área aproximada de 5.700 Km².

Estructuralmente la cuenca del San Juan está limitada al norte por la Falla del río Pepé (Cossio, 2002 a) o el arco deformado de Istmina (Duque – Caro, 1990 a) y al sur por la falla Garrapatas (Cossio, 2002 a; Montoya, 2003). Hace parte del Supraterrano Atrato– San Juan– Tumaco (Etayo *et al.*, 1983) como parte de la denominada por la industria del petróleo como cuenca del Chocó – Pacífico (Barlow, 1981; Pérez, 1980; Bueno & Govea, 1976) en el sector septentrional del geosinclinal Bolívar (Nygren, 1950) y separada de la cuenca del Atrato por sus características estratigráficas y estilo estructural.

La estratigrafía de la cuenca del San Juan es poco conocida y por ello no hay claridad en cuanto a una nomenclatura formal. La utilizada en muchos trabajos se basa en nomenclatura estratigráfica empleada por compañías petroleras no publicada formalmente, que extrapola nombres de unidades en áreas adyacentes sin tener en cuenta los rasgos estructurales y estratigráficos de cada una en particular y en algunos casos por correlación cronológica, mezclando características cronológicas y litológicas que establecen correlaciones dudosas o cuestionables.

La nomenclatura empleada para la recopilación del Andén Pacífico se basa en el trabajo detallado llevado a cabo en el Valle Superior del río San Juan de Figueroa & Núñez (1990) en el cual proponen una nomenclatura para las diferentes unidades–roca, que allí afloran y que incluye una interpretación de sus ambientes de deposición y el modelo estructural para el área de estudio; esta nomenclatura fue posteriormente empleada en la cartografía geológica de las planchas Pilizá, Istmina, Manglares y San Agustín (Cossio, 2002 a).

- **Formación Tadó (E2td)**

Definida por Figueroa & Núñez (1990) cerca de la población del mismo nombre (plancha 203 Istmina). Los mejores afloramientos de esta unidad se observan a lo largo del río San Juan entre las poblaciones de Tadó e Istmina y su afluente el río Profundó en la plancha 203 Istmina, formando el núcleo del anticlinal de Las Mojaras.

El límite inferior de la Formación Tadó es fallado con la Formación Istmina a través de la Falla San Juan, en el río Profundó. Esta falla pone en contacto a un nivel de areniscas conglomeráticas de la unidad de la Formación Istmina con capas de limolitas y chert negro intercaladas. El límite superior es también fallado con los Conglomerados de la Mojarra a través de la Falla las Mojaras, la cual pone en contacto capas intercaladas de chert negro y calizas, con capas de areniscas y lentes de conglomerados. Se considera un espesor de 1000 a 1500 m para la Formación Tadó a lo largo de los diferentes afloramientos (Cossio, 2002 a). La unidad está compuesta principalmente por una alternancia de capas de biomicritas, de 5 a 20 cm de espesor, de color gris claro a blanco, planas paralelas continuas.

En el río Profundó se encuentran interestratificadas con capas de chert, limolitas, areniscas de grano medio a muy fino y shale negro. Al nororiente de Tadó, en el río San Juan, se encuentran pequeños silos de diorita posiblemente relacionados con el Batolito de Mandé, intercalados con los niveles de chert, arcillolitas y areniscas. La interpretación ambiental para las rocas de la Formación Tadó se puede basar en el trabajo de Knouth (1979), que en términos generales, establece que la presencia de chert está relacionada con el reemplazamiento de carbonato de calcio por cuarzo microcristalino que se produce sobre horizontes calcáreos con porosidad inicial alta, bajo condiciones de sobresaturación de sílice y subsaturación de carbonatos dentro de una zona de mezcla en la cuenca, no muy lejos de la costa, ya que la sílice proviene de zonas emergidas aledañas y es arrastrada por aguas subterráneas.

Por otro lado el contenido micropaleontológico, la textura y la distribución de los componentes indican un ambiente oceánico batial moderadamente tranquilo. La continuidad lateral de las capas, indica una plataforma de baja energía, con el depósito de sedimentos de grano fino. La presencia de laminación plana paralela,

significa el ascenso frecuente del nivel del mar, produciendo el depósito de material carbonático (Cossio, 2002 a).

Edad. En muestras recolectadas en el río Profundó y analizadas por Hermann Duque se ubicó a la Formación Tadó en la base del Cretáceo Superior. Sin embargo, dataciones hechas por TEXAS PETROLEUM COMPANY (1990) y Figueroa & Núñez (1990) corresponden al Eoceno superior .

3.3.2.6.4 PLIOCENO Y CUATERNARIO

Formaciones del Plioceno y depósitos del Plioceno – Pleistoceno hasta el Cuaternario, aparecen ampliamente distribuidos en toda el área del Andén Pacífico, pudiendo ser continuos algunos de ellos o correlacionables, puesto que se generaron en un ambiente tectónico y sedimentario similar, en especial después de la Orogenia Andina. Por su origen, características litológicas y edad asignada se han separado para su descripción en: Formaciones y Depósitos Volcánicos del Plioceno, Depósitos Fluvio–Volcánicos del Plioceno y Pleistoceno, Depósitos Volcánicos del Pleistoceno, Depósitos Continentales Recientes y Depósitos Marinos y Transicionales.

En el suroccidente del Andén Pacífico y relacionadas con la intensa actividad volcánica del Plio – Pleistoceno hasta el Reciente, se generaron vastas acumulaciones de rocas volcánicas como producto tanto de erupciones lávicas como explosivas. Sin embargo, a pesar de que los materiales provenientes de este volcanismo ocupan cerca del 20% en el área de Nariño, sólo localmente se presentan estudios detallados de su estratigrafía (planchas 447 Bis Tallambí, 447 Ipiales; Parra & Velásquez, 2002 y plancha 428 Túquerres; González *et al.*, 2002). Las formaciones sedimentarias Mayorquín y Raposo del Plioceno Tardío se describen en este capítulo, debido a su amplia distribución desde la Cuenca del San Juan hasta la de Tumaco abarcando desde la plancha Coquí hasta la Barbacoas.

En la región Pacífica, los depósitos Cuaternarios tienen un carácter similar, presentándose depósitos fluvio–torrenciales en las zonas de piedemonte, aluviones recientes y terrazas en las planicies aluviales y valles intramontanos, depósitos fluvio– lacustres en la llanura fluvio–deltáica del Atrato y localmente en el Patía, y depósitos intermareales y de playa a lo largo de toda la costa Pacífica y en el Golfo de Urabá.

- **DEPÓSITOS ALUVIALES (Q2AL)**

Los depósitos de los canales actuales representan el aporte detrítico proveniente tanto de la erosión de los suelos, como del material desprendido en las laderas de los valles estrechos y en V que caracterizan las vertientes de los ríos en la cordillera Occidental. Siendo el más extenso y en formación actual el asociado al río Atrato. Carecen de litificación y son de carácter detrítico, polimícticos, no consolidados, mal seleccionados y con clastos de formas redondeadas a aplanadas. Su granulometría es variable, predominando gravas-arenas en los diques y arcillas-limos en los bajos. Son comunes las estratificaciones lenticulares, gradada y cruzada.

Composicionalmente, dominan los clastos de rocas constitutivas de las cordilleras y serranías, tales como ígneas plutónicas (granitos, cuarzodioritas, gabros, monzonitas), volcánicas (basaltos, diabasas y andesitas), sedimentarias y metasedimentarias (chert, limolitas, calizas) y cuarzo en diferentes proporciones, en una matriz de arena gruesa o gravas medias a finas no cohesivas. La mayor parte de estos depósitos aluviales son del Holoceno y su espesor está en aumento debido a la depositación actual, a lo largo de los canales de flujo y zonas.

3.3.2.6.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología estructural que se encuentra en el Departamento del Chocó, es la suma de movimientos compresionales, que han ocasionado plegamientos y fallamientos, factor que ha sido importante para la presencia de mineralización; el bloque del Chocó se caracteriza por tener 5 zonas donde las mayores fallas estructurales se presentan: Las de fallas de Uramita, Atrato, Baudó, Panamá y la zona deformada de Istmina. El municipio de Tadó se encuentra en la unidad geomorfología de la cuenca de los ríos Atrato y San Juan⁹.

9 TADÓ, Diagnóstico final, EOT 2006 - 2016

3.3.2.6.6 PLEGAMIENTO

Las rocas sedimentarias terciarias se encuentran deformadas de diferente manera, encontrándose, desde rocas no plegadas y en posición, pasando por secuencias de rocas levemente plegadas, hasta rocas plegadas y hasta en posición, como ocurre en la zona comprendida entre el costado sur del delta del San Juan hasta la de Bahía Málaga.

3.3.2.6.7 ANTICLINAL LAS MOJARRAS

Toma el nombre de la Cuchilla Las Mojarras, al este del municipio de Istmina en la plancha Istmina. Es un anticlinal asimétrico con buzamiento promedio de 60° en el flanco occidental y de 30° en el flanco oriental. Presenta una dirección del eje axial de $N38^\circ E$, tiene una inmersión de $4^\circ N38^\circ E$, un buzamiento de $82^\circ NW$ del plano axial y un ángulo de interflancos de 90° y correspondería a un anticlinal subvertical y abierto (Fleuty, 1964).

3.3.2.6.8 FALLAMIENTO

Asociado estrechamente al fenómeno del plegamiento, se presentan varios sistemas de fallas que incluyen cabalgamientos, fallas transcurrentes, fallas inversas, fallas normales y lineamientos fotogeológicos de diferente dirección y tamaño.

En la cuenca del San Juan se presenta una interrupción en el patrón regional de la Provincia de la costa Pacífica. Ocurren fallas con un tren regional entre $N45^\circ E$ y $N60^\circ E$ que afectan principalmente a las formaciones Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Condoto; además hacia el sur se unen a la Falla San Juan, por esta razón todas las fallas de la Zona Deformada de Istmina se agrupan dentro del Sistema de Fallas San Juan.

Hacen parte de este sistema la Falla San Juan, la Falla Las Mojarras, la Falla de Docampadó, la Falla Dipurdú de los Indios y otras fallas de poca extensión. La zona deformada está confinada a una franja relativamente angosta. Hay numerosos cambios faciales (Texas, 1990) y evidencias de tectonismo

sindeposicional. Otros elementos comunes en este tipo de tectónica (Lowell, 1985) son los grandes y abundantes saltos de unidades sedimentarias, lo cual hace difícil la correlación de reflectores. Con base en lo anterior es posible que la cuenca del San Juan, esté asociada a movimientos de rumbo cuyos rasgos dominantes son compresionales.

3.3.2.6.8.1 FALLA SAN JUAN

Esta estructura toma su nombre del río San Juan en las planchas 203 Istmina y 222 San Agustín. Es una falla de cabalgamiento de tipo lústrico con despegue horizontal ("décollement thrust"), con rumbo N 50° E y buzamiento de 70° SE (basado en el análisis de secciones sísmicas del área, (ECOPETROL et al., 1998)). Pertenece al sistema de fallas de San Juan que podría representar un movimiento convergente oblicuo, en el cual, la evidencia de cizalla está acompañada por estructuras compresionales tales como levantamientos, fallas inversas y/o cabalgamientos. La componente compresiva de este sistema de fallas estaría relacionada a los pulsos de la Orogenia Andina y al levantamiento del Istmo de Panamá, el cual pudo tener una gran componente de colisión.

3.3.2.6.8.2 FALLA LAS MOJARRAS

Esta estructura toma su nombre de la Cuchilla La Mojarra, en la plancha Istmina y se localiza en las planchas Bagadó, Istmina y Pueblo Rico. Es una falla de cabalgamiento de alto ángulo relacionada con la Falla San Juan, con rumbo N50°E y buzamiento de 68°SE.

Según Texas Petroleum Company (1990), esta falla se generó por el acomodamiento litostático del bloque colgante debido a su propio peso. Esta falla pone en contacto la Formación Tadó con la Formación Conglomerados de La Mojarra.

3.3.2.6.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

Las ocurrencias minerales del municipio de Tadó¹⁰ están representadas por minerales metálicos, con algunas manifestaciones de minerales no metálicos. Todos los minerales que se extraen en el municipio de Tadó provienen de sus aluviones auroplatiníferos, que se encuentran en las cuencas del río San Juan y sus afluentes. Las fuentes primarias para el oro en el departamento del Chocó están relacionadas con dioritas, cuarzo dioritas del Batolito de Mande y otros cuerpos intrusivos y para el platino se cree que provienen de intrusiones ultramáficas, tales como el Complejo Ultramáfico del Alto Condoto y otros que se encuentran en la cordillera Occidental.

