

Encabezado: ESTUDIO PATOLOGICO TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Estudio Patológico y análisis comparativo de la calidad del concreto año 2014 – 2018 al

Tanque de Almacenamiento Ubicado en el Cerro Sierra Chiquita

Jaime Andrés Ortega Arango

Universidad Santo Tomas

Notas del Autor

Jaime Andrés Ortega Arango, Facultad Ciencias y Tecnologías, Universidad Santo Tomas

Este proyecto ha sido financiado por el propio alumno

La correspondencia relacionada con este trabajo debe ser dirigida a Jaime Andrés Ortega

Facultad Ciencias y Tecnología, Universidad Santo Tomas

Contacto: Jaimeortega28@hotmail.com

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVOS GENERALES	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
METODOLOGIA	3
1.0 JUSTIFICACION.....	4
2.0 CONTEXTUALIZACION GENERAL DEL TANQUE.....	5
2.1 LOCALIZACION	6
2.2 CARACTERIZACION.	9
2.2.1 Geología.....	9
2.2.2 Geomorfología.	9
2.2.3 Hidrogeología.	10
2.2.4 Geoestructura y ambiente morfométrico.	11
2.2.5 Clima.....	11
2.2.6 Vegetación.	15
2.2.7 Sismicidad.....	16
2.3 TIPOLOGIA ESTRUCTURAL DEL TANQUE SIERRA CHIQUITA.	17
3. LESIONES PATOLOGICAS TANQUE SIERRA CHIQUITA.	19

Encabezado: ESTUDIO PATOLOGICO TANQUE DE ALMACENAMIENTO

3.1 Losa superior (Tapa).....	19
3.2 Muros del tanque.	21
3.3 Losa inferior (Fondo).....	22
3.4 Columnas Tanque.	23
3.5 Deslizamiento alrededor del tanque.....	24
4.0 LABORATORIOS REALIZADOS.	26
4.1 Evaluación química del concreto – pruebas de campo para determinar la profundidad de carbonatación.	26
Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)	27
4.2 Densidad, porosidad y absorción del concreto.	27
Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)	28
Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)	28
4.3 Análisis de calidad del concreto.	29
Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)	29
4.4 Porcentaje de Absorción.	30
Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)	30
5. ESTUDIO DE SUELOS.....	30
5.1 Metodología de exploración.	31
5.2 Ensayos de laboratorio.....	32
5.3 Caracterización del subsuelo.	33

Encabezado: ESTUDIO PATOLOGICO TANQUE DE ALMACENAMIENTO

6. DIAGNOSTICO DE LAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS EN EL TANQUE.	35
6.1 Diagnostico General del tanque: (losa superior y paredes)	35
6.2 Deslizamiento alrededor del tanque.....	37
7. PROPUESTAS DE INTERVENCION.....	38
7.1 Intervención N°1: Construcción de la losa Superior del tanque (Tapa).	39
7.2 Intervención N°2: Reparación de los muros perimetrales del tanque.....	43
7.3 Intervención N°3: Construcción de filtro alrededor del tanque.....	48
8. PRESUPUESTO DE LAS INTERVENCIONES PROPUESTAS.	51
8.1 Plano General del Tanque.....	52
8.2 Cuadro General de Cantidades.	52
9. ANALISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	53
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	63
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS.....	67

INTRODUCCION

El planteamiento del presente proyecto se refiere al estudio patológico, del tanque de almacenamiento ubicado en el cerro Sierra Chiquita en la ciudad de Montería, teniendo como base las características geométricas de la construcción, ensayos de laboratorio, sondeos y exploración geotécnica y visitas de reconocimiento a la estructura. Dentro de los trabajos a realizar se analizarán las intervenciones más convenientes para solucionar los problemas patológicos que presenta el tanque en la estructura y el suelo que lo rodea , y así realizar un análisis de la estructura mediante un modelo con las propiedades encontradas en los ensayos de laboratorio, para así establecer la capacidad de resistencia de la estructura y el tipo de suelo que lo rodea para poder plantear y justificar las soluciones que permiten mejorar el comportamiento de la estructura en todos los aspectos de resistencia ante las combinaciones de carga indicadas por las normas vigentes.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Realizar el estudio patológico y hacer el análisis comparativo de la calidad del concreto año 2014 – 2018 al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el Cerro Sierra Chiquita en la Ciudad de Montería.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar las causas de las diferentes lesiones encontradas en el tanque de almacenamiento de agua potable.
- Realizar propuestas de intervención a las patologías que presenta el tanque de almacenamiento de sierra chiquita.
- Realizar el estudio comparativo de la calidad del concreto año 2014 – 2018 al tanque de almacenamiento de agua potable ubicado en el cerro sierra chiquita.
- Definir presupuesto de obra y cronograma de las actividades de intervención.
- Elaborar los ensayos de laboratorio, pruebas y análisis de los diferentes materiales para poder realizar los diagnósticos de nuestro paciente.

METODOLOGIA

Para el estudio patológico del tanque de agua potable del cerro Sierra Chiquita, se usa un enfoque metodológico basado en visitas de inspección preliminar, para establecer el alcance de los estudios y realizar las actividades de preparación para la inspección detallada del tanque.

Posterior a la visita preliminar se hace una inspección visual detallada de las estructuras, se realiza el sondeo de los principales daños, así como un levantamiento topográfico y geométrico en general, complementado cada uno de ellos con un registro fotográfico; además se hacen pruebas de carbonatación en campo con fenolftaleína al 1% para determinar el grado de afectación de cada uno de los elementos a los que se les realiza la prueba; y se procede con toma de núcleos de concreto para determinar la resistencia mecánica ($f'c$ en Mpa), masa unitaria (Kgf/m^3), porcentaje de absorción y porosidad.

Con base en las anteriores visitas de inspección y las pruebas realizadas, se presenta el diagnóstico de la clase, cantidad y magnitud de los daños patológicos sufridos en la estructura del tanque. Adicionalmente, se ofrecen las recomendaciones y especificaciones técnicas de reparación pertinentes, para así restituir la capacidad estructural y la condición de durabilidad de los diferentes elementos que conforman la estructura, bajo las cargas de servicio y las condiciones de exposición previstas.

1.0 JUSTIFICACION

La realización del presente estudio patológico se encuentra asentado en análisis realizados en años anteriores al tanque de agua potable ubicado en el cerro Sierra Chiquita, ya que ha presentado problemas patológicos en su estructura, se considera importante resaltar que el tanque de almacenamiento tiene aproximadamente 8 años de haber sido construido.

Fundamentados en la anterior problemática la Empresa Prestadora de Servicios de Acueducto y Alcantarillado “PROACTIVA S.A.S” proyectó realizar un estudio patológico en toda la estructura del tanque, considerándose una alternativa de vital importancia para la comunidad que habita en el cerro, por ser el único tanque que abastece de agua potable a toda su población. Debido a las múltiples patologías presentadas en la estructura del tanque la Empresa Prestadora de Servicios de Acueducto y Alcantarillado “PROACTIVA S.A.S”, decidió suspender desde el año 2014 el servicio de bombeo de agua potable a través de este tanque viéndose afectada gravemente la comunidad que reside en este sector.

Teniendo en cuenta la anterior problemática y a partir del presente estudio patológico, se podrán tomar las intervenciones que permitan el óptimo funcionamiento del tanque de agua potable y contribuir de esta manera a solventar la comunidad que requiere del servicio.

Es importante mencionar que el tanque se encuentra apoyado en el terreno sobre una losa de cimentación, y que fue construido a principios del año 2010 y a finales del año 2012 su estructura empezó a presentar problemas patológicos, donde se detectaron lesiones como fisuras y desprendimientos de concreto de la losa superior, fisuras en las paredes perimetrales del tanque y problemas de asentamiento en los alrededores del tanque.

2.0 CONTEXTUALIZACION GENERAL DEL TANQUE

El tanque de agua potable fue construido a principios del año 2010, con el propósito de abastecer de agua potable a la comunidad de la vereda Sierra Chiquita que cuenta con una población aproximada de 300 habitantes, sin embargo a mediados del año 2014 la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado “PROACTIVA S.A.S” suspendió el servicio de agua potable, debido a las afectaciones patológicas que presentaba el tanque en toda su estructura, estas afectaciones fueron ocasionadas por asentamientos alrededor del tanque que conllevaron a otras lesiones como: desprendimientos de concreto en la tapa superior y fisuras en las paredes del tanque.

Debido a esta problemática y la gran afectación que representa para la comunidad el no tener servicio de agua potable se procedió a realizar el estudio de las afectaciones patológicas que tenía el tanque y así poder diagnosticarlas e intervenirlas de la mejor manera para dejar funcionando nuevamente el tanque de agua potable a dicha comunidad.

2.1 LOCALIZACION

El proyecto está enmarcado en el municipio de Montería, situado en la zona centro del departamento de Córdoba, correspondiente a las tierras planas y ligeramente onduladas de los valles de los ríos San Jorge y Sinú, entre las coordenadas 08° 45'27" de latitud Norte y 75° 53'24" de longitud Oeste, cubre un área total de 3141 Km².



Figura 1. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. Fuente:

Wikipedia, la enciclopedia libre.

Limita al Norte con el municipio de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia; al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y San Carlos.



Figura 2. Mapa subregiones del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

Se desarrollará más exactamente en el cerro Sierra Chiquita, ubicado al sur del casco urbano de la ciudad de Montería en la margen derecha del río Sinú, entre las coordenadas 1457100-1457900 de latitud norte y 1129500-1130300 de longitud oeste, es una zona de gran importancia ambiental por tener a su alrededor una gran cantidad de humedales característicos de la cuenca del río Sinú. La Sierra tiene un área aproximada de 21.00 hectáreas.