Los depósitos aluviales cuaternarios que constituyen la mayor parte de material que se beneficia, está compuesto de guijarros en matriz arenosa pobremente seleccionada; éstos varían entre 5 y 20 cm de diámetro y conforman cerca del 70 % del depósito. En general son bien redondeados, y consisten en dioritas, gabros, basaltos, andesitas, pórfidos andesíticos, chert, cuarzo lechoso y esporádicamente se encuentran piroxenias. La carencia de los intrusivos primarios, la serpentita resulta muy débil para soportar las condiciones de transporte.

Explotaciones de mediana minería.- Las explotaciones de mediana minería se han venido desarrollando desde 1986 en su gran mayoría de forma ilegal, la explotación de los metales preciosos se realiza por medio de retroexcavadoras a cielo abierto mediante los sistemas de Open Pit (en terrazas bajas o vegas) y de placiados (en terrazas altas); para lo cual las retroexcavadoras realizan labores de remoción de estériles, arranque, carga de mina y descole.

Ninguna de éstas explotaciones cuentan con estudios geológicos que permitan inferir sobre la conformación estratífica de los planicies aluviales de las minerales del San Juan; en la mayoría de éstas minas no se desarrolla ninguna actividad de explotación sistemática de las áreas mineras a explotar, por tal motivo se tiene un conocimiento apenas superficial de las reservas y el muestreo de los minerales se hace directamente en el frente de la explotación mediante cateos poco confiables y que no representan una información segura sobre la calidad y cantidad de la reserva.

10 TADÓ, Diagnóstico final, EOT 2006 - 2016

La explotación entonces se lleva a cabo simultáneamente con la exploración lo que no permite la posibilidad de llevar a cabo el debido planeamiento de la explotación y restauración de los terrenos.

Explotaciones de minería de subsistencia o Artesanal.- En todas las quebradas, riachuelos y ríos de la geografía del municipio de Tadó se desarrolla una minería de subsistencia artesanal, consistente en extraer los metales preciosos por medio del mazamorreo o barequeo, minidragas de succión de 6 y 8 pulgadas, motobombas de alta y baja de 9 y 16 HP, monitoreos y elevadores. Este tipo de minería genera un alto número de empleo y usos de mano de obra; estos mineros no se encuentran registrados en las Alcaldías respectivas, debido a que éstas no están cumpliendo con sus funciones de tipo administrativo y policiva que les dio el código de minas a los diferentes alcaldes municipales.

En los títulos mineros existentes a la fecha en el catastro minero de la División Regional de Minas hay 31 títulos, de los cuáles, 10 se encuentran otorgados y hay 21 que se encuentran en trámite.

3.3.2.6.10 HIDROGEOLOGÍA

Los aluviones recientes de la planicie de inundación del río San Juan con gravas, arenas y limos son acuíferos regionales de alta a moderada permeabilidad, con aguas de buena calidad química. (Ingeominas, 1989).

Las formaciones Uva y Napipí afloran en la parte central de las hoyas de los ríos San Juan y Baudó. Son rocas consolidadas sedimentarias marinas con baja permeabilidad y aguas connatas salobres. (Ingeominas, 1989). La formación Uva del Oligoceno-Mioceno Inferior está compuesta por margas blancas en estratos gruesos a masivos intercaladas con arcillolitas grises, calizas detríticas de grano grueso, areniscas calcáreas de grano grueso a medio, liditas y tobas volcánicas. Las tobas y areniscas calcáreas son más frecuentes en la parte superior de la unidad, mientras que las calizas y liditas lo son en la parte inferior. Su espesor varía entre unos 600 m en el flanco de la serranía de Baudó y unos 2.000 m en el borde de la cordillera Occidental. (Haffer, J .H., 1967; Duque-Caro, H., 1990). La formación Napipí del Mioceno Medio está compuesta por arcillolitas grises masivas con algunas concreciones calcáreas y capas lenticulares de caliza. Hacia el flanco de la cordillera Occidental aparecen capas intercaladas de areniscas y

arcillolitas; su espesor general es de unos 700 m. (Haffer, J.H., 1967; Duque-Caro, H., 1990).

La cordillera Occidental está compuesta por el grupo Diabásico, la formación Cisneros y por cuernos intrusivos de tonalita. El grupo Diabásico del Cretáceo Superior está formado por enormes espesores de lavas basálticas, diques de diabasa, brechas volcánicas y lentes delgados de liditas y limolitas. La formación Cisneros del Cretáceo Superior está compuesta por pizarras, filitas, areniscas, mármoles y liditas, con un espesor total de 2.000m. (Ingeominas, 1988). En general estas rocas son impermeables.

3.3.2.7 GEOMORFOLOGÍA

El estudio “Investigación Integral del Pacífico Colombiano” realizado de manera conjunta entre el IGAC e Ingeominas, no contiene en su Tomo II “Geomorfología” un análisis detallado de la Geomorfología local, sin embargo, a continuación extractamos la información relevante que involucra la cuenca hidrográfica a la que pertenece el municipio de TADÓ.

3.3.2.7.1 UNIDADES DE ORIGEN

3.3.2.7.1.1 GEOMORFAS DE LA DEPRESIÓN ATRATO – SAN JUAN Y COSTA DEL PACÍFICO¹¹

El tercer dominio morfo estructural del Andén Pacífico corresponde a una gran cuenca plegada localizada entre la cordillera Occidental y la serranía del Baudó al norte y el océano Pacífico, al sur.

Procesos morfo dinámicos de intensa erosión fluvial ocurridos en períodos secos del Pleistoceno; un neotectonismo activo al presente por intermedio de fallas como las de Quibdó, Chachajó, Cuía, Arquía, Murindó, Remolino, Timbiquí y otras; e intensa sedimentación aluvial, fluviovolcánica, fluvio marina y marina, ocurrida en su mayor parte durante el Holoceno y la época actual, estos eventos parecen ser

¹¹ IGAC. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Geomorfología.

los responsables de las características de las unidades genéticas de ésta provincia morfológica, entre las que se destacan:

- a. Un extenso lomerío estructural - fluvio erosional
- b. Un piedemonte aluvial-diluvial
- c. Llanuras y valles aluviales
- d. Llanuras fluvio-marinas y marinas

• **Unidades de origen estructural y fluvio-erosional (C)**

Como se ha descrito antes, los sedimentos terciarios acumulados en la depresión Atrato San Juan y en la costa Pacífica fueron primero deformados y plegados, con buzamientos al este y oeste y con rumbo norte-sur. Posteriormente sufrieron varios ciclos de intensa erosión fluvial durante períodos más secos, que probablemente coincidieron con los pleniglaciales del cuaternario antiguo, para finalmente estabilizarse durante el Holoceno y en parte hasta el período actual. Como resultado de la acción de los eventos anteriores, se ha modelado un extenso lomerío que cubre la mayor parte de la gran cuenca, desde el Chocó hasta Nariño, el cual se ha subdividido con fines prácticos, en cuatro unidades menores, con base a una combinación de varios factores entre los cuales se pueden mencionar:

- a. Rasgos morfológicos predominantes hoy en día
- b. Naturaleza de los materiales litológicos
- c. Localización espacial

La Unidad (C3), más extensa y continua está constituida por barras homoclinales, cuyos estratos alternos de areniscas feldespática y arcillolitas o limolitas presentan un fuerte buzamiento, tal vez superior a 60 grados. Los materiales más duros y resistentes sobresalen como barras paralelas de 5 a 50 metros de altura, separadas por las depresiones que corresponden con los materiales más blandos y removibles por la erosión. El sistema de drenaje predominante es de tipo trellis, con fuerte control estructural, denso y poco profundo.

Dos unidades de menor extensión y correspondientes al mismo paisaje, fueron cartografiadas entre bahía Málaga y el delta del río San Juan. El buzamiento de sus estratos, medido en campo, fue superior a 72 grados. Llama poderosamente la atención el paralelismo rectilíneo de estas barras, su localización espacial, ya que hace difícil la explicación de su geogénesis debido a su posición casi vertical y por otra parte al recubrimiento parcial con sedimentos cuaternarios de origen marino o tal vez fluvial, pertenecientes al río San Juan, los cuales al parecer

fueron sollevantados tectónicamente y luego removidos en parte por la subsiguiente acción de la erosión.

- **Plano de inundación meándrico del río San Juan y tributarios (L4)**

El río San Juan, una vez que emerge de la cordillera Occidental a la altura de la población de Tadó, corre hacia el sur y gira finalmente hacia el oeste, hasta desembocar en el océano Pacífico. En ese trayecto ha originado, junto con sus afluentes de la margen izquierda como son los ríos: Tamaná, Cajón, Sipí, Cucurupí, Capomá, Munguidó y Calima, sendos valles aluviales relativamente estrechos, de uno a cinco kilómetros de amplitud, incluidos los planos inundables y sus terrazas. El conjunto aparece limitado en toda su extensión por el lomerío correspondiente a las unidades (C4) y (C6).

En cuanto al plano inundable, éste corresponde hidrológicamente a un patrón meándrico típico a meándrico-trenzado (tramos superiores), el cual no obstante, no muestra el característico desarrollo y corte frecuente de meandros abandonados colmatados o no, debido tal vez a la misma estrechez del valle que impide las migraciones laterales de la corriente. En consecuencia, en este paisaje únicamente se reconocen complejos de orillares conformados por capitas actuales de aluviones francoso-gruesos a francoso finos en las partes convexas, y arcillosas en las partes cóncavas en donde además las condiciones de hidromorfismo son más marcadas.

Comparando los planos de inundación del río San Juan y del río Atrato, se puede destacar que aquel correspondiente al primero no tiene las características pantanosas del segundo; es más estrecho y sus aluviones, en general son más gruesos. En cuanto al plano de inundación de los tributarios del río San Juan, se destaca en este contexto el correspondiente a los ríos Cajón y Sipí, en cuya confluencia ha sido más activo el proceso de meandrificación con formación de varias generaciones de orillares. En los restantes valles se resalta la formación de pequeños glaciares coluviales al pie de las colinas que los rodean; además, sus aluviones contienen más arena y con frecuencia gravilla y guijarros en los estratos inferiores, especialmente en los tramos próximos a la cordillera.

3.3.2.8 RIESGOS Y ZONAS DE RIESGO¹²

Las características geológicas regionales (colisión de placas tectónicas, fallas, etc.) y la distribución orográfica en combinación con el régimen climático (Corriente de Humboldt, vientos alisios, faja climática tropical), generan algunas características relevantes para esta porción del continente, tales como la actividad sísmica tectónica y altas pendientes y el régimen pluvial en general elevado y controlado por sistemas montañosos y de vertiente.

Los riesgos de tipo geológico que se pueden presentar en las cabeceras de los municipios de Departamento del Chocó son:

3.3.2.8.1 DESLIZAMIENTOS

Debido a la localización geográfica de Colombia, está influenciada por el clima de tipo ecuatorial tropical, razón por la cual los procesos de meteorización y erosión son fenómenos que continuamente afectan las diferentes rocas y formaciones que moldean el relieve del país.

Los riesgos por deslizamientos en el departamento de Chocó se presentan debido a varios factores:

- La constitución geológica del área donde están construidos los municipios.
- La intensidad y régimen pluviométrico
- Las fuertes pendientes
- Carencia de la cobertura vegetal; por prácticas culturales inapropiadas.
- Explotaciones mineras.

La mayoría de las poblaciones del Departamento del Chocó no presentan riesgos evidentes por la constitución geológica del área donde están constituidas; en cuanto a los otros factores el mal manejo del medio ambiente, las poblaciones que presentan deforestación y explotación minera en sus alrededores exponen mayores riesgos.

¹² TADÓ, Diagnóstico final, EOT 2006 - 2016

El municipio de Tadó presenta riesgos por deslizamientos debido a que el desarrollo de esta zona enmarco su desarrollo económico sobre la base de una economía extractivista de sus recursos naturales como le ha sido la explotación minera y la explotación forestal. La carretera que comunica al departamento con el interior del país, no cuenta con adecuado mantenimiento como son los colectores de agua, cunetas, alcantarillado, etc.; que sumado a factores de diseño y construcción de las vías, hace que presenten en esta frecuentes deslizamientos, dejando al departamento incomunicado, este es el caso de la vía Pueblo Rico-Santa Cecilia- Tadó, cuya apertura y ampliación cortó depósitos cuaternarios de diverso origen y poco consolidados.