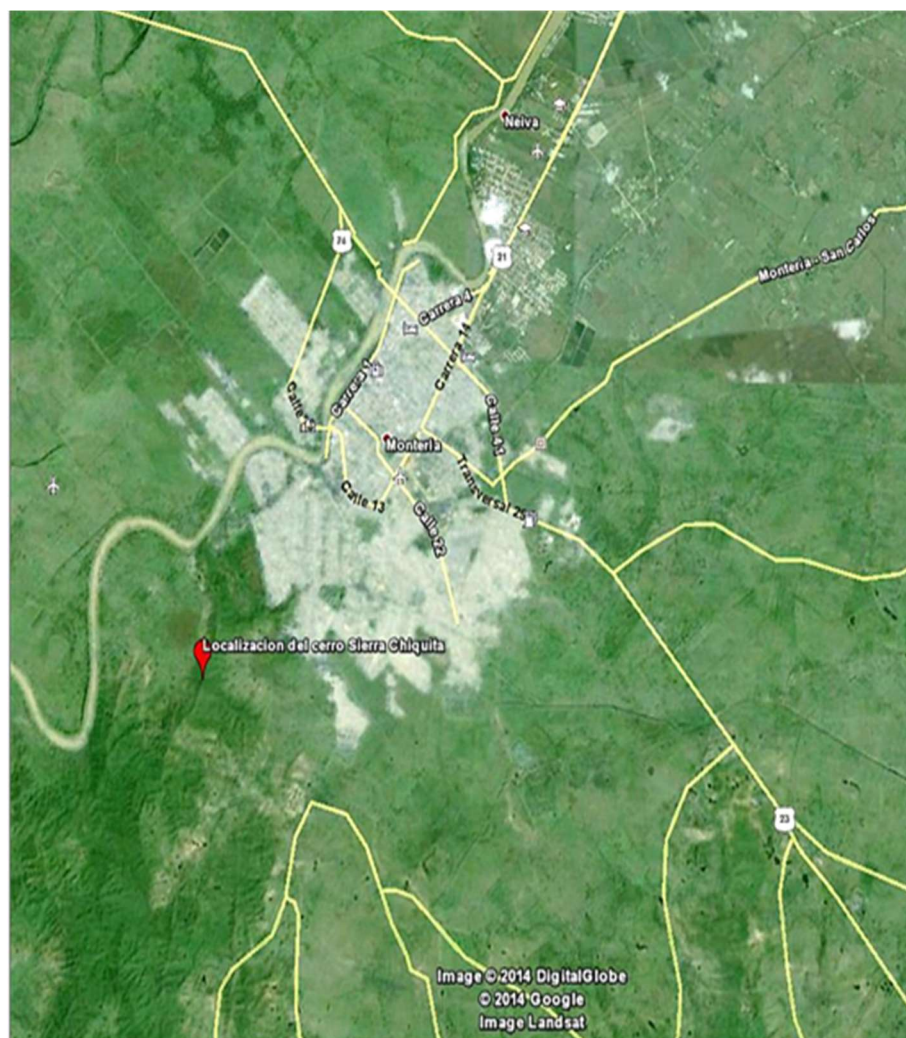


Figura 3. Localización del cerro Sierra Chiquita. Fuente: Google Earth.

2.2 CARACTERIZACION.

Se hace necesario realizar la caracterización de la zona de influencia para así conocer la naturaleza del suelo donde está ubicado el tanque de almacenamiento de agua potable. La siguiente información fue tomada del manual de métodos y especificaciones para los estudios de suelos (IGAC, 1998)

2.2.1 Geología.

El tanque de almacenamiento se encuentra ubicado al norte de la cordillera occidental “Geológicamente, el cerro Sierra Chiquita está conformado por la formación e3e4-Sm” (IGAC, 1998), se caracteriza por ser una cadena montañosa que ha sufrido plegamientos intensos en lo largo de los años.



Figura 4. Mapa Geológico del municipio de Montería - Córdoba.

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

2.2.2 Geomorfología.

La geomorfología del municipio de montería es de paisajes de planicie y lomerío “el cerro se encuentra en la provincia fisiográfica que corresponde a la cordillera occidental, en un ambiente

morfo genético estructural, denudacional y deposicional; con un tipo de relieve de colinas y lomerío conformado por macizos rocosos basculados” (IGAC, 1998), el tanque de almacenamiento de agua potable se encuentra ubicado en un lomerío.



Figura 5. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

2.2.3 Hidrogeología.

En el departamento de Córdoba el cuerpo de agua más importante es el río Sinú en razón de su caudal y su recorrido por las partes bajas del cerro “El cerro Sierra Chiquita abarca una gran extensión del sur de la ciudad de Montería. Tanto sus laderas como los drenajes naturales son de pendiente alta y presentan características torrenciales” (IGAC, 1998).

2.2.4 Geoestructura y ambiente morfométrico.

El municipio de Montería se localiza en la geoestructura correspondiente a la mega cuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788,87 Km², lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.

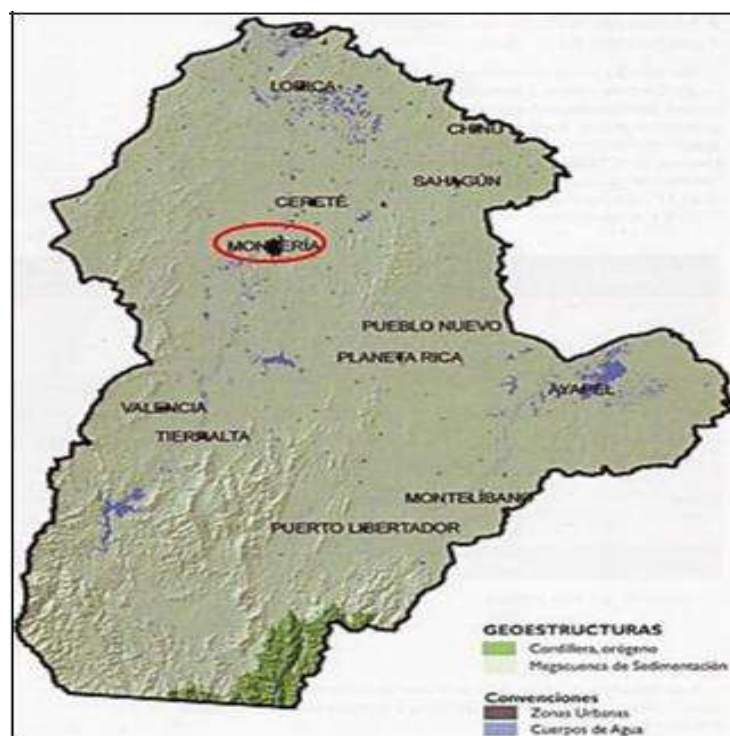


Figura 6. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

2.2.5 Clima.

Debido a su posición en la llanura del caribe colombiano, se localiza con respecto a los vientos provenientes del mar en una posición de sotavento, ocasionado climas secos la mayor parte del año con una humedad relativa alta debido a la presencia del río Sinú y sus ciénagas.

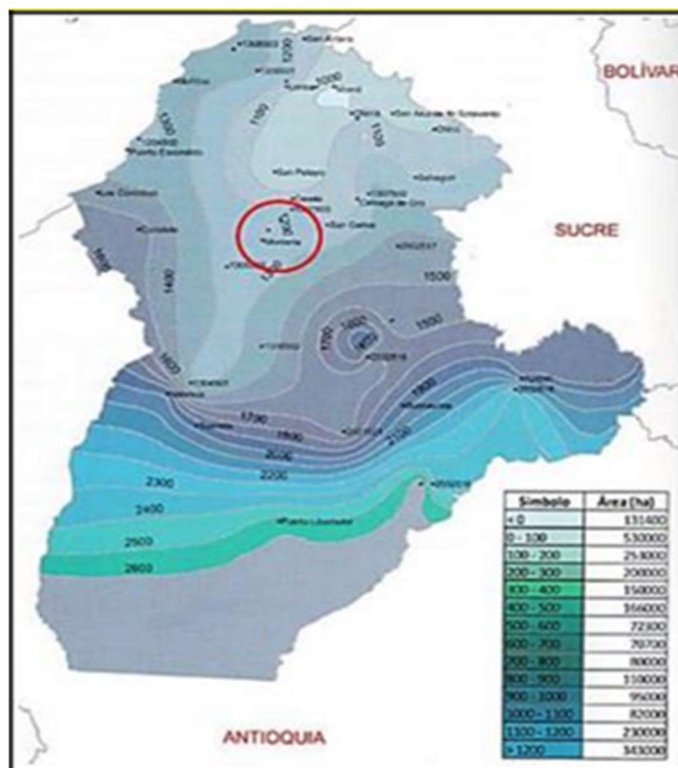


Figura 7. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

La distribución de las lluvias de la zona se encuentra supeditada al paso anual del CIT (Centro de Convergencia Intertropical), el paso de este centro neurálgico ocasiona un tiempo ciclónico, es decir, nubado, lluvioso y fresco; antes de este paso existe el tiempo anticiclónico, es decir, soleado, seco y con variación de las temperaturas diurnas.

Por lo anterior el municipio de Montería presenta dos temporadas de lluvia: La primera es lluviosa en parte de Abril y Mayo, y la segunda, también lluviosa entre los meses de Septiembre y Noviembre; una temporada de menor intensidad de lluvias entre los meses de Junio y Agosto, y por ultimo una temporada seca entre los meses de Diciembre a Marzo.

El promedio anual de la temperatura es de 26.90°C, con un ligero aumento en los meses de Marzo, Abril y Mayo. La Variación no es muy significativa, pues el 98.20% del territorio se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello, puede considerarse que el promedio anual de 26.90°C es representativo para el municipio de Montería. (Ver Figura 8).

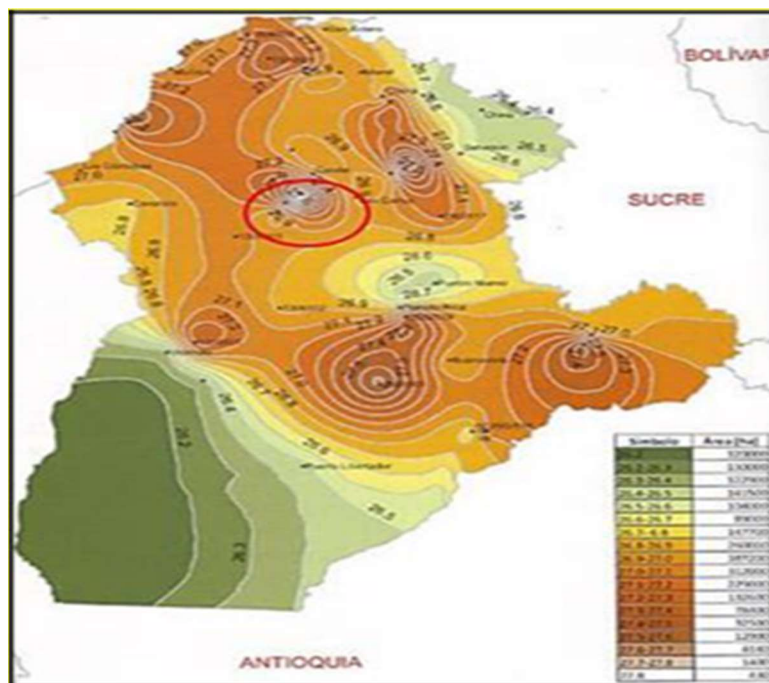


Figura 8. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El brillo solar anual varía entre 1.400 y 1.800 horas de luz.

La humedad ambiente (84.00%), se relaciona con el brillo solar y con los intensos procesos de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va desde Montería hasta el norte con un valor ubicado en el rango

de 1700 - 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

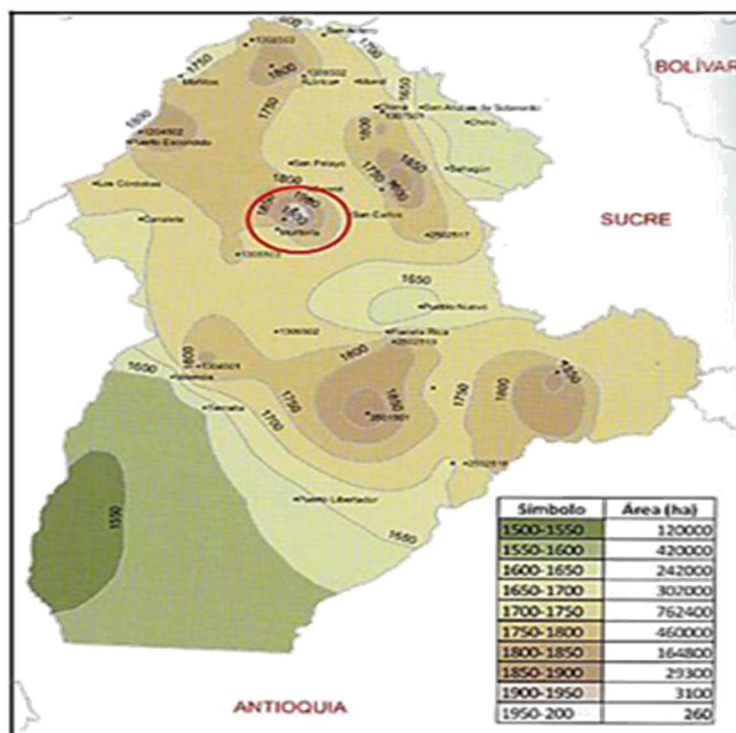


Figura 9. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, el municipio presenta una franja alineada a lado y lado del plano de inundación del río en el clima cálido -seco; en el resto del área de Montería sigue siendo cálido pero con un régimen de humedad semi-húmedo.

Estación	msnm	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	Piso Térmico	Clase Clima	Símbolo
Montería	18	1200	26,9	1711,4	558,0	46,6	Cálido	Seco	c-S

Figura 10. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería. Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

2.2.7 Sismicidad.

La Norma Colombiana de construcciones sismo resistentes ubica a Montería en una zona de amenaza sísmica Intermedia, los coeficientes sísmicos tienen las siguientes magnitudes:

$A_a = 0.10$ (Coeficiente de aceleración pico efectiva).

$A_v = 0.15$ (Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico de diseño).

$A_d = 0.04$ (Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para el umbral de daño).

$A_e = 0.07$ (Coeficiente de aceleración pico efectiva para diseño con seguridad limitada).

El perfil del suelo es C según la normatividad NSR-10.



Figura 12. Zona de amenaza sísmica del municipio de Montería. Fuente: Título A, NSR-10.

2.3 TIPOLOGIA ESTRUCTURAL DEL TANQUE SIERRA CHIQUITA.

Se trata de un tanque rectangular de 36.0 m de largo por 24.0 m de ancho construido según la NSR-10 y bajo un sistema estructural combinado en el cual:

Las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o

Las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

El tanque en su parte interior presenta pórticos en concreto reforzado conformados por columnas de sección 0.38 m x 0.38 m y vigas de 0.35 m x 0.45 m. Sobre los pórticos se apoya la losa superior de espesor 0.15 m. Los muros en la base presentan un espesor de 0.50 m y el la corona 0.50 m. Estos muros presentan un amarre superior por una viga de sección 0.35 m x 0.45 m. La losa de fondo está construida en concreto reforzado y está apoyada sobre el terreno.

El tanque tiene dos muros interiores y tabiques en mampostería confinados, tiene elementos implementados para controlar el movimiento interno del agua. Estos muros son mampostería de espesor 0.35m. La estructura del tanque presenta juntas de dilatación de las dos direcciones conformando cuadrículas de 5.0 m x 5.0 m aproximadamente.

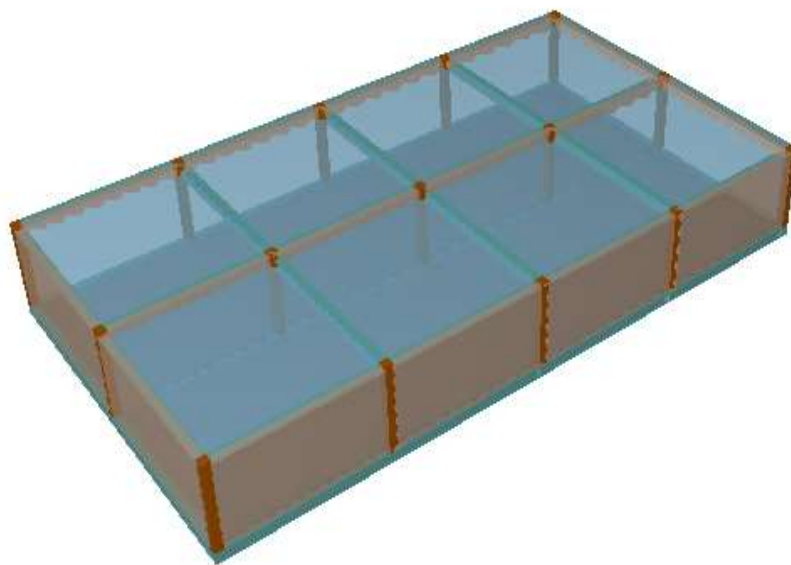


Figura 13. Esquema general del tanque. Fuente: Elaboración propia Programa Cypecad.

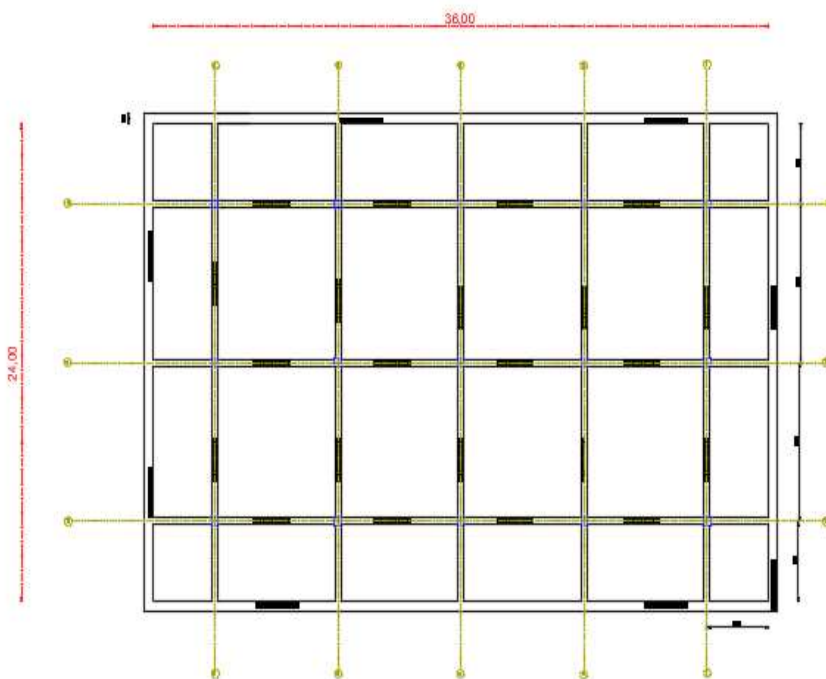


Figura 14. Plano de planta tanque. Fuente: Elaboración propia Programa Autocad.