Los taludes no fueron adecuadamente protegidos, el resultado es una vía con frecuentes desprendimientos de rocas y suelo que taponan la misma.

A nivel rural, el riesgo es alto si centramos la atención en que la mayor población está asentada en la parte alta de las cuencas de los ríos San Juan, Mungarrá, Chato, Tadocito y afluentes, lo que indica que las construcciones están al pie de elevaciones de tierra y otras en las proximidades a las riberas de los ríos.

Un gran acierto es la reorganización e impulso que la administración municipal ha dado a partir del año 2005 al Comité Municipal para la prevención y Atención de Emergencias y Desastres, pero aún se requiere mayor aporte para las tareas preventivas que se deben adelantar y para la atención de las emergencias que llegaren presentarse.

3.3.2.8.2 INUNDACIONES

Este fenómeno sucede periódicamente, producido por las lluvias que constituyen los dos periodos invernales típicos de la región que son entre Abril - Junio y entre Septiembre - noviembre, con precipitaciones que oscilan entre los 6800 a 7600 mm anuales.

Cuando se presentan incrementos en los caudales, originados por el aumento en la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias y se supera la cota de desborde, se presentan las inundaciones afectando la parte económica y social de las poblaciones que recorren corrientes como el San Juan, Mungarrá, Chato, Tadocito, Pureto, Muerto y Piña, así como los afluentes menores de estos ríos que por su condición actual de estar bastantes sedimentados por la actividad minera

que desde hace algunos años se desarrolla sin control causan inundaciones en las poblaciones que están cerca de sus riberas a nivel rural y urbano, generando pérdidas de bienes y alto riesgo para los habitantes; esto genera también una zona a nivel urbano de alto riesgo para las viviendas que están en vecindad con los ríos San Juan y Mungarrá por las condiciones de deslizamiento que se generan.

El municipio de Tadó a pesar de encontrarse situado en la parte alta de la cuenca del río San Juan, mantiene el riesgo de inundación en un nivel alto.

3.4 DATOS ESPECÍFICOS DEL PACIENTE

3.4.1 ÁREA TOTAL

El tanque en estudio, posee dimensiones de 15.50 m por 11.30 m para una área total en planta de *Ciento Setenta y Cinco Metros Cuadrados* (175 m²).

3.4.2 VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

El volumen total es de 175 m² x 4.1 m = 717,5 m³

El volumen de almacenamiento es 165 m² x 3.65 m = 602,2 m³

3.4.3 ALTURA TOTAL

La altura del tanque medido en exterior es de 4.50 m en promedio.

3.4.4 NORMATIVA QUE REGLAMENTO LA CONCEPCIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS.

3.4.4.1 NORMATIVA URBANA

No existe

3.4.4.2 NORMATIVA TÉCNICA

Reglamento de Agua Potable y Saneamiento - RAS 2000.

Norma Colombiana de Sismo Resistencia – NSR 10.

3.4.5 INTERVENCIONES PREVIAS

Se encontró que hace más de 5 años se inició una intervención, consistente en adicionar recubrimiento a la tapa, compuesto de una losa en concreto simple, ésta intervención no se terminó y sólo alcanzó a cubrir un 10 % de la tapa.

En el año 2015 se realizaron trabajos de modificación de la hidráulica de entrada y salida del tanque, mejorando el comportamiento del tanque de almacenamiento permitiendo su uso después de varios años de abandono.

Se evidencia además, que se adicionó una película a las paredes, posiblemente con el fin de impermeabilizar las paredes.

3.4.6 LICENCIAS DE CONSTRUCCIÓN OTORGADAS EN EL TIEMPO

No se encontró registro de la construcción.

3.4.7 PLANES ESPECÍFICOS QUE SE TIENEN (TIPO DE INTERVENCIÓN, USO PROYECTADO, ETC.)

Se encontraron planos elaborados en el proyecto “OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE NUQUÍ Y DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TADÓ”, contrato elaborado entre 2013 y 2015.

3.4.8 TIPO DE INFORMACIÓN EXISTENTE PARA EL ESTUDIO:

3.4.8.1 PLANOS

En el proyecto “OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE NUQUÍ Y DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TADÓ”, se encontraron los siguientes planos:

- LT1-TD-ACU1-TQ ALC EXIST-005-REC-PLANO HIDRAULICO
Muestra detalles hidráulicos de entrada y salida de tuberías y la instalación de nuevos accesorios, que inhabilitan los existentes.
- LT1-TD-MODULOS PTAP-REC-2.PERFILES HIDRÁULICOS
- Muestra el perfil de las obras a construir y en este se muestra además el tanque existente, del cual se puede resaltar que tiene cotas a la tapa superior de 93.96m
- LT1-TD-MODULOS PTAP-REC-8.LA LOMA
Muestra la zona en planta en donde se ubican los tanques nuevos y el tanque existente.

3.4.8.2 ESTUDIO DE SUELOS

Se encontró un estudio de suelos elaborado en enero del 2014 dentro del contrato de OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ACUEDUCTO DE LOS MUNICIPIO DE BAHÍA SOLANO, NUQUÍ, TADÓ Y ATRATO DEL DEPARTAMENTO DE CHOCO, en cuyo alcance se tiene previsto el chequeo y ajuste de los productos elaborados en el proyecto “ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA PROYECTOS DE ACUEDUCTO, SANEAMIENTO BÁSICO Y PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS EN EL MARCO DE LOS PLANES DEPARTAMENTALES DE AGUA PARA EL DEPARTAMENTO DE CHOCÓ” ejecutados por el CONSORCIO ESSMIN en febrero del 2009, nombrado “DISEÑOS GEOTÉCNICOS DE LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO EN EL MUNICIPIO DE TADÓ – CHOCO” elaborado por la empresa GEKOA Ingeniería S.A.S.

3.4.8.3 OTROS REGISTROS

Se encontró además una Evaluación Estructural del tanque, elaborada por el ingeniero Guillermo Ardila en febrero del 2015.

3.5 REVISIÓN DEL SUELOS DE FUNDACIÓN

Se realizó revisión de cimentación del tanque, como también se extrajeron muestras inalteradas para verificar las características del suelo de fundación, se presentan las principales conclusiones del estudio de suelos elaborado por el Ingeniero José Alberto Córdoba Arias:

- Los suelos encontrados son aluviales originados por los procesos de sedimentación del río San Juan en los cuales están comprometidos diferentes condiciones hidráulicas, desde fluviales hasta períodos de baja velocidad que dieron origen a los estratos de suelos finos, propios de ambientes de depositación lacustre, fundamentalmente se encuentra un depósito formado por varios estratos de arcillas, gravas arcillosas y suelos residuales de compacidad media a alta. Los suelos finos tienen capacidad portante de media a firme y los suelos gruesos buena compacidad, tal como lo muestran las diferentes medidas que se hicieron en campo y en el laboratorio.
- El nivel freático (N.F.), no se encontró durante las perforaciones, pero éste tiene tendencia a ascender en épocas de lluvia fuertes, ya que este es controlado por el río San Juan, las quebradas aledañas al sitio del proyecto y los frentes de humedad que descienden de la superficie. Por esta razón la profundidad a la que se encuentra el manto freático fluctúa con las épocas de sequía y lluvia. En el área y en particular en el terreno de construcción del proyecto no se presentan condiciones de inundación. Éste aspecto debe tenerse en cuenta en la construcción de cualquier obra subterránea.
- De acuerdo con la NSR-10, el Departamento del Chocó se encuentra en la zona de amenaza sísmica alta, es decir se pueden alcanzar aceleraciones laterales de 0.20 g., en particular el coeficiente Aa para el municipio de Tadó es de 0.35 g, por esto el diseño de cualquier estructura debe concebirse considerando amenaza sísmica alta, de tal manera que se tengan construcciones seguras para la vida humana ante la alta probabilidad de ocurrencia de sismos de alta magnitud e intensidad en esta región del país.

Algunas de las recomendaciones dadas en el estudio son:

- Como solución de cimentación se recomienda una cimentación superficial directa sobre la arcilla inorgánica (CL) de color rojo de claro a oscuro con vetas amarillas oscuras y café, mediante losa de cimentación, colocada a una profundidad de desplante de 1.50 m, es decir penetrando aproximadamente 1.10 m en el estrato de cimentación y con una capacidad portante admisible de 33.0 Ton/m².

También se podría hacer un reemplazo en concreto ciclópeo, suelo cemento o material granular bien compactado del suelo de fundación con las especificaciones dadas anteriormente, esta solución tiene la ventaja de que facilita el amarre del hierro de la cimentación de la estructura de contención.

- Ningún tipo de estructura se deberá fundar sobre material con contenido orgánico, si éste es encontrado se debe reemplazar en su totalidad, en la medida de lo posible, pues es susceptible de sufrir grandes deformaciones bajo la acción de cargas.
- Los pisos se apoyarán sobre un lleno compactado hecho con material granular, en caso de encontrar material orgánico, el reemplazo debe ser realizado con material granular limpio bien compactado tal como la grava arenosa arcillosa que se extrae del río San Juan o Mungarrá al cual se le colocará en la parte superior material granular limpio del río San Juan con el objetivo de mejorar la superficie de apoyo y evitar que los pisos se mantengan húmedos por capilaridad.
- Para la construcción de los muro del tanque, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos: Los problemas para la estabilidad de los muros a corto, mediano y largo plazo, que se pueden presentar son los siguientes:
 - Desestabilización del terreno durante la etapa de construcción.
 - Riesgo de flotación por efecto de la supresión.
 - Empujes de tierra contra las paredes del muro, que por estar enterrado estará sometido a la presión lateral del suelo adyacente.
- Para evitar la desestabilización del terreno durante la construcción se recomienda abatir adecuadamente el talud de la excavación o mejor entibar la excavación para evitar algún riesgo de inestabilidad. Además deben controlarse las aguas superficiales ya que éstas contribuyen de manera desfavorable a la estabilidad. El ángulo de inclinación de los taludes deberá ser determinado por el ingeniero a cargo de la construcción de la obra.
- El espacio entre los muros y el talud deberá ser llenado con material granular, grava arenosa de río. Para el cálculo del empuje de tierras contra el muro, deberá usarse un ángulo de fricción interna para el suelo de 30° , con el cual se podrán calcular los empujes (E_a).

Aplicado a $H/3$ de la base del muro. Si se construye un sistema de drenajes del suelo de superficie y del de relleno se puede eliminar del empuje total el empuje hidrostático. En caso contrario se asume el nivel freático en la corona del muro. (Peso unitario del agua = 1.0 Ton/m^3).

- Es importante que la obra se realice en época de verano y se tomen las precauciones de seguridad al realizar las excavaciones, y utilizar entibación a juicio del ingeniero que dirige la obra.
- Este informe se efectuó con base en los resultados de la campaña de exploración del subsuelo y en el programa de ensayos de laboratorio. En caso de encontrarse condiciones diferentes a las aquí consignadas se deberá informar a la mayor brevedad al ingeniero geotecnista para analizar la situación y verificar las condiciones propias de los cambios que se requieran efectuar. Cualquier modificación que se quiera realizar, deberá consultarse con un profesional competente, quien deberá tener en cuenta éste estudio.
- Es importante que durante la construcción de las cimentaciones se mantenga informado al consultor sobre los avances de ésta o se cuente con su presencia o en su defecto con un profesional especialista en el área de geotecnia, para que verifique que las condiciones de campo sean las esperadas de acuerdo con los resultados de este estudio, y para que él mismo indique los ajustes necesarios si la situación lo exige.
- De acuerdo con las normas Colombianas de construcción SISMO RESISTENTE (NSR-10), para efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben considerarse los siguientes parámetros Geotécnicos y Sísmicos:

Tabla 6 Parámetros Geotécnicos y Sísmicos

PARÁMETROS GEOTECNICOS Y SISMICOS RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA (De acuerdo con la NSR – 10)		
1	Suelo de cimentación de las zapatas	Fino granular
2	Profundidad de cimentación de las zapatas	$D_f = 1.50 \text{ m}$
3	Capacidad Portante Última, $Q_{ult.}$	$Q_{ult.} = 101.0 \text{ ton/m}^2$
4	Capacidad Portante admisible en, $Q_{adm.}$	$Q_{adm.} = 33.0 \text{ ton/m}^2$
Para efectos locales de la respuesta sísmica de la Estructura:		
5	Zona de Amenaza Sísmica(NSR-10)	Alta
6	Coeficiente de Aceleración lateral Pico Efectiva	$A_a = 0.35g$
7	Coeficiente de Aceleración de Velocidad Horizontal Pico Efectiva	$A_v = 0.35g$
8	Coeficiente de Amplificación	$F_a = 1.15$
9	Coeficiente de Amplificación	$F_v = 1.70$
10	Tipo de Perfil de Suelos	D
11	Coeficiente de Sitio	$S = 1.5$
12	Coeficiente de Importancia	$I = 1.0$

- No obstante las recomendaciones presentadas el constructor debe evaluar durante el avance de los trabajos si las condiciones asumidas con base en la exploración para el diseño son aplicables o no, ya que las recomendaciones anteriores son válidas para las profundidades exploradas.
- En la obra deberá disponerse de una copia de este informe como documento de apoyo y orientación en la construcción de las fundaciones. Cualquier modificación que se quiera realizar, deberá consultarse con un profesional competente, quien deberá tener en cuenta éste estudio.
- Se recomienda obras de drenaje continuo de aguas lluvias y superficiales durante la construcción y la vida útil de la estructura para así garantizar la estabilidad de la estructura.

Para revisar más detalles del estudio ver anexos técnicos Estudio de Suelos.

3.6 LA ESTRUCTURA

3.6.1 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

El tanque en estudio es de concreto reforzado, con muros vaciados monolíticamente y tapa en sistema de losa aligerada en casetones de estera.

3.6.2 CONSTATAción DE LA FIDELIDAD DE LOS PLANOS.

Al comparar el levantamiento realizado con los planos encontrados en la investigación, se encontraron algunas diferencias en la parte estructural, la más relevante es el espesor de los muros el cual es de 21 cm en promedio y no de 40 cm como aparece en los planos descritos.

3.6.3 CONSTATAción DEL RESPETO DE LA NORMATIVA A LA FECHA DE LA CONSTRUCCIÓN

Por la época de construcción del tanque, se considera que se debió construir siguiendo las recomendaciones del CCCS-83.

3.6.4 ANÁLISIS DE CARGAS

Tabla 7 Evaluación de cargas actuantes en el tanque de almacenamiento de agua potable.

ID	Elemento	Cant.	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Vol. (m3)	Peso (Kg/m3)	Peso Total (kg)
1	Muros	2,00	15,50	0,20	3,91	24,24	2.400,00	58.180,80
2	Muros	2,00	10,90	0,20	3,91	17,05	2.400,00	40.914,24
3	Losa de Fondo	1,00	15,50	11,30	0,31	54,30	2.400,00	130.311,60
4	Tapa							49.255,73
4,1	Viga Intermedia	1,00	15,10	0,40	0,50	3,02	2.400,00	7.248,00
4,2	Viguetas	18,00	10,90	0,13	0,17	4,34	2.400,00	10.406,45
4,3	Loseta Superior	1,00	15,10	10,90	0,08	13,17	2.400,00	31.601,28
Peso Total Tanque:								278.662,37
5	Agua	1,00	15,10	10,90	3,65	600,75	1.000,00	600.753,50
Peso Total Tanque + Agua:								879.415,87

3.6.5 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL TANQUE

3.6.5.1 Planos del levantamiento de lesiones, y geometría del Tanque

Se realizaron planos de levantamiento geométrico Lev 1/2 y 2/2 y los planos de lesiones LES 1/2 y 2/2.

3.6.5.2 Hipótesis de análisis y parámetros sísmicos

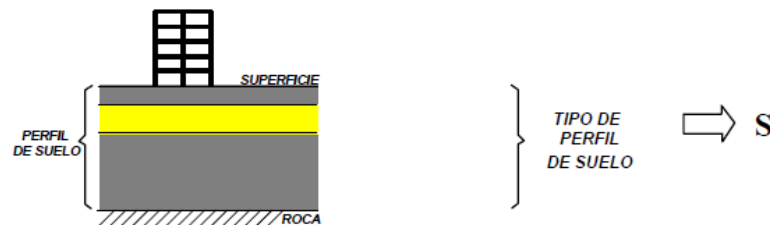
a. Localización y nivel de amenaza sísmica

El tanque en estudio se encuentra ubicado en el municipio de Tadó, Departamento del Chocó.

Según esta ubicación y de acuerdo a la tabla A.2.2 NSR-10. La aceleración pico efectiva tendría un valor de $A_a = 0.35$ y un valor de la aceleración vertical $A_v = 0.35$, para zona de amenaza sísmica alta.

b. Movimientos sísmicos de diseño

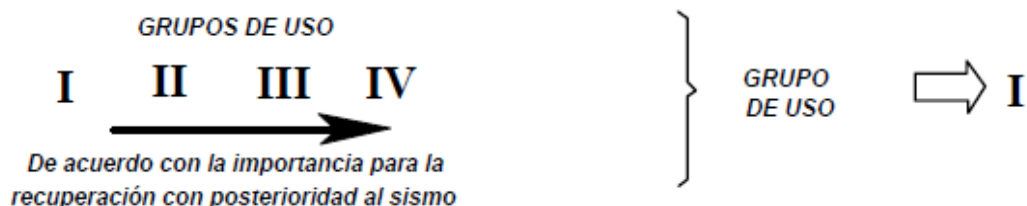
Según datos recopilados en el sector donde se realizará la construcción de la edificación tenemos:



Tipo de Perfil del suelo: **D** Según NSR-10

Coefficiente de Amplificación (F_a) = 1.15

Coefficiente de Amplificación (F_v) = 1.70



Uso de la edificio. Según NSR-10

Grupo IV. Coeficiente de importancia $I = 1.50$

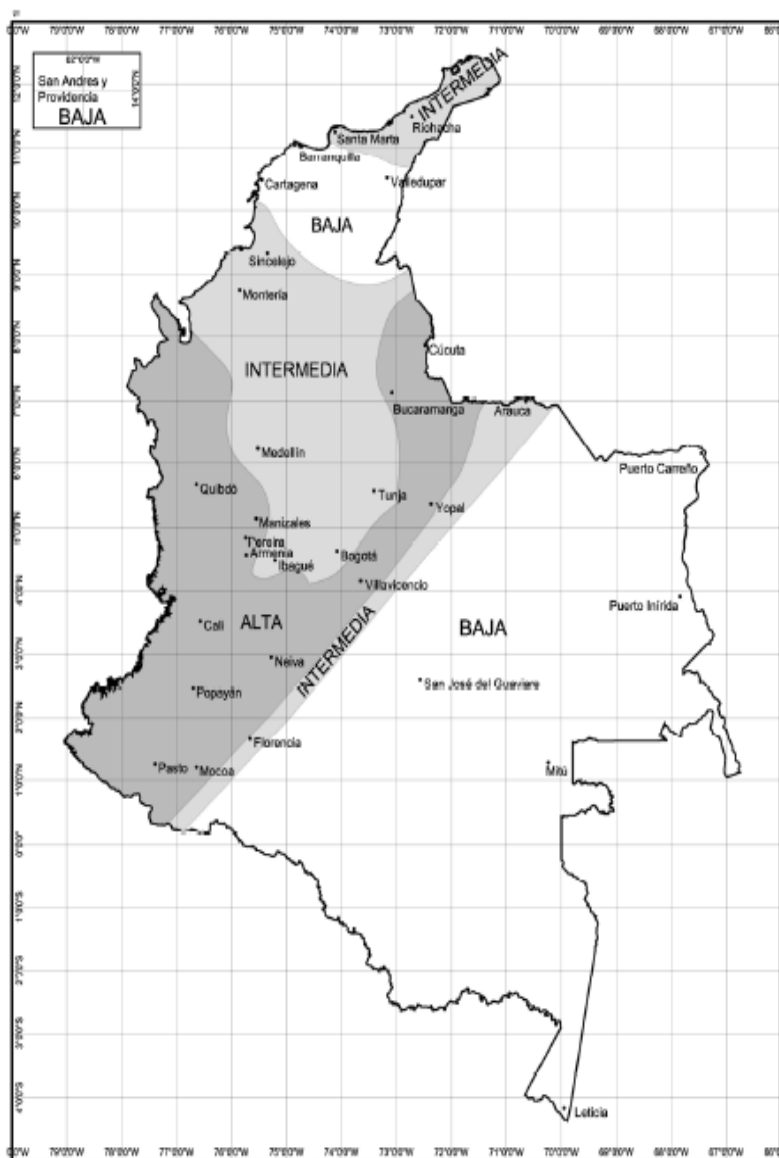


Ilustración 7 Zonas de amenaza sísmica, tomada de la NSR-10.

c. Características de la estructuración

El sistema estructural utilizado es a base muros vaciados en concreto reforzado monolíticos, la losa de fundación es una losa maciza y la tapa superior es una losa aligerada con casetones de estera, posee dos

columnas en su interior que trabajan de forma conjunta con las losas de cimentación y aligerada, para dar estabilidad general al tanque.

d. Cargas de diseño

Para la estimación de las cargas de diseño, se definieron siguiendo las recomendaciones dadas en el título B del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

I. Cargas Muertas

Componente	Carga
Muros	58.18 ton
Muros	40.91 ton
Losa de cimentación	130.31 ton
Losa de Cubierta (Tapa)	49.26 ton
total	278.66 ton

II. Cargas Vivas

Ocupación	Carga
Agua	600.75 ton
Uso	180 Kg/m ²

e. Especificaciones técnicas de los materiales estructurales empleados

De acuerdo a los ensayos de laboratorio e insitu, tendríamos los siguientes resultados:

➤ Frente de Carbonatación:

N° Punto	Profundidad de Carbonatación (mm)	Descripción
1	Mayor a 6	tapa
2	Mayor a 6	pared antena

N° Punto	Profundidad de Carbonatación (mm)	Descripción
3	Mayor a 6	pared vía
4	Mayor a 6	pared tanque nuevo
5	Mayor a 6	pared viviendas

Se tiene una profundidad de carbonatación mayor a 6.0 mm para todos los puntos.

➤ Esclerometría:

N° Punto	F'c superficial promedio (Mpa)	F'c corregido (Mpa)	Descripción
1	15.0	9.3	tapa
2	30.0	18.6	pared antena
3	27.0	16.7	pared vía
4	23.3	14.5	pared tanque nuevo
5	30.0	18.6	pared viviendas

Se tiene una resistencia promedio de 26.0 Mpa antes de ajuste por carbonatación y de 15.5 Mpa después de ajuste por frente de carbonatación, se anexa cuadro con análisis de resultados de campo¹³.

➤ Núcleos¹⁴:

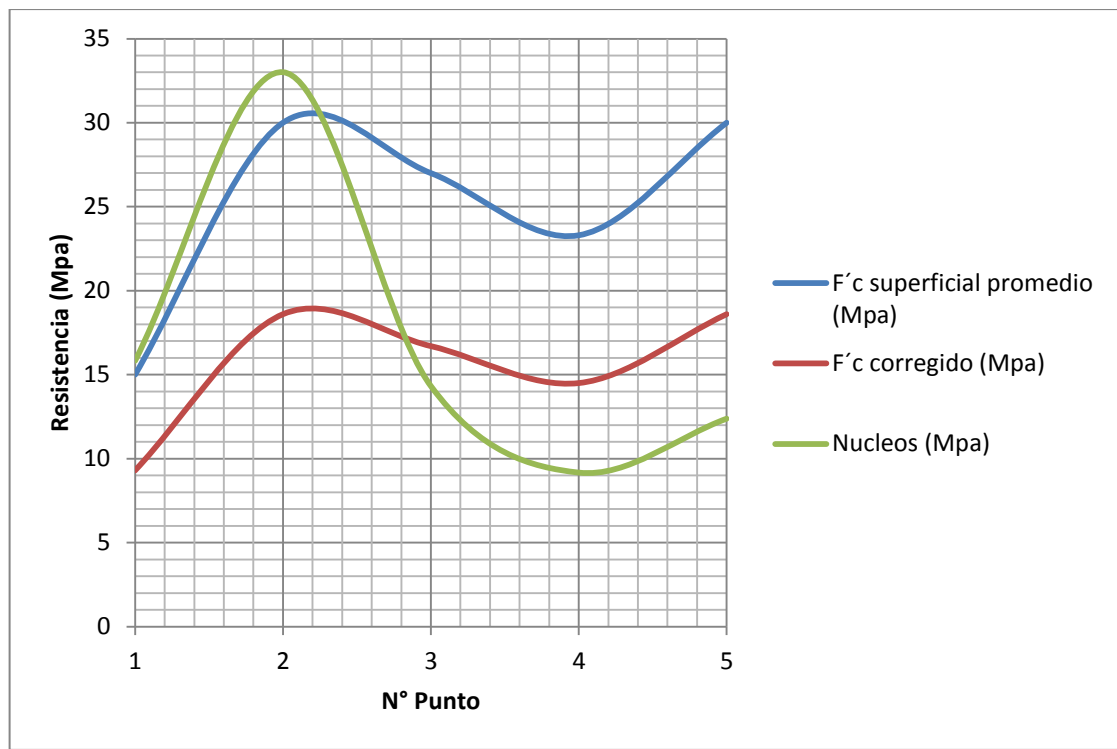
N° Punto	F'c (Mpa)	Descripción
1	15.83	tapa
2	33.01	pared antena
3	14.32	pared vía
4	9.17	pared tanque nuevo
5	12.38	pared viviendas

Se tiene una resistencia promedio de 16.94 Mpa. La menor resistencia se obtuvo en la pared tanque sobre el tanque nuevo con 9.17 Mpa.