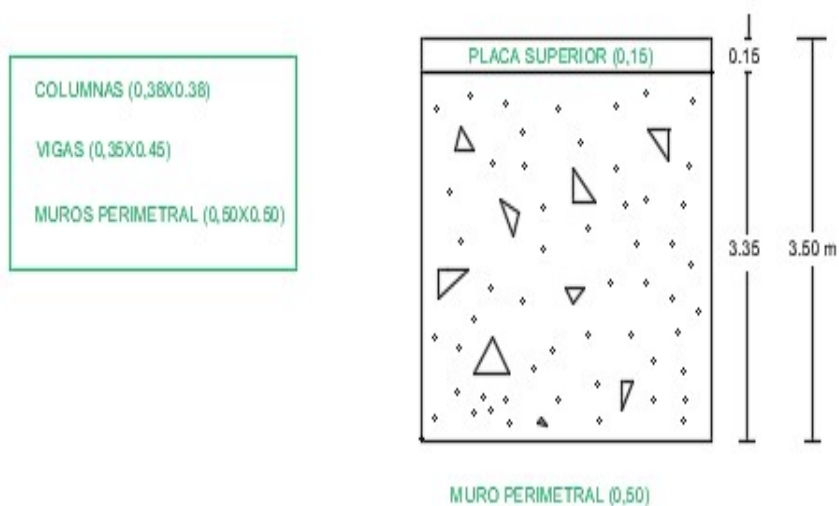


Figura 15. Plano corte transversal. Fuente: Elaboración propia Programa Autocad.

3. LESIONES PATOLOGICAS TANQUE SIERRA CHIQUITA.

El levantamiento de las lesiones del tanque de agua potable, se realizaron por sectores como se evidencia:

3.1 Losa superior (Tapa).

Se presenta corrosión en el acero de refuerzo de la tapa superior del tanque, debido al poco recubrimiento del concreto. Se aprecian fallas constructivas en la colocación de este (Hormigueos, desprendimiento de concreto, ataque químico biológico y/o microbiológico).



Figura 16. Acero de refuerzo expuesto, poco recubrimiento y pérdida de concreto. Fuente:

Elaboración propia.



Figura 17. Acero de refuerzo expuesto, poco recubrimiento y pérdida de concreto. Fuente:

Elaboración propia.

3.2 Muros del tanque.

En algunos puntos se presenta degradación de la superficie de concreto por efectos físicos, químicos y mecánicos con aceros expuestos y corroídos. Se aprecia fisuración por efecto de los cambios volumétricos que experimenta el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, como consecuencia de cambios de humedad y/o temperatura.

Los muros del tanque son en concreto reforzado con una altura de 3.5 m y espesores de 0.50 m x 0.50 m.



Figura 18. Degradación de la superficie del concreto por efectos químicos en las paredes del tanque. Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Aceros de refuerzo expuestos y corroídos en las paredes del tanque. Fuente:

Elaboración propia.

3.3 Losa inferior (Fondo).

La losa inferior del tanque de sierra chiquita se observa sin daños que puedan afectar la estabilidad de la estructura.

Esta losa es en concreto reforzado, medidas de 36.00 m x 24.00 m y espesor de 0.40 m.



Figura 20. Se observa la losa inferior del tanque en buen estado. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Columnas Tanque.

Las columnas del tanque de sierra chiquita se observa sin daños que puedan afectar la estabilidad de la estructura.

Las columnas son en concreto reforzado de 0.38 m x 0.38 m.



Figura 21. Se observan las columnas del tanque en buen estado. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Deslizamiento alrededor del tanque.

Se observa un deslizamiento que deja en riesgo la estructura existente (tanque), éste se presentó en dos etapas, en la primera se produjo la fractura del suelo en la parte superior y la segunda ocurre el desprendimiento de la masa de suelo.



Figura 22. Primera etapa del deslizamiento en el sector de los tanques en el cerro Sierra Chiquita. Fuente: Elaboración propia.



Figura 23. Deslizamiento en el sector del tanque en el cerro Sierra Chiquita. Fuente: Elaboración propia.

4.0 ENSAYOS DE LABORATORIOS REALIZADOS.

Los siguientes ensayos son necesarios para saber la calidad de los materiales que presenta nuestro paciente y así realizar un diagnóstico correcto sobre las patologías que presenta el tanque ubicado en el cerro Sierra Chiquita de la ciudad de montería. Todos estos estudios fueron realizados por la empresa “Consultoría Geotecnia y Ambiente”. Empresa contratista de Proactiva S.A.S, que es la empresa encargada de prestar el servicio de acueducto y alcantarillado en la ciudad de Montería Departamento De Córdoba.

A continuación se relacionan todos los laboratorios realizados:

4.1 Evaluación química del concreto – pruebas de campo para determinar la profundidad de carbonatación.

EL proceso de carbonatación del concreto conlleva a una disminución del PH en la capa superficial, de 13 como es usual a valores de aproximadamente 9. Este al perder sus condiciones de basicidad, reduce su efectividad como protector del acero de refuerzo permitiendo la pérdida de la capa pasivadora e iniciándose el proceso de corrosión. Las pruebas se realizaron en campo sobre diferentes elementos estructurales, realizando regatas con martillo de peso máximo de 15 Lb, para evitar microfisurar el concreto; limpieza de la regata para eliminar el polvo y materiales extraños, aplicación de la fenolftaleína al 1%, y medición de la profundidad indicada con color violeta. Los resultados obtenidos en el año 2014 y 2018 fueron los siguientes, notándose que los resultados no variaron mucho con la relación al tiempo.

Tabla 1
Profundidad de carbonatación año 2014

Muro Perimetral	0,6 cm
Columna	0,5 cm
Columna	0,5 cm
Muro Perimetral	0,8 cm

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

Tabla 2
Profundidad de carbonatación año 2018

Muro Perimetral	0,8 cm
Columna	0,6 cm
Columna	0,8 cm
Muro Perimetral	0.9 cm

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

4.2 Densidad, porosidad y absorción del concreto.

Se tomaron muestras de concreto en el sitio (núcleos), para realizar ensayos de laboratorio y determinar algunas características físicas y mecánicas. En general aunque existe una relación directa entre la porosidad y la resistencia del concreto, no existe una normativa al respecto. Pero desde el punto de vista de durabilidad, se considera que un concreto o un mortero son de buena

calidad si la porosidad “Abierta”, es menor de un 10% y mala si supera el 15%, por lo tanto el 10.4 % promedio reportado en los ensayos se considera adecuado.

Esta valoración es necesaria, porque concretos porosos y de baja densidad, existiría serios riesgos de permeabilidad al agua lluvia y a las aguas residuales que puedan circular a nivel de superficie por falta o deficiencia de sistemas de evacuación. En cualquier caso el agua puede penetrarlo y causar daños por ciclos de humedecimiento – secado, por ataque químico al concreto o por corrosión del acero de refuerzo.

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio fueron las siguientes:

Tabla 3
Resultados de densidad del concreto

1	Muro Perimetral	2221,6 kg/m ³
2	Muro Perimetral	2209,6 kg/m ³
3	Losa de Piso	2258,8 kg/m ³
4	Losa de Piso	2305,4 kg/m ³

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

Tabla 4
Resultados de porosidad del concreto

1	Muro Perimetral	12,0 %
2	Muro Perimetral	13,8 %
3	Losa de Piso	8,8 %
4	Losa de Piso	7,2 %

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

4.3 Análisis de calidad del concreto.

La resistencia mínima de diseño para el concreto se presume era de $f'c = 21,0$ MPa, y los resultados obtenidos tanto de los núcleos ensayados, como los realizados con el esclerometro fueron los siguientes:

Tabla 5
Análisis de la calidad del concreto con núcleos año 2014.

1	Losa de Piso	42,1 MPa	429,5 Kgf/cm ²
2	Muro Perimetral	36,2 MPa	368,9 Kgf/cm ²
3	Muro Perimetral	30,9 MPa	315,0 Kgf/cm ²
4	Columna	44,6 MPa	455,3 Kgf/cm ²
5	Columna	40,1 MPa	409,2 Kgf/cm ²
6	Losa de Piso	32,2 MPa	328,5 Kgf/cm ²
7	Losa de Piso	42,8 MPa	436,6 Kgf/cm ²

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

Tabla 6
Análisis de la calidad del concreto con esclerómetro año 2018

1	Losa de Piso	39.0 MPa	397.6 Kgf/cm ²
2	Muro Perimetral	34.2 MPa	348.7 Kgf/cm ²
3	Muro Perimetral	29,0 MPa	295.7 Kgf/cm ²
4	Columna	41,0 MPa	418.0 Kgf/cm ²
5	Columna	38,0 MPa	387.4 Kgf/cm ²

6	Losa de Piso	30,2 MPa	307.9 Kgf/cm ²
7	Losa de Piso	39,8 MPa	405.8 Kgf/cm ²

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

4.4 Porcentaje de Absorción.

Sobre los núcleos extraídos se realizaron pruebas de absorción, definiéndose la absorción del concreto como la relación que existe entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua.

Tabla 7
Análisis del porcentaje de absorción del concreto

1	Muro Perimetral	5,1 %
2	Muro Perimetral	5,4 %
3	Losa de Piso	3,9 %
4	Losa de Piso	3,1 %

Datos obtenidos en el laboratorio (Elaboración propia)

5. ESTUDIO DE SUELOS.

Para lograr evaluar el subsuelo del proyecto se realizaron seis (6) perforaciones de profundidades variables entre 1.00 y 3.00 m de profundidad, la proximidad de la roca impidió el avance del equipo de exploración. La localización se muestra a continuación:

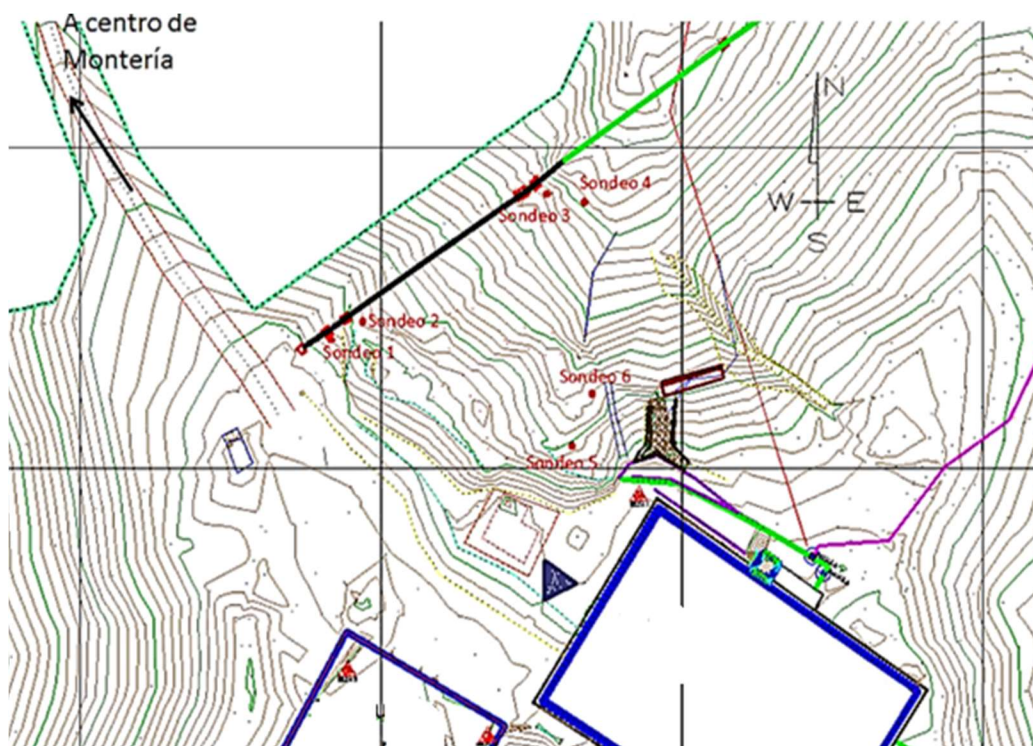


Figura 24. Localización de los sondeos. Fuente: Elaboración propia.

5.1 Metodología de exploración.

Para realizar las perforaciones se emplearon barrenos manuales tipo helicoidal. Para el avance se acopló el barreno a la varilla de extensión y se introdujo en la perforación, se giró en el sentido de las manecillas del reloj y se le presionó hacia abajo, hasta aproximadamente 0.50 m, posteriormente se sacó el barreno, sucesivamente se limpian las cuchillas y se sigue avanzando hasta alcanzar la profundidad deseada.

Cuando se alcanzó el nivel adecuado a cada metro, se tomó una muestra inalterada, para lo cual se acopló el tubo Shelby en la varilla de extensión y se procedió a tomar una muestra inalterada. El tubo se introdujo a golpes (o presión), con una almádana de 20 libras, hasta una penetración aproximada de 0.50 m, luego se procedió a sacar la muestra.



Figura 25. Exploración del subsuelo: Elaboración propia.

5.2 Ensayos de laboratorio.

Sobre las muestras se tomaron las más representativas para la clasificación por el Sistema Unificado (USCS) y con ellas se determinaron las características de resistencia mecánica del suelo, mediante la ejecución de los siguientes ensayos de laboratorio:

Tamizado mecánico.

Límites líquido y plástico.

Determinación de humedad.

Peso específico.

5.3 Caracterización del subsuelo.

5.3.1 Descripción de los sondeos realizados.

A continuación se realiza la descripción de los sondeos realizados:

Sondeo 1.

0.00 – 1.00 m: Arcilla arenosa de mediana plasticidad de color pardo claro.

1.00 – 1.50 m: Arena limosa de color pardo claro.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

Las humedades de los materiales varían entre 2% y el 23%.

No se registra la presencia de nivel freático.

Sondeo 2.

0.00 – 1.00 m: Arena arcillosa de color rojizo.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

La humedad del material varía entre 8% y el 10%.

El nivel freático no se encuentra.

Sondeo 3.

0.00 – 1.00 m: Grava areno limosa de color rojizo.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

La humedad del material varía entre 10% y el 11%.

No se encuentra el nivel freático.

Sondeo 4.

0.00 – 1.00 m: Arcilla arenosa de mediana plasticidad de color pardo rojizo.

1.50 – 2.00 m: Grava areno limosa de color pardo.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

Las humedades de los materiales varían entre 10% y el 22%.

No se registra la presencia de nivel freático.

Sondeo 5.

0.00 – 1.40 m: Arcilla arenosa de mediana plasticidad de color pardo rojizo.

1.40 – 1.80 m: Grava areno limosa de color pardo.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

Las humedades de los materiales varían entre 11% y el 20%.

No se encuentra el nivel freático.

Sondeo 6.

0.00 – 2.00 m: Arcilla arenosa de mediana plasticidad de color pardo rojizo.

2.00 – 2.20 m: Grava areno limosa de color pardo.

La profundidad de la exploración fue limitada por la rigidez de la roca encontrada a partir de esta profundidad.

Las humedades de los materiales varían entre 10% y el 22%.

No se registra la presencia de nivel freático.

6. DIAGNOSTICO DE LAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS EN EL TANQUE.

6.1 Diagnostico General del tanque: (losa superior y paredes)

Las afectaciones que presenta el tanque ubicado en el cerro sierra chiquita se pueden apreciar en el registro fotográfico donde se identificaron las lesiones que presenta nuestro paciente.

En términos generales se aprecia una estructura con bastante manchado superficial, suciedad generalizada y deterioro por falta de mantenimiento; sin embargo no se aprecian estados de fisuración importantes ni en las vigas ni en las columnas, aunque sí algunas afectaciones en los muros perimetrales del tanque.

Como se puede apreciar en el registro fotográfico, la estructura del tanque en general presenta algunas fallencias propias de falta de mantenimiento, y algunas afectaciones más serias, como lo es el deterioro importante en la cara interna de la losa superior (tapa) con acero expuesto y corroído, fisuras verticales y diagonales importantes en muros perimetrales algunas asociadas con los deslizamientos que se presentan alrededor del tanque como se aprecia en los estudios de suelos que se realizaron; se aprecian daños locales con pérdida de material (concreto).

Como se mencionó anteriormente, se aprecia una afectación estructural importante alrededor del 85% de la losa superior consistente en aceros expuestos y corroídos en la cara inferior de la losa del tanque (tapa); estos daños obedecen a deficiencias en las prácticas constructivas y a los efectos de los gases y vapores que genera el agua tratada dentro del tanque.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio tanto de profundidad de carbonatación, como de resistencia del concreto con el esclerómetro. Se puede analizar que los valores encontrados en el año 2018 en comparación con los realizados en el año 2014 no presentan variabilidad significativa en el resultado, por tal razón el concreto que tiene la

estructura del tanque de almacenamiento no presenta problemas y el diagnostico no varía en comparación con el del año 2014.

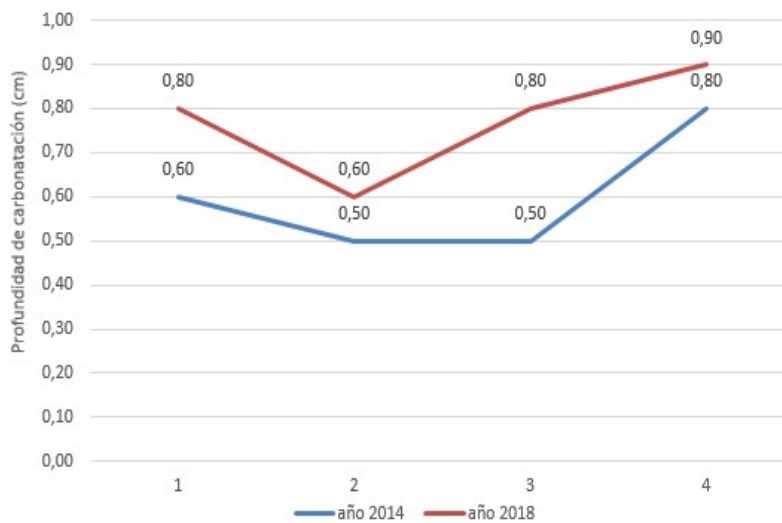


Figura 26. Resultados de profundidad de carbonatación año 2014 - 2018: Elaboración propia.

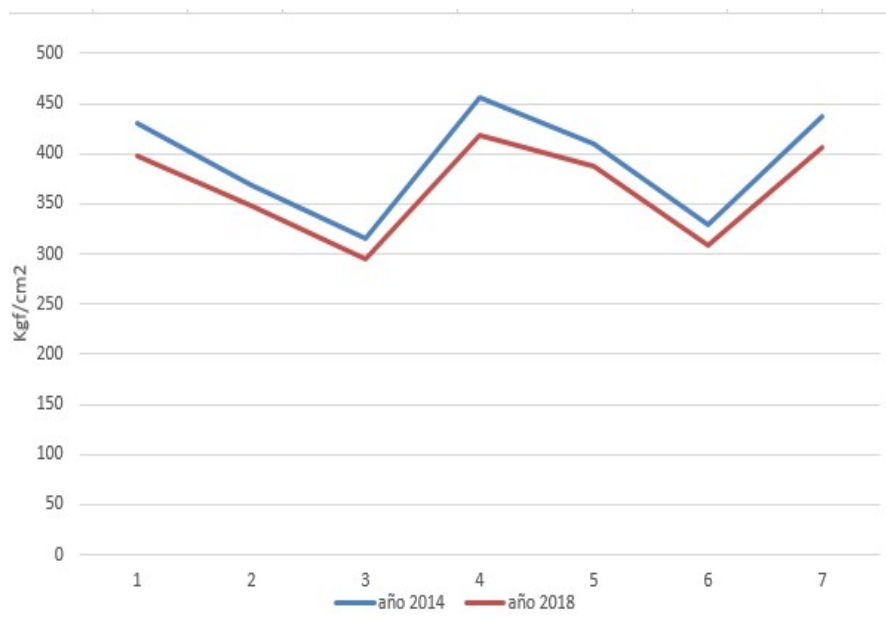


Figura 27. Resultados de resistencia del concreto año 2014 - 2018: Elaboración propia.