¹³ Ver Anexo – Ensayo de esclerometría realizado en el tanque de almacenamiento, elaboración propia.

¹⁴ Resumen tomado de los resultados de laboratorio, elaborados por la UTCH.

➤ Correlación de Resistencias Esclerometría ajustada vs Núcleos



f. grado de irregularidad y procedimiento de análisis

Coeficiente de irregularidad en planta $\phi_p = 1.0$ NSR-10 Sección A.3.3

Coeficiente de irregularidad en altura $\phi_a = 1.0$ NSR-10 Sección A.3.3

Luego entonces el coeficiente de capacidad de disipación de energía R, sería:

$$R = \phi_p \times \phi_a \times R_o \quad 1.0 \times 1.0 \times 7.0$$

$$R = 7.0$$

g. resumen de parámetros de diseño

Parámetros de diseño según las características del proyecto según la NSR-10.

Tabla 8 Parámetros de Diseño

PARÁMETRO		VALOR
Coeficiente de aceleración	Aa	0.35
Coeficiente de aceleración Vertical	Av	0.35
Coeficiente de Amplificación	Fa	1.15
Coeficiente de Amplificación	Fv	1.70
Clasificación del perfil del suelo	D	
Coeficiente de Importancia	IV	1.50
Altura medida desde la base a la losa de cubierta (m)	hn	4.15
Coeficiente de disipación de energía	R	7.0

3.7 RESULTADO DEL ESTUDIO

3.7.1.1 Índice de sobrefuerzos en la losa de tapa

Al revisar la losa que sirve como tapa, estimando una carga viva de servicio de 180 Kg/ m2, se obtuvieron los siguientes resultados:

Referencia del Proyecto: RECUPERAR EXISTENTE

III. SOLICITACIONES IV. MATERIALES

I. GEOMETRIA BASICA II. LONGITUD DE TRAMOS

Plaqueta Superior H. L. 0.08
Anch Viga 0.13
Anch Caset 0.7 H. Caset 0.99999
H. L. 0.25
Corte a Ejes de Vtas 0.83
Plaqueta Inferior H. L. 0.00000

CORTE TIP. DE LOSA

PLANTA TIP. DE LOSA

INFORMACIÓN DE LAS VIGUETAS

Nombre o Referenc de la Vigueta	VT-1
Número de Tramos de la Vigueta	2
Voladizos en la Vigueta	San Voladizos
Ancho B de la Vigueta (m)	0.13
Altura Total de la Placa, H (m)	0.25
Altura [Espesor] Plaqueta Sup (m)	0.08
Altura [Espesor] Plaqueta Inf (m)	.000000000
Separación Viguetas [a ejes] (m)	0.83

SIGUIENTE

DETALLE DE TODAS LAS CARGAS DE LA LOSA Y LA VIGUETA

TIPO DE CARGA	Detalle Cálculos	Carga Aplicada
Plaqueta Superior	0.08 x 2.4	0.192 tm2
Plaqueta Inferior	0.000000000000001 x 2.4	0 tm2
Vigueta	0.169999999999999 x 2.4	0.064 tm2
Acabado Superior	80 / 1000	0.08 tm2
Acabado Inferior	0 / 1000	0 tm2
Muros Divisorios	0 / 1000	0 tm2
Aligerante (Casetón o Equiv)	35 / 1000	0.035 tm2
Carga Muerta Total Losa		0.371 tm2
Carga Viva Aplicada Losa		0.18 tm2
Carga Muerta Vigueta	0.371 x 0.83	0.308 tm
Carga Viva Vigueta	0.18 x 0.83	0.149 tm

ACTUALIZAR TABLA Y GRAFICA DISEÑAR VIGUETA SALIR

MÓDULO LOSAS NSR-10 ACI-318-08 DISEÑO DE LOSAS ALIGERADAS EN 1 DIRECCION

Ilustración 8 Datos de entrada. Software Modulo Losas NSR-10.

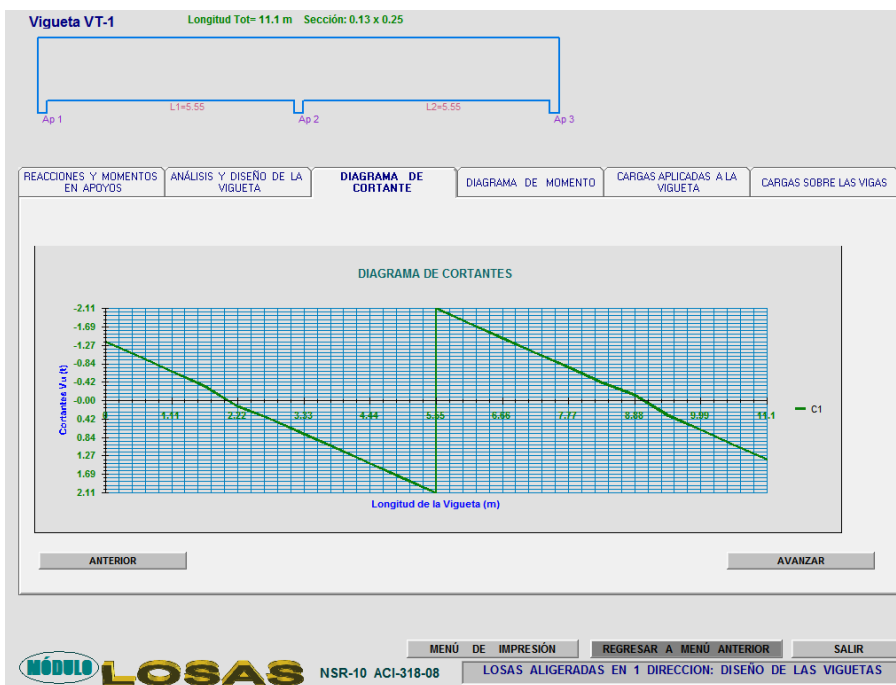


Ilustración 9 Cortante en la losa. Software Modulo losa NSR-10.

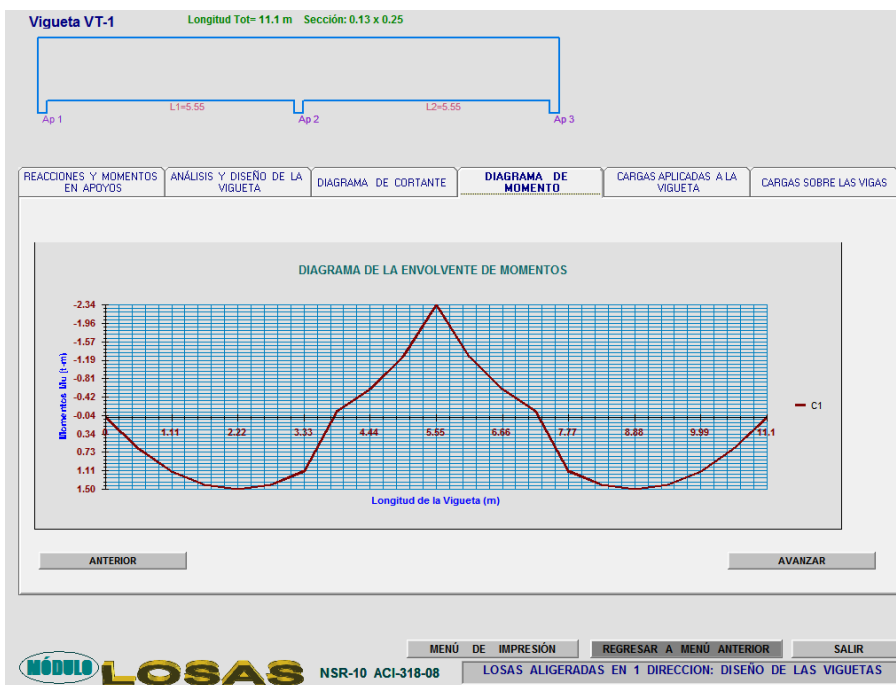
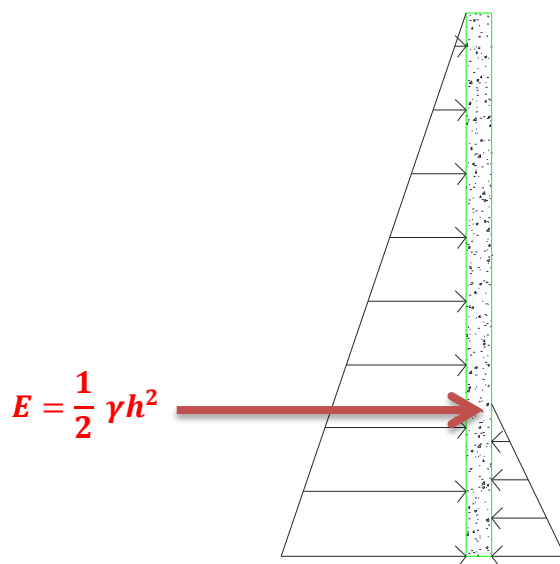


Ilustración 10 Momento en la losa. Software Modulo losa NSR-10.

3.7.1.2 Fuerzas resultantes en los muros



Para un factor de seguridad de 3, se tendría las siguientes solicitaciones:

Tabla 9 Solicitaciones en las paredes del tanque.

DISEÑO DE PAREDES DE TANQUES	
DIMENSIONES DEL ESTANQUE	
Altura del Tanque (m):	4.2
Espesor de las paredes (Cm):	20.0
Recubrimiento (Cm):	7.5
d (Cm):	12.5
Volumen de agua almacenado (m3):	165.39
Peso del agua almacenada (ton):	165.39
SOLICITACIONES / ml	
CARA DEL AGUA	
qu (Kg/m2):	12,600.00
Momento Actuante (Kg-Cm):	37,044.00

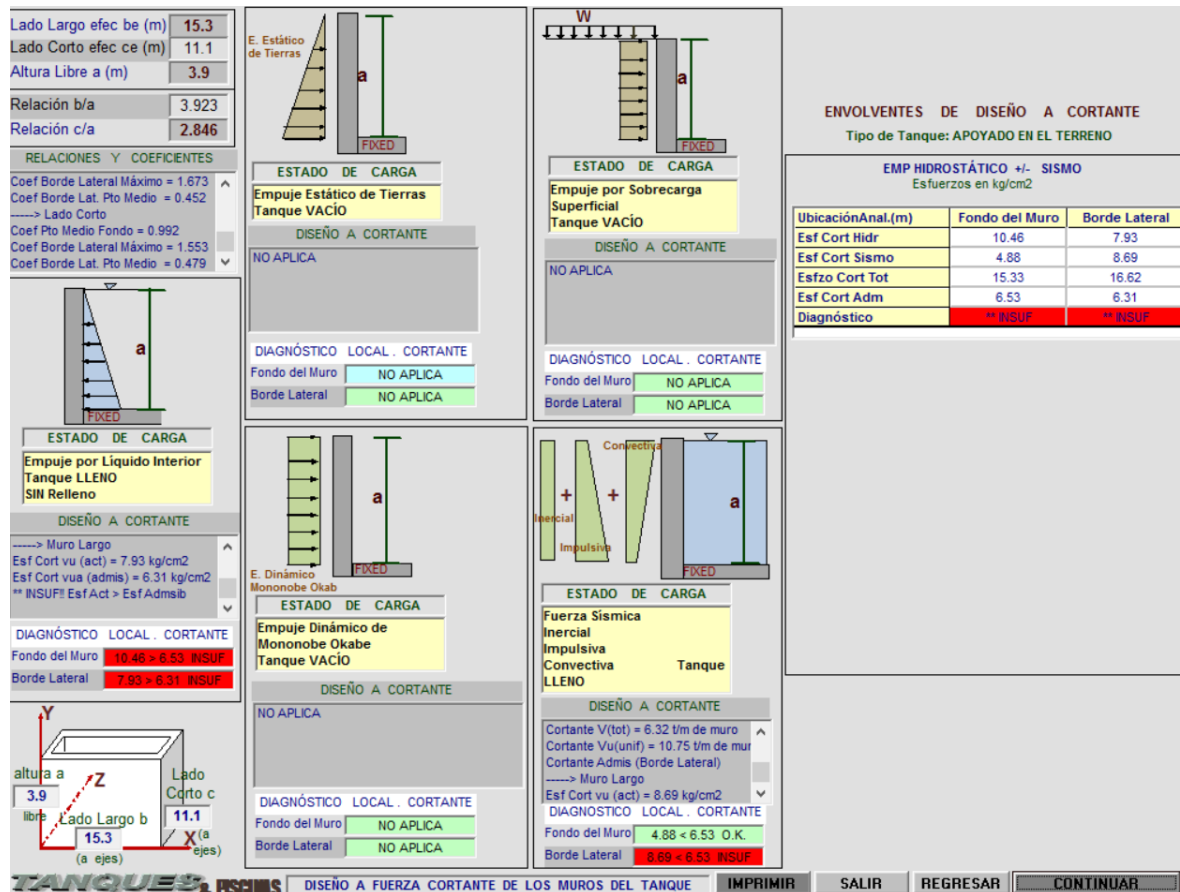


Ilustración 11 Resultado de la revisión de las paredes del tanque; software modulo tanques,

Al chequear el Tanque con la ayuda del Software de Diseño Modulo Tanques NSR-10, creado por el ingeniero Fernando Medina, nos encontramos que el espesor de los muros es insuficiente, dado que tenemos:

Tabla 10 Cortante en Fondo de Muros

ESTADO DE CARGA	CORTANTE ACTUANTE	CORTANTE ADMISIBLE	ÍNDICE DE SOBRE ESFUERZO	CUMPLIMIENTO
Empuje por Liquido Tanque Lleno	10.46 Kg/cm2	6.53 Kg/cm2	1.60	No Cumple
Fuerza Sísmica, Inercial, Impulsiva y Convectiva, Tanque Lleno.	4.68 Kg/cm2	6.53 Kg/cm2	0.72	Cumple

Tabla 11 Cortante en Borde de Muros

ESTADO DE CARGA	CORTANTE ACTUANTE	CORTANTE ADMISIBLE	ÍNDICE DE SOBRE ESFUERZO	CUMPLIMIENTO
Empuje por Líquido Tanque Lleno	7.93 Kg/cm ²	6.53 Kg/cm ²	1.21	No Cumple
Fuerza Sísmica, Inercial, Impulsiva y Convectiva, Tanque Lleno.	8.69 Kg/cm ²	6.53 Kg/cm ²	1.33	No Cumple

En conclusión de la revisión de los esfuerzos en los muros tenemos:

Tabla 12 Revisión de esfuerzos en los muros del tanque.

UBICACIÓN DEL ANÁLISIS	FONDO DEL MURO	ÍNDICE DE SOBRE ESFUERZO	BORDE LATERAL MURO	ÍNDICE DE SOBRE ESFUERZO
Esfuerzo Cortante Hidrostático	10.46 Kg/cm ²	1.60	7.93 Kg/cm ²	1.21
Esfuerzo Cortante Sismo	4.68 Kg/cm ²	0.72	8.69 Kg/cm ²	1.33
Esfuerzo Cortante Total	15.33 Kg/cm ²	2.38	16.62 Kg/cm ²	2.55
Esfuerzo Cortante Admisible	6.53 Kg/cm ²		6.53 Kg/cm ²	
Diagnostico	No Cumple		No Cumple	

Se puede observar del grafico anterior, que el índice de sobreesfuerzo total en el fondo de los muros es de 2.38 y así mismo el esfuerzo en el borde lateral es de 2.55.

3.7.1.3 Esfuerzos en la losa de Cimentación

$$A = 15.50 * 11.30$$

$$A = 130 \text{ m}^2$$

Peso del tanque = 278.66 ton

Peso del Agua = 600.75 ton

Peso Total = 879.41 ton

- Condiciones estáticas:

Esfuerzo vacío:

$$\sigma = \frac{278.66 \text{ ton}}{130 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 2.14 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Esfuerzo Lleno:

$$\sigma = \frac{879.41 \text{ ton}}{130 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 6.77 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

- Condiciones Dinámicas: considerando una amplificación del 35% en las cargas

Esfuerzo vacío:

$$\sigma = 2.90 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Esfuerzo Lleno:

$$\sigma = 9.14 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

En conclusión de la revisión de los esfuerzos en el suelo de cimentación:

Tabla 13 Revisión de los esfuerzos en el suelos de cimentación.

ANÁLISIS	VALORES
Esfuerzo Tanque Vacío	2.14 ton/m ²
Esfuerzo Tanque Lleno	6.77 ton/m ²
Esfuerzo Tanque Vacío + Sismo	2.90 t ton/m ²
Esfuerzo Tanque Lleno + Sismo	9.14 ton/m ²
Esfuerzo Admisible	33.0 ton/m ²
Diagnostico	Cumple

En conclusión, se tiene que el esfuerzo producido por el tanque vacío y lleno, en condiciones estáticas y dinámicas, es inferior al esfuerzo admisible del suelo de

fundación, lo que garantiza que no se tendrían problemas de asentamiento perjudiciales para el Tanque.

4. DIAGNOSTICO

4.1 GEOMETRÍA

Tapa (losa Aligerada): La luz de diseño de la losa que sirve de tapa del tanque, de acuerdo al levantamiento realizado, es de $11.30\text{m} / 2 = 5.65\text{ m}$, para dicha luz, de acuerdo a los requisitos de la Norma Colombiana de Sismo Resistencia en la sección C.9.5.2.1, establece:

TABLA C.9.5(a) — Alturas o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

NOTAS: Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal y refuerzo grado 420 MPa. Para otras condiciones, los valores deben modificarse como sigue:

- (a) Para concreto liviano estructural con densidad w_c dentro del rango de 1 440 a 1 840 kg/m^3 , los valores de la tabla deben multiplicarse por $(1.65 - 0.0003w_c)$, pero no menos de 1.09.
 (b) Para f_y distinto de 420 MPa, los valores de esta tabla deben multiplicarse por $(0.4 + f_y/700)$.

El espesor mínimo de la losa, de acuerdo a la luz de diseño, debe ser:

$$e = \frac{5.65\text{ m}}{18.5} = 0.31\text{ cm}$$

Por tanto, se tiene:

ESPESOR MÍNIMO	ESPESOR PROMEDIO	ESPESOR REQUERIDO	OBSERVACIÓN
0.25 m	0.25 m	0.31 m	No Cumple

Muros: De acuerdo a los datos obtenidos en campo, se obtuvo un espesor promedio de las paredes de 21 cm.

La norma Colombiana de Sismo Resistencia NSR-10 en su sección C.23-C.14.6.2, establece:

C.23-C.14.6 — Espesor mínimo de muros

C.23-C.14.6.1 — El espesor de los muros que no sean de carga cuya estabilidad vertical no se derive de curvatura del muro en planta no debe ser menor de 150 mm, ni menor de 1/30 de la distancia mínima entre elementos que le proporcionen apoyo lateral.

C.23-C.14.6.2 — El espesor mínimo de muros convencionales de concreto reforzado construidos en sitio que estén en contacto con líquidos y tengan más de 3 m de altura debe ser 300 mm.

Por tanto, se tiene:

ESPESOR MÍNIMO	ESPESOR PROMEDIO	ESPESOR REQUERIDO	OBSERVACIÓN
0.20 m	0.21 m	0.30 m	No Cumple

4.2 MATERIALES

La resistencia mínima exigida para este tipo de obras, de acuerdo al Reglamento de Agua y Saneamiento NSR-10, es de 28 Mpa. Al comparar esta resistencia con la obtenida en los ensayos practicados, nos encontramos que al cruzar la información de la esclerometría y los núcleos, los promedios de las resistencia son de 15.5 Mpa y 16.94 Mpa, lo que equivale a 55.4% y 60.5% de la resistencia mínima respectivamente.

N° Punto	F'c			Revisión
	Esclerometría corregida (Mpa)	Núcleos (Mpa)	Requerida (Mpa)	
1	9.3	15.83	28	No Cumple
2	18.6	33.01	28	Cumple
3	16.7	14.32	28	No Cumple
4	14.5	9.17	28	No Cumple
5	18.6	12.38	28	No Cumple

No obstante al revisar de forma individual los resultados obtenidos, se tiene que solo la pared que da contra la antena de telecomunicación cumple con dicha resistencia mínima en un 117.9% de acuerdo a la resistencia del núcleo obtenida.

El acero de refuerzo encontrado es liso, al verificar lo consignado en la sección C.3.5 de la NSR – 10, la cual establece:

C.3.5 — Acero de refuerzo

C.3.5.1 — El refuerzo debe ser corrugado. El refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de repartición y temperatura. Además, se pueden utilizar cuando el Título C del Reglamento NSR-10 así lo permita: refuerzo consistente en pernos con cabeza para refuerzo de cortante, perfiles de acero estructural o en tubos, o elementos tubulares de acero. Las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante bajo las condiciones indicadas en C.11.4.6.1(f).

Podemos concluir entonces que la posición y el tipo de uso no cumplen con lo consignado en dicha norma.

4.3 CAUSAS COMPROBADAS DE LAS LESIONES.

4.3.1 Fisuras Longitudinales:

De acuerdo a la investigación realizada, el proceso de fundición de los muros del tanque se realizó por vaciado de 1.0 m de altura, y en cada pausa, se instaló una cinta adhesiva especial para evitar filtraciones; se infiere que al encontrarse totalmente paralelas las fisuras encontradas, coincide con la información entregada por vecinos del sector, y que posiblemente alguna de estas cintas pudo estar mal instalada, creando una junta fría en las paredes.

4.3.2 Fisuras Verticales:

De las fisuras encontradas se pueden definir dos tipos: la primera corresponde a fisuras de borde, que son ocasionadas por la falta de aceros en “L” de amarre en las esquina del tanque, se ilustra en el siguiente gráfico:

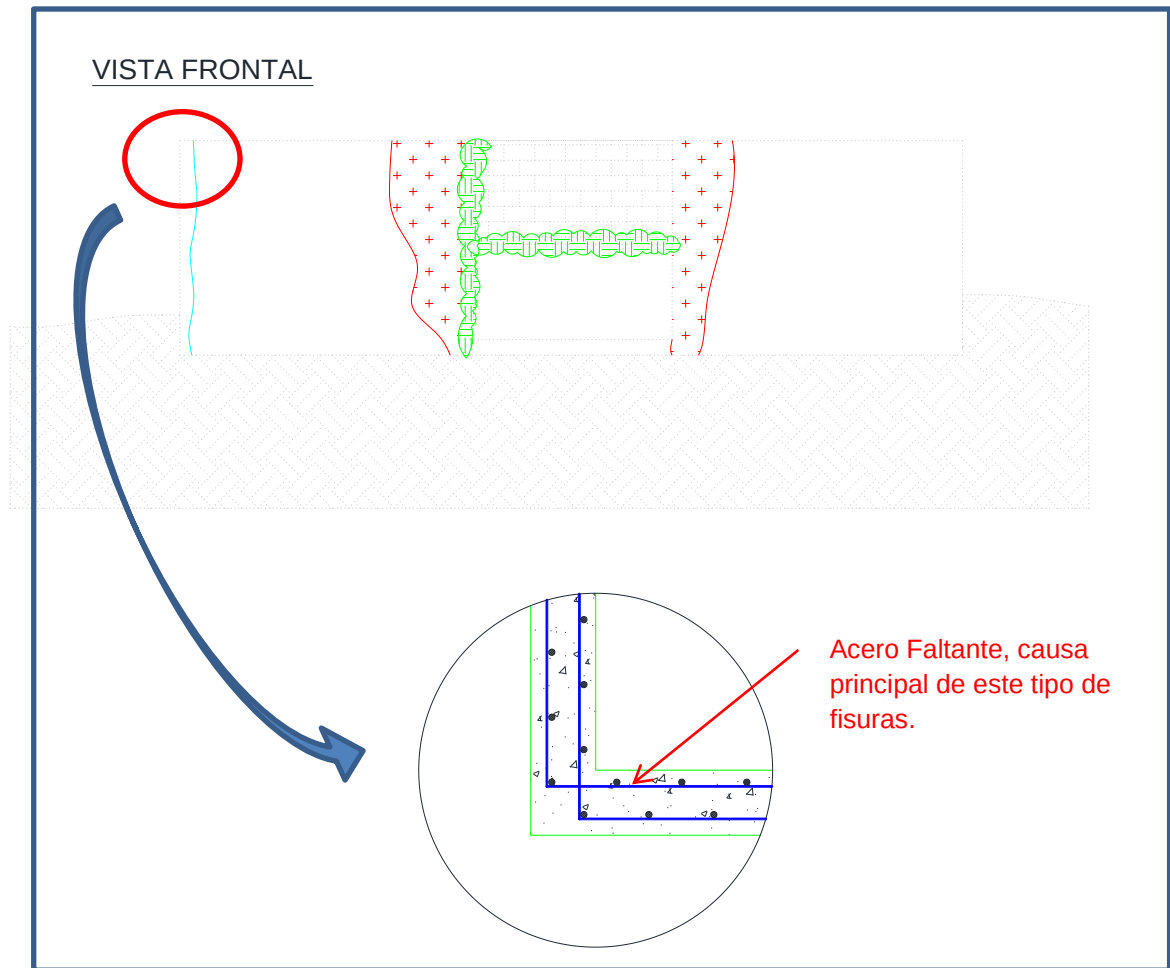
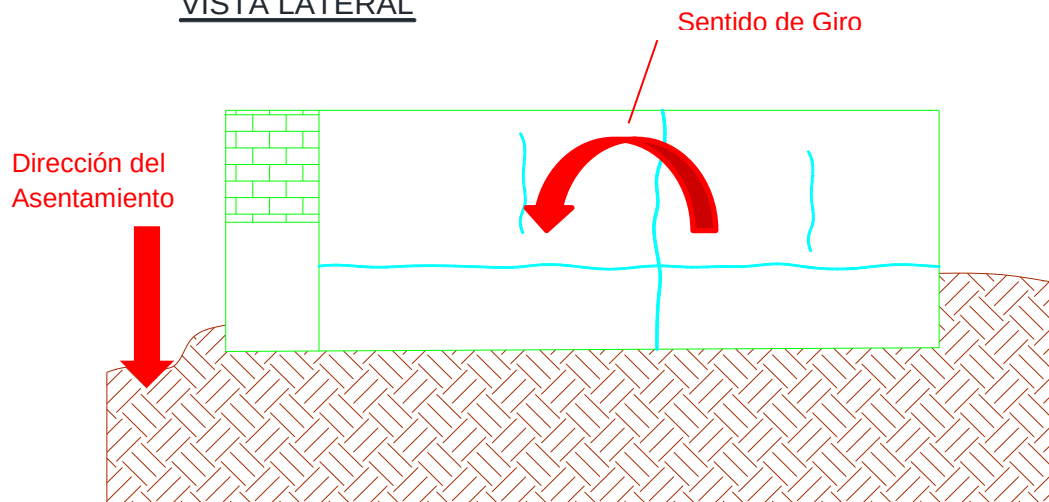


Ilustración 12 Detalle de esquina en las paredes del tanque.

La segunda fisura, la cual fue objeto de mayor estudio, toda vez que daba la sensación de una falla grave, fue la que aparece en la zona centro de los muros que dan hacia el tanque nuevo y a la antena de telecomunicaciones, dado que al revisar con detenimientos dichas fisuras, se encontró que estas se extendían por la tapa del tanque, lo que permite concluir que hubo un asentamiento hacia la zona de la vía de acceso, que pudo haber fracturado el tanque comprometiendo seriamente su estructura.

En los siguientes gráficos se ilustra las consideraciones concluidas:

Ilustración 13 Sentido del giro y falla del tanque, luego del asentamiento producido.

VISTA LATERAL

4.4 ENSAYOS, PRUEBAS O SEGUIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

Dados los resultados obtenidos en las pruebas ya realizadas: Carbonatación, esclerometría y rotura de núcleos, se hizo necesario realizar una prueba adicional de estanqueidad, que permitiera verificar el tiempo promedio de llenado, y posterior al llenado, realizar un control del nivel con el fin de tener un seguimiento a la pérdida de volumen de agua en un periodo de 24 horas.

Prueba que fue solicitada al operador Aguas de Tadó, el cual expreso que se tiene disponibilidad los días domingo 15 y 22 de mayo de 2016, toda vez que la realización de dicha prueba puede afectar la prestación del servicio de agua potable en el municipio; por tanto, dicha prueba fue realizada el domingo 22 de mayo de 2016 obteniéndose los siguientes resultados:

- ✓ Llenado: el llenado se inició el sábado 21 de mayo de 2016 a las 12:33 p.m. y se cerró las válvulas a las 5:40 p.m. del domingo 22 de mayo de 2016, para un tiempo de llenado de 29 horas y 07 minutos y un volumen de 605.69 m³, lo que nos da un caudal promedio de entrada de 348.59 l/min.

- ✓ Control de estanqueidad: Para el control de estanqueidad, se realizaron varias lecturas, desde el momento del cerrado de la válvula, donde se obtuvieron los siguientes registros:

Fecha y hora de Lectura	Intervalo de Tiempo (horas)	Nivel	Lámina de Agua (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
22/05/2016 17:40	0.00	- 0.52		164.59	0.00
22/05/2016 18:40	1.00	- 0.82	- 0.30	164.59	- 49.38
22/05/2016 19:40	1.00	- 1.07	- 0.25	164.59	- 41.15
23/05/2016 7:40	12.00	- 3.35	- 2.28	164.59	- 375.27
23/05/2016 8:40	1.00	- 3.45	- 0.10	164.59	- 16.46

Las filtraciones en el tanque en el periodo estudiado fueron en promedio del orden de - 576.07 lt/min y la máxima de - 822.95 lt/min, obtenida a la primera hora de seguimiento, en la siguiente tabla se relacionan todos los datos obtenidos:

Fecha y hora de Lectura	Tiempo (min)	Volumen (litros)	Caudal (l/min)
22/05/2016 17:40	0.00	-	-
22/05/2016 18:40	60.00	- 49,377.00	- 822.95
22/05/2016 19:40	60.00	- 41,147.50	- 685.79
23/05/2016 7:40	720.00	- 375,265.20	- 521.20
23/05/2016 8:40	60.00	- 16,459.00	- 274.32

Comparado este resultado con el Reglamento de Aguas y Saneamiento RAS – 2000, en el título B.9, el cual establece:

B.9.8.2 Control de filtraciones

En el caso de tanques de concreto reforzado superficiales o semi-enterrados susceptibles de filtraciones a través de las juntas de dilatación y construcción, las filtraciones no podrán superar el caudal de 1 lt/min por cada 5.000 m³ de agua almacenada.

En resumen se tendría que para 605.69 m³ de agua almacenada, la filtración máxima permitida sería de 0.12 lt/min.

FILTRACIÓN MÁXIMA	FILTRACIÓN PROMEDIO	FILTRACIÓN PERMITIDA	OBSERVACIÓN
822.95 lt/min	576.07 lt/min	0.12 lt/min	No Cumple

Teniendo en cuenta los datos recopilados, se tendría el siguiente comportamiento de la pérdida de volumen en el tiempo estudiado:

Fecha y hora de Lectura	Tiempo (min)	Tiempo Acumulado	Volumen (litros)	Volumen Acumulado (lt)
22/05/2016 17:40	0.00	0.00	-0.00	
22/05/2016 18:40	60.00	60.00	- 49,377.00	-49,377.00
22/05/2016 19:40	60.00	120.00	- 41,147.50	-90,524.50
23/05/2016 7:40	720.00	840.00	- 375,265.20	-465,789.70
23/05/2016 8:40	60.00	900.00	- 16,459.00	-482,248.70

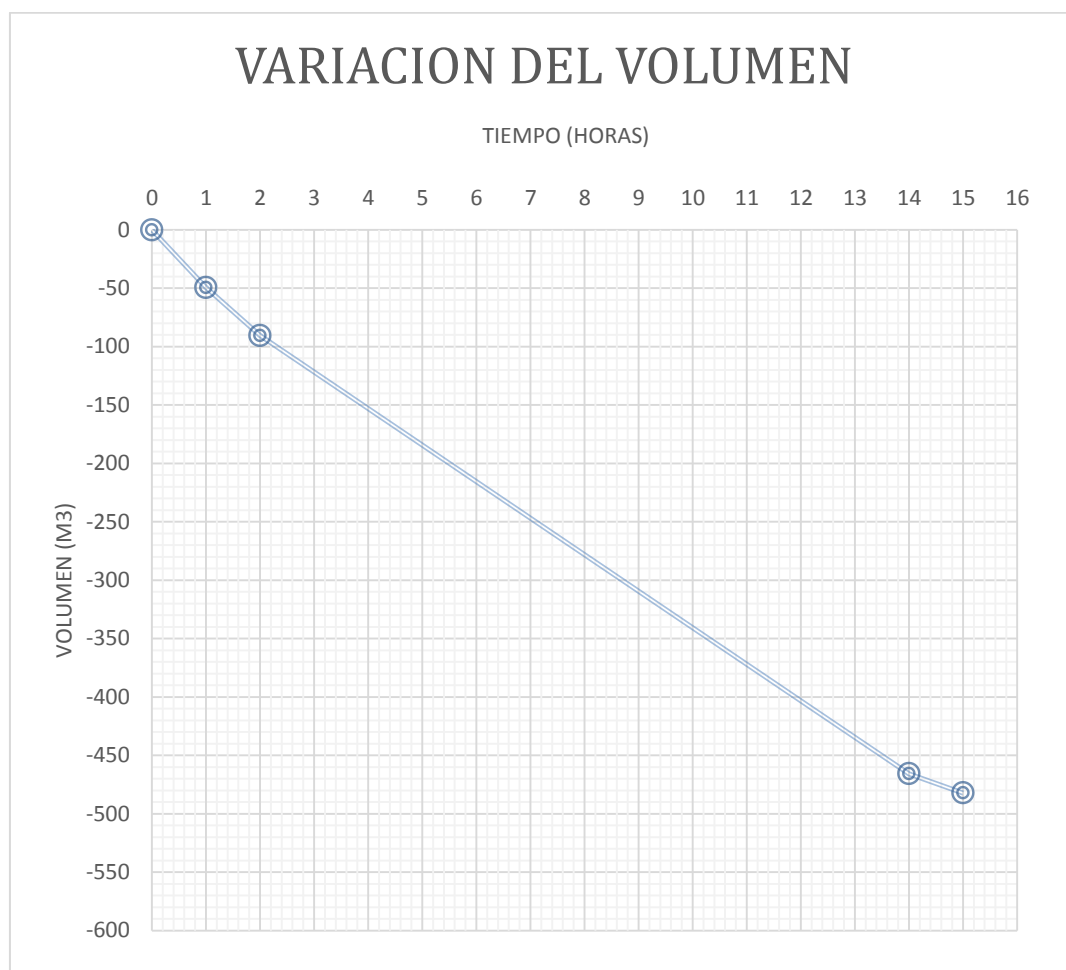


Ilustración 14 Variación del Volumen prueba de estanqueidad

5. ALTERNATIVAS TANQUE NUEVO

5.1 Alternativa 1: Tanque en concreto Reforzado.

El material que más se utiliza en la construcción de los tanques para agua, es el concreto reforzado, por las ventajas que ofrece sobre otros materiales, entre ellas, la impermeabilidad que por sí mismos tienen los concretos bien dosificados y compactados. Éstos requieren un mantenimiento mínimo en los primeros años y poseen una gran resistencia al ataque de los agentes químicos y al intemperismo, poseen capacidad a la compresión, tensión, flexión y cortante, y debido a su rigidez, pueden en algunos casos absorber deformaciones diferenciales.

Los muros de concreto reforzado con altura mínima de 3 m y que estén en contacto con el agua, deben tener un espesor mínimo de 30 cm de acuerdo a la NSR-10. En términos generales, el espesor mínimo de cualquier elemento estructural en contacto con el agua es de 15 cm. Se requerirá un mínimo de 25 cm en donde se desee un recubrimiento de concreto de 7.5 cm.