6.2 Deslizamiento alrededor del tanque.

Topografía general del proyecto donde se evidencia claramente la zona de estudio del proyecto del tanque de sierra chiquita.

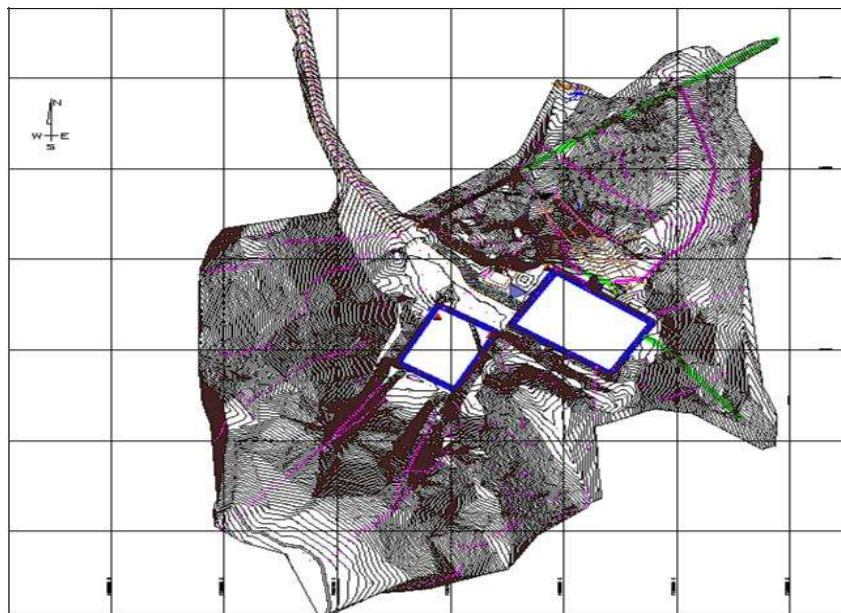


Figura 28. Topografía general del proyecto: Elaboración propia.

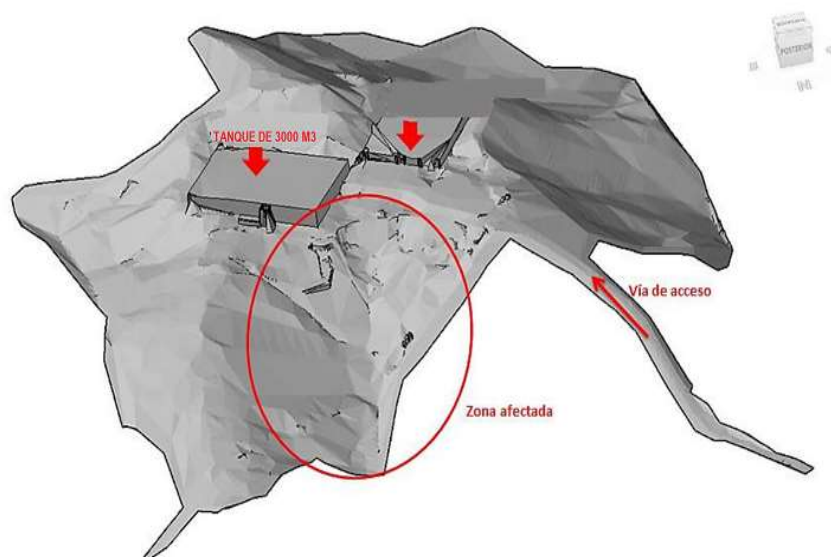


Figura 29. Modelo de elevación digital general del proyecto: Software Slope.

Con ayuda del modelo de elevación digital se evidencia el deslizamiento ocurrido, los desagües existentes y el sentido del flujo de agua, siendo la esorrentía natural uno de los factores generadores del movimiento y por este motivo el tanque está presentando problemas de asentamientos en las esquinas originando las fisuras que presentan los muros perimetrales del tanque y los desprendimientos del concreto que se presentan en la cara inferior de la tapa del tanque.

7. PROPUESTAS DE INTERVENCION.

Una vez reconocidas las lesiones de nuestro paciente, se procede a elaborar las siguientes propuestas de intervención:

Intervención N°1: Demolición de la placa superior (Tapa) ya que presenta bastante deterioro y reemplazarla construyéndola nuevamente.

Intervención N°2: Reparación de los muros perimetrales del tanque que presentan corrosión y desprendimientos de concreto.

Intervención N°3: Construcción de filtro alrededor del tanque para evitar los deslizamientos alrededor de este.

7.1 Intervención N°1: Construcción de la losa Superior del tanque (Tapa).

Como aspecto importante para corregir, es el mal estado y avanzado deterioro que presenta la losa superior (tapa) a flexión y cortante, por lo que se deberá demoler y construir una nueva losa. Se simuló el tanque con el software “Cypecad” donde se realizó un análisis general, con el cual se verificó el comportamiento bajo las actuales cargas de diseño establecidas en la normativa vigente. Se analizó entonces para las cargas propias, sobrecargas vivas y cargas de sismo, acorde con la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Se incluyen a continuación los análisis matemáticos, con las envolventes de carga, los diseños y reforzamientos requeridos para soportar adecuadamente las solicitaciones sobre la estructura. El análisis consistió en el cálculo de los esfuerzos máximos sobre los elementos bajo la acción de la carga muerta correspondiente, carga viva y carga debida al empuje del agua. Dentro del análisis después de realizar el modelo con las cargas reales existentes se debe verificar las fuerzas internas de los elementos con el fin de comprobar si su sección y refuerzo existente son capaces de soportar estas solicitaciones.

Los diseños se efectuaron utilizando la resistencia de los materiales reportados en los resultados obtenidos de los laboratorios:

Todos los elementos del tanque se modelaron mediante elementos finitos con el programa “CYPECAD”.

Concreto:

$f'c = 39.0 \text{ MPa}$ (390 Kgf/cm²) Losa de Piso.

$f'c = 33.6 \text{ MPa}$ (336 Kgf/cm²) Muros.

$f'c = 42.4 \text{ MPa}$ (424 Kgf/cm²) Columnas.

Acero de Refuerzo:

$$F_y = 2700 \text{ Kg/cm}^2 \text{ A-37}$$

Para el presente diseño se han tenido en cuenta todas las recomendaciones que exige la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Cargas:**1. Muerta.**

El peso propio de los elementos es asumido por la geometría y las características propias de los materiales incluidos en el modelo.

2. Viva.

Se estima una sobrecarga viva de 300 Kg/m².

3. Empuje del agua.

La carga de almacenamiento de agua que se suministra a la estructura corresponde al lleno total del tanque, esto es resistiendo la mayor carga en las paredes laterales y la placa de fondo del tanque.

4. Carga hidrodinámica.

Para la aplicación de este efecto dentro del análisis del tanque, se tomó como referencia el texto "Foundation Analysis and Design" de Joseph Bowles, que en capítulo 11-15 analiza el efecto hidrodinámico en muros y plantea una ecuación para el cuerpo de agua actuante sobre los muros:

$$P_{wd} = 7/12 (Y_w * H^2) = 2.63 \text{ Ton/m}$$

Donde:

P_{wd} : Presión Hidrodinámica

Dentro del análisis del tanque se planteó un modelo, que contiene los efectos del agua tanto estáticos como dinámicos. Es claro que el efecto hidrodinámico es un 17% mayor que el estático, pero cuando se mayoran las cargas el efecto estático está afectado por un factor igual 1.4, mientras que el hidrodinámico está afectado por 1.0, por lo que la condición estática es la más crítica.

Con estos tipos de carga se hacen las siguientes combinaciones:

$$\text{I: } 1.4D + 1.4F$$

$$\text{II: } 1.2D + 1.2F + 1.6L$$

$$\text{III: } 1.2D + 1.0L$$

$$\text{IV: } 1.2D + 1.0E + 1.0L + 1.0H$$

$$\text{V: } 0.9D + 1.0E + 1.0H$$

El análisis y el chequeo de elementos se hacen con una envolvente que reúne todas las combinaciones mencionadas.