Esta alternativa, va encaminada a reemplazar el tanque existente, por uno nuevo en concreto reforzado de 28 Mpa, que cumpla con los requisitos de la NSR - 10 y el RAS 2000, el cual ofrece una vida útil de 20 años.

En concordancia con el volumen actual del tanque, se propone un tanque con un volumen útil mínimo de 600 m³, para lo cual se presentan algunas alternativas de dimensiones:

Tabla 14 Dimensiones alternativas para el tanque de almacenamiento nuevo.

LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	ESPESOR DE MUROS (m)	VOLUMEN TOTAL (m ³)	VOLUMEN ÚTIL (m ³)
12.0	10.0	4.5	0.4	540.0	412.2
13.0	10.0	4.5	0.4	585.0	449.0
14.0	10.0	4.5	0.4	630.0	485.8
15.0	10.0	4.5	0.4	675.0	522.6
13.0	11.0	4.5	0.4	643.5	497.8
14.0	11.0	4.5	0.4	693.0	538.6
15.0	11.0	4.5	0.4	742.5	579.4
16.0	11.0	4.5	0.4	792.0	620.2
14.0	12.0	4.5	0.4	756.0	591.4
15.0	12.0	4.5	0.4	810.0	636.2

LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	ESPESOR DE MUROS (m)	VOLUMEN TOTAL (m ³)	VOLUMEN ÚTIL (m ³)
16.0	12.0	4.5	0.4	864.0	681.0
17.0	12.0	4.5	0.4	918.0	725.8
15.0	13.0	4.5	0.4	877.5	693.0
16.0	13.0	4.5	0.4	936.0	741.8
17.0	13.0	4.5	0.4	994.5	790.6
18.0	13.0	4.5	0.4	1,053.0	839.4

En cuanto al costo de la construcción del tanque tendríamos:

Tabla 15 Costos estimados

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1.1	Demolición de Muros	m2	112.56	\$ 37,278.00	\$ 4,196,011.68
1.2	Demolición de Placa aligerada	m2	175.15	\$ 37,560.00	\$ 6,578,634.00
1.3	Demolición de Placa maciza de Fondo	m2	143.99	\$ 69,534.00	\$ 10,012,200.66
1.4	Botada a cualquier distancia	m3	93.11	\$ 28,350.00	\$ 2,639,586.29
2	Construcción de Tanque Nuevo				\$ 351,185,150.12
2.1	Excavación Manual	m3	330.00	\$ 37,349.00	\$ 12,325,170.00
2.2	Relleno en recebo compactado	m3	247.50	\$ 142,975.30	\$ 35,386,386.75
2.3	Suministro, transporte e instalación de concreto a la vista de 28 Mpa Impermeabilizado para muros laterales, columnas y Vigas.	m3	43.28	\$1,064,286.00	\$ 46,062,298.08
2.4	Suministro, transporte e instalación de concreto a la vista de 28 Mpa Impermeabilizado para losa de fondo	m3	86.24	\$ 922,381.20	\$ 79,546,154.69
2.5	Placa Aligerada con casetones de icopor, en concreto de 28 Mpa de 0.40 m de espesor. Según diseño	m2	169.00	\$ 573,795.00	\$ 96,971,355.00
2.6	Suministro, transporte e instalación de Acero de Refuerzo de 4200 Mpa	Kg	12,952.00	\$ 4,380.00	\$ 56,729,760.00
2.7	Suministro e instalación de Cinta PVC AS-22 o similar	ml	57.20	\$ 422,448.00	\$ 24,164,025.60
	TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$ 374,611,582.74

5.2 Alternativa 2: Tanque en Vidrio Fusionado al acero.

El Vidrio Fusionado al Acero es un acabado único de tanques. Dos materiales son fusionados juntos para lograr lo mejor de ambos materiales – la fuerza y la flexibilidad del acero combinado con la resistencia a la corrosión del vidrio.

Aplicado en ambas superficies, interiores y exteriores, el Vidrio Fusionado al Acero proporcionara muchos años de servicio, libres de problemas, en ambientes corrosivos.

Algunas de las principales propiedades se presentan a continuación:

CARACTERÍSTICA	BENEFICIO AL CLIENTE
Diseño Modular	No se requiere fabricación en obra, simplificando el montaje
Recubrimiento aplicado en fábrica	Calidad consistente, no depende en condiciones en obra
Adhesión fuerte	Fuerza del acero junto con la resistencia a la corrosión del vitrificado
Resistencia a la abrasión y desgaste	Asegura la estética a largo plazo y reduce los costos de mantenimiento
Recubrimiento 'Por Vida' no requiere re aplicaciones	Reducción de costos operativos y tiempos de inactividad, mejorando el retorno sobre la inversión de capital
No requiere 'sobre espesor' por corrosión	Reducción de costos iniciales
Certificado para Agua Potable	Versatilidad sin costo adicional

Esta alternativa contempla la demolición del tanque existen, la construcción de la losa de fundación del tanque y el suministro, transporte e instalación de un tanque de almacenamiento de agua potable en tanque de material de vidrio sílice fusionado al acero, que cumpla con los requisitos de la NSR-10 y el RAS2000, el cual ofrece una vida útil de mínimo 30 años.

En concordancia con el volumen actual del tanque, se propone un tanque con un volumen útil mínimo de 600 m³, para lo cual se presentan algunas alternativas de dimensiones:

DIÁMETRO (m)	ÁREA (m ²)	ALTO (m)	VOLUMEN TOTAL (m ³)	VOLUMEN ÚTIL (m ³)
12.0	113.1	4.5	508.9	475.0
13.0	132.7	4.5	597.3	557.5
13.5	143.1	4.5	644.1	601.2
14.0	153.9	4.5	692.7	646.5
15.0	176.7	4.5	795.2	742.2
13.0	132.7	4.0	530.9	491.1
14.0	153.9	4.0	615.8	569.6
14.5	165.1	4.0	660.5	611.0
15.0	176.7	4.0	706.9	653.8
16.0	201.1	4.0	804.2	743.9

En cuanto al costo de la construcción del tanque tendríamos:

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	Demolición del Tanque Existente				\$ 23,426,432.63
1.1	Demolición de Muros	m2	112.56	\$ 37,278.00	\$ 4,196,011.68
1.2	Demolición de Placa aligerada	m2	175.15	\$ 37,560.00	\$ 6,578,634.00
1.3	Demolición de Placa maciza de Fondo	m2	143.99	\$ 69,534.00	\$ 10,012,200.66
1.4	Botada a cualquier distancia	m3	93.11	\$ 28,350.00	\$ 2,639,586.29
2	Construcción de Tanque Nuevo				\$ 609,161,111.95
2.1	Excavación Manual	m3	402.12	\$ 37,349.00	\$ 15,018,924.03
2.2	Suministro e instalación de base granular	m3	321.70	\$ 142,975.30	\$ 45,995,023.58
2.3	Suministro, transporte e instalación de concreto a la vista de 28 Mpa Impermeabilizado para Placa de contrapiso	m3	60.32	\$ 798,214.50	\$ 48,147,164.34
2.4	Suministro, transporte e instalación de tanque en vidrio fusionado al acero de 600 m3	und	1.00	\$500,000,000.00	\$ 500,000,000.00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$ 632,587,544.57

5.3 Análisis de Alternativas

Aspectos	Alternativa 1	Alternativa 2
Costos de Construcción.	\$ 374,611,582.74	\$ 632,587,544.57
Tiempos de construcción.	4 meses	4 meses
Costos de Operación y/o mantenimiento.	Mínimos, los primeros 5 años	Mínimos durante vida útil
Vida Útil.	20 años	30 años

6. CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO

- ✓ La resistencia promedio obtenida de 15.5 Mpa y 16.94 Mpa del concreto utilizado en la construcción del tanque, no cumple con la resistencia mínima exigida en la NSR-10 para concretos de baja permeabilidad en contacto de agua, el cual establece una resistencia mínima de 28 Mpa.
- ✓ El acero de refuerzo encontrado consistente en barras de acero liso, cumple con la separación máxima exigida en este tipo de obras, pero al revisar éste el tipo de acero no es aceptado por la NSR-10.
- ✓ Las fisuras longitudinales encontradas, son debidas al proceso constructivo del tanque, éstas afectan el aspecto estético del tanque pero no afectan la estabilidad del mismo.
- ✓ Las fisuras verticales en los bordes, son debidas exclusivamente a la falta de acero de refuerzo en las esquinas que amarre y absorba los esfuerzos que pueden producirse por la retracción del concreto y por los esfuerzos de bordes, producidos en condiciones de uso del tanque.
- ✓ Las fisuras verticales ubicadas en los centros de los muros que dan hacia el tanque nuevo y hacia la antena de telecomunicaciones, pueden definirse como grietas en los muros; aclarando que en la auscultación realizada no se pudieron evidenciar las grietas en el interior del tanque, pero al realizar la prueba de estanqueidad se pudo observar el afloramiento constante de agua por éstas.
- ✓ Las fisuras mencionadas, fueron ocasionadas posiblemente por la falla de la estructura de soporte del tanque hacia la vía de acceso. En la elaboración de éste estudio patológico, no evidenció fallas en los taludes, ni se encontró material tipo arcilla expansivas o similares que pudieran afectar la estabilidad del tanque; se cree entonces que en el proceso de construcción del tanque, la falta de compactación del material utilizado como sub base produjo que éste se consolidara en forma lenta durante muchos años, produciendo un asentamiento diferencial hacia dicho costado.

- ✓ Se pudo observar que la losa en concreto reforzado aligerada con casetones de esterilla que sirve como tapa del tanque, presenta gran deterioro; al chequear el índice de sobre esfuerzo de la tapa encontramos que para un $F'c$ igual a 15.83 Mpa, la placa no está en condiciones de soportar su propio peso ni las cargas externas provenientes del uso propio o de eventuales fuerzas sísmicas; por tanto y basado en los resultados obtenidos, se debe demoler este elemento.
- ✓ El índice de sobre esfuerzo en el fondo de los muros del tanque es de 2.38, sobrepasando de manera significativa el esfuerzo admisible; de igual forma, en el fondo el índice de sobre esfuerzo en los bordes laterales de los muros del tanque sobrepasa el esfuerzo admisible, con valores alrededor de 2.55; en consecuencia de lo expresado, se concluye que el espesor de los muros es insuficiente para los esfuerzos actuantes.
- ✓ La prueba de estanqueidad practicada al tanque, dejó ver entre otras lesiones, que la falla en el sistema estructural del tanque ha afectado de manera marcada su estabilidad.
- ✓ Se descarta el reforzamiento del tanque con algún tipo de recubrimiento impermeable, dado que al estar afectada la estabilidad del mismo no se puede garantizar que el recubrimiento perdure en el tiempo garantizando un adecuado comportamiento del estado de servicio.
- ✓ Se descarta el uso del tanque como formaleta para construir otro tanque en su interior, dado que no hay forma de establecer el comportamiento futuro de las fallas encontradas.
- ✓ El tanque debe ser retirado de su uso, toda vez que el gran volumen de agua perdido, puede afectar e inestabilizar los taludes y zonas cercanas a causa de la saturación del suelo.
- ✓ Demoler el tanque existente en concreto reforzado y en su reemplazo construir uno con la capacidad y cotas acorde al modelo hidráulico realizado, que garantice la continuidad y las presiones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema.

v. BIBLIOGRAFÍAS

- Enciclopedia Broto de Patología de la Construcción.
- Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Enero de 2010.
- Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS2000. RESOLUCIÓN NO. 1096 de 17 de Noviembre de 2000.
- IGAC. Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Geología.
- Atlas geológico de Colombia Plancha 5-08. INGEOMINAS 2007.
- Esquema de Ordenamiento Territorial de Tadó 2000 – 2009. Departamento del Choco municipio de Tadó alcaldía municipal.
- Evaluación estructural del tanque de succión en el municipio de Tadó, Chocó. Guillermo Ardila.
- Proyecto “OPTIMIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE FASE II Y DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TADÓ”. Municipio de Tadó.
- Plan de Desarrollo Municipal 2008 – 2011. “Juntos haremos una excelente gestión por Tadó”.
- www.wikilibros.org
- www.tado-choco.gov.co

ANEXOS
INFORME GEOTÉCNICO

ANEXOS
ROTURA DE NÚCLEOS

ANEXOS
REGISTRO FOTOGRÁFICO