7.1.1 Planos Losa Superior (Tapa).

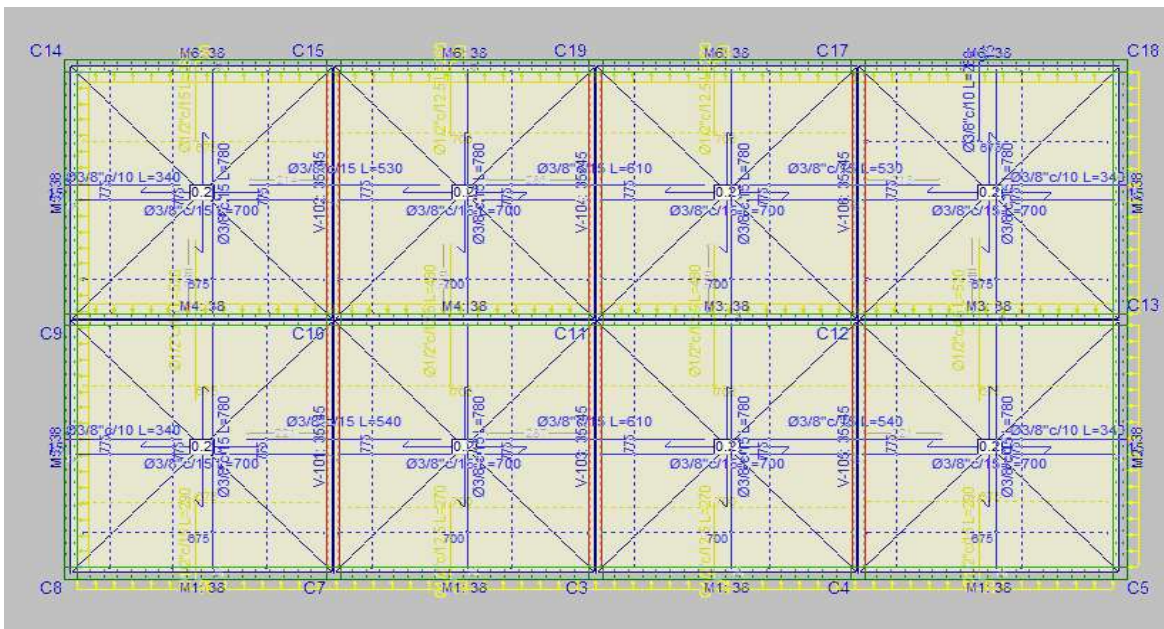


Figura 30. Planos losa superior tapa: Elaboración propia.

7.1.2 Planos Vigas (Tapa).

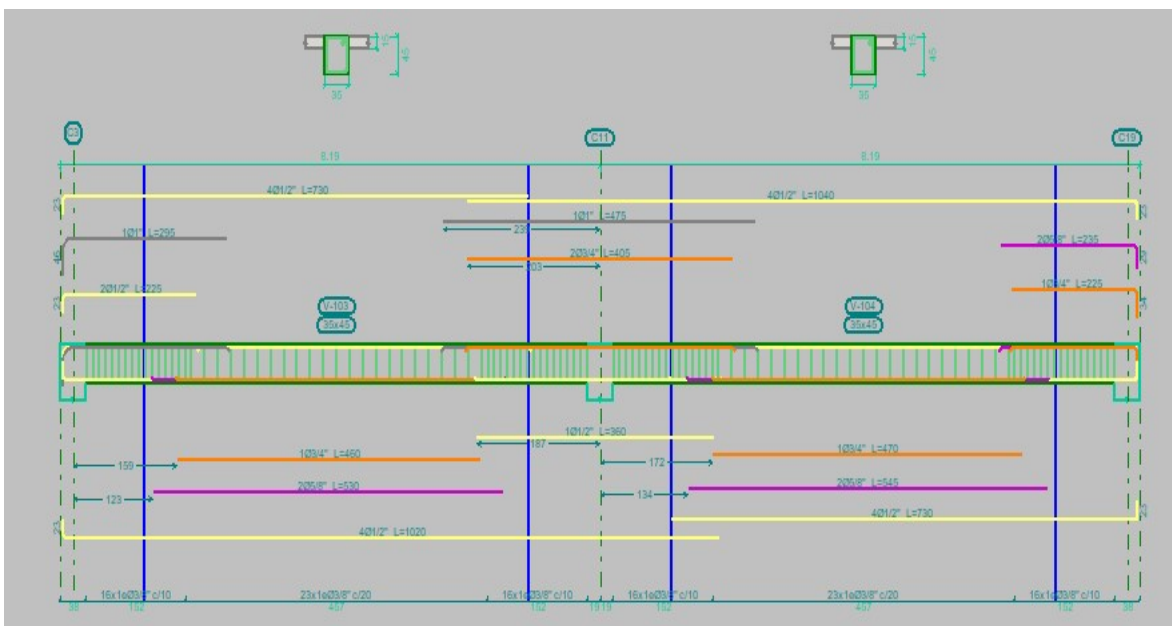


Figura 31. Planos vigas de refuerzo: Elaboración propia.

7.2 Intervención N°2: Reparación de los muros perimetrales del tanque.

Para la reparación de las paredes del tanque que presentan daños tanto por corrosión como por desprendimiento de concreto se recomienda las siguientes intervenciones:

7.2.1 hidrolavado y limpieza de superficies afectadas con ataque biológico y microbiológico.

Generalidades: por efectos de ataque biológico, microbiológico, ácidos, sales, ciclos de humedecimiento-secado, contaminación ambiental, las superficies de concreto se degradan y deterioran, por lo que para su conservación se hace necesario el retiro todos los materiales contaminantes con las herramientas y equipos apropiados hasta encontrar la superficie de concreto original sana.

Procedimientos de ejecución: Todo los materiales contaminantes deberán retirarse de la superficie y hasta encontrar concreto sano, con el uso de chorro de agua a presión mínima de 2500 psi, con el uso de hidrolavadora de tipo industrial. Se deberá utilizar rinse tipo CONCREBRIGHT o equivalente, para lograr obtener buena superficie de concreto completamente limpia y libre de cualquier contaminante que pueda afectarla. En caso necesario y dado el grado de contaminación - en algunas áreas - se hará necesario el uso de chorro de agua a presión a temperatura superior a los 60°C. Se podrá utilizar herramientas mecánicas como grata o cepillo de cerdas de acero, para retirar incrustaciones y/o contaminantes demasiado adheridos.

7.2.2 Escarificación del concreto afectado por corrosión, abrasión, erosión, ataque químico o mecánico.

Generalidades: por efectos de ataque biológico, microbiológico, ácidos, sales, abrasión, erosión impacto, carbonatación; las superficies de concreto se degradan, deterioran, fisuran, por lo que para su conservación se hace necesario el retiro del concreto y/o mortero afectado con las herramientas y equipos apropiados hasta encontrar concreto sano. La superficie expuesta después de la escarificación deberá cumplir con los requerimientos del ICRI para aplicación de recubrimientos poliméricos y/o epóxicos.

Procedimientos de ejecución: Localizar las áreas a intervenir, realizar corte con disco diamantado y retirar de la superficie todo el concreto defectuoso o dañado y hasta encontrar concreto sano, logrando rugosidad en la superficie sobre la cual se colocara el concreto o mortero de restitución de acuerdo a ICRI Guideline No.03731. - Guide for Selecting Application Methods for the Repair of Concrete Surfaces. Lo recomendable es utilizar martillos eléctricos o neumáticos de máximo 15 libras y de baja percusión para evitar microfisurar la superficie de concreto sobre la cual se aplicara los materiales de restitución.

7.2.3 Restitución de secciones de concreto afectado con mortero de reparación estructural.

Generalidades: Todos los concretos defectuosos o afectados por algún tipo de ataque, deberán ser retirados por el método descrito anteriormente, y hasta encontrar concreto sano. Cuando los espesores a tratar sean inferiores a 2", se deberán restituir con mortero de reparación estructural.

Materiales: El material a utilizar deberá ser un mortero de reparación rheoplástico, de alta resistencia, con base cementicia, con inhibidor de corrosión integral. Debe ser mejorado con adición de microsilica para dar a la reparación una mayor resistencia y desempeño. Que pueda ser aplicado con llana o lanzado a baja presión, verticalmente o sobre cabeza.

Preparación de la superficie: El sustrato debe estar sano, limpio y preparado con un perfil de anclaje mínimo entre 5mm y 7 mm. El acero de refuerzo y malla debe limpiarse o reemplazarse según lo indique el Ingeniero. Dejar 20 mm de espacio debajo del acero de refuerzo. El perímetro del área a ser reparada se corta a un mínimo de 6 mm de profundidad. Todos los materiales contaminantes o inhibidores de adherencia se deben remover. El sustrato debe estar con la superficie seca saturada (SSS). Para aplicaciones con llana a mano debe de aplicarse una lechada del mismo material.

Aplicación: Se deberá aplicar proyectándolo a baja presión o a mano con llana. Se deben seguir las recomendaciones de mezclado y aplicación generales definidas por el Fabricante- Proveedor.

7.2.4 Restitución de secciones afectadas con concreto de retracción compensada.

Generalidades: Todos los concretos defectuosos o afectados por algún tipo de ataque, deberán ser retirados y hasta encontrar concreto sano, por medios mecánicos con el uso de equipos livianos para evitar microfisurar la superficie sobre la cual se colocara el concreto de recuperación.

Materiales: El material a utilizar deberá ser un concreto de reparación rheoplástico, fluido de contracción compensada, con una formulación única que permita una adherencia excelente, alta resistencia a sulfatos y cloruros, alta resistencia a la compresión y con inhibidor contra la corrosión.

Preparación de la superficie: Prepare la superficie de conformidad con lo definido por el ICRI, Norma Técnica 03730 (Guía para la preparación de superficie para la reparación de concreto deteriorado por la corrosión del acero de refuerzo).El sustrato debe estar sano, limpio y preparado con un perfil de anclaje mínimo de 6 mm. El acero de refuerzo y malla debe limpiarse o reemplazarse según lo indique el Ingeniero. Dejar 60 mm (1/4") de espacio debajo del acero de refuerzo. El perímetro del área a ser reparada se corta a

un mínimo de 25 mm de profundidad. Todos los materiales contaminantes o inhibidores de adherencia se deben remover. El sustrato debe estar con la superficie seca saturada (SSS), a menos que use un agente epóxico para mejorar la adherencia entre concretos de diferentes edades.

Aplicación: Se deberá colocar dentro de las formaletas siguiendo las prácticas constructivas de colocación de concretos. Se deben seguir las recomendaciones de mezclado y aplicación generales definidas por el Fabricante - Proveedor.

7.2.5 Suministro y aplicación de inhibidor de corrosión, sobre acero de refuerzo con corrosión.

Generalidades: Sobre el acero de refuerzo que presente corrosión se deberá aplicar recubrimiento anticorrosivo, de dos componentes, mejorado con resinas acrílicas; previa limpieza y preparación de superficie.

Materiales: El material debe cumplir como mínimo con lo siguiente:

- Ser impermeable y prevenir la corrosión del acero de refuerzo.
- Mejorar la adherencia del acero de refuerzo y el concreto.
- Alta alcalinidad, similar a la del concreto.
- Resistencia a compresión (a 28 días): 55.2 Mpa.
- Resistencia a flexión (a 28 días): 6.9 Mpa.
- Tensión por cizallamiento (a 28 días): 6.9 Mpa.

Preparación del acero de refuerzo: El acero deberá estar limpio, libre de óxido suelto, grasa u otras sustancias extrañas. Se debe limpiar con medios mecánicos (escarificador de agujas), con chorro de arena hasta mínimo grado comercial (SSPC-SP5). Para lograr buena adherencia, la superficie debe estar seca y saturada (SSS), sin que haya agua presente.

Aplicación: Con llana de acero, cepillo de cerda rígida y/o spray. El espesor apropiado es de 20 mm, para lograr una buena protección (2 manos de 10 mm).

7.3 Intervención N°3: Construcción de filtro alrededor del tanque.

Para solucionar el deslizamiento alrededor del tanque se propone construir un filtro alrededor del tanque, el filtro debe tener una profundidad de 2.00 mts asegurándose que alcance el estrato rocoso, un detalle del mismo se muestra a continuación:

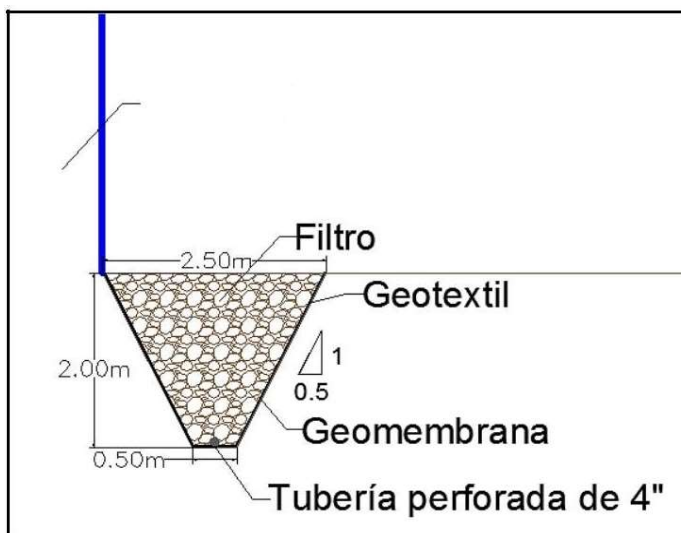


Figura 32. Filtro recomendado para construir alrededor del tanque: Elaboración propia.

La piedra debe ir encapsulada en una geomembrana (para impermeabilizar la zanja) y en un geotextil (para impedir que la piedra dañe la geomembrana). El filtro deberá estar localizado alrededor del tanque como se muestra en la siguiente figura:

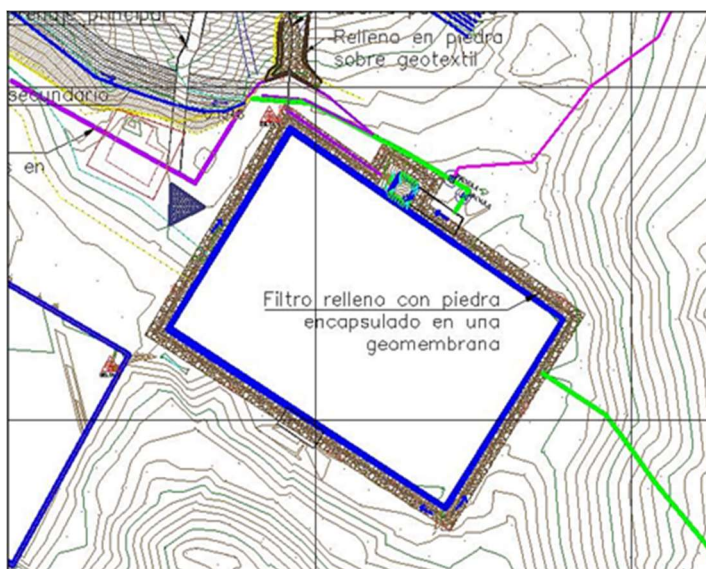


Figura 33. localizacion en planta del filtro recomendado: Elaboración propia.

En la vista en planta se muestra el sentido del flujo de agua en el filtro, el desagüe se realizara detrás del muro de contención existente a través de una tubería que deberá ir enterrada y saldrá al desagüe que se construirá para la cárcava.

El perfil de diseño del filtro se muestra a continuación, respetando la pendiente del terreno natural:

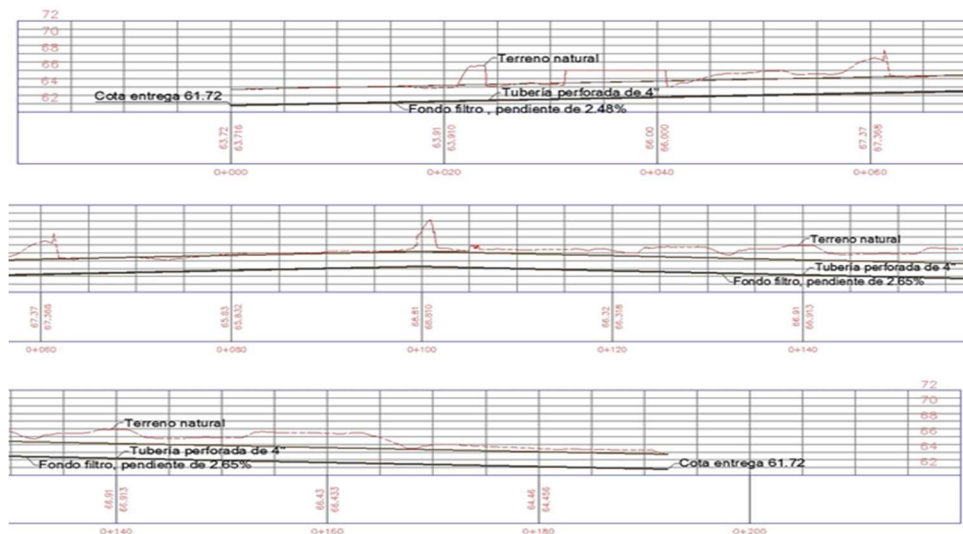


Figura 34.perfil con pendientes del filtro: Elaboración propia.

Las tuberías perforadas de 4" del filtro llegan a la cota 61.72, desde donde se conectan a una tubería 8" que hace la entrega del agua en el desagüe en la cota 59.94. A continuación se muestra el perfil de la tubería de 8":

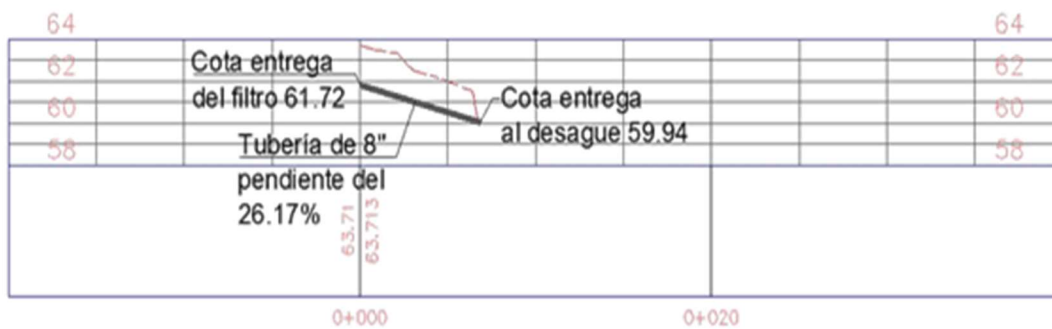


Figura 35.perfil con desagües del filtro: Elaboración propia.

8. PRESUPUESTO DE LAS INTERVENCIONES PROPUESTAS.

PRESUPUESTO DE INTERVENCIONES TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE UBICADO EN EL CERRO SIERRA CHIQUITA					
ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANT	VR. UNITARIO	SUB.TOTAL
1,00	PRELIMINARES				\$ 4.573.600
1,10	Levantamiento topografico	M ²	864,00	\$ 2.400	\$ 2.073.600
1,20	Levantamiento Estructural Tanque de Almacenamiento (Dimensionamiento de zapatas, columnas, columnas, vigas y lasas de entrepiso).	GLB	1,00	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
2,00	CONTRUCCION LOSA SUPERIOR (TAPA)				\$ 119.703.360
2,10	Demolicion de tapa existente	M ²	864,00	\$ 23.690	\$ 20.468.160
2,20	Acero de refuerzo	kg	7579,00	\$ 4.800	\$ 36.379.200
2,30	Concreto de 3000 p.s.i (tapa); Incluye formaleteria.	M ³	129,60	\$ 485.000	\$ 62.856.000
3,00	ESTUDIO GEOTECNICO				\$ 2.300.000
3,10	Estudio de suelos de la estructura y analisis geologico del lote.	GLB	1,00	\$ 2.300.000	\$ 2.300.000
4,00	ENSAYOS INVASIVOS Y NO INVASIVOS				\$ 2.600.000
4,10	Ensayos al concreto con esclerometro, ultrasonido y extraccion de nucleos.	UND	4,00	\$ 650.000	\$ 2.600.000
5,00	CONSTRUCCION DEL FILTRO				\$ 44.200.000
5,10	Construcion del filtro alrededor del tanque. Incluye: geotextil, geomembrana, tuberia perforada y todo lo necesario para su correcta instalacion.	M ³	520,00	\$ 85.000	\$ 44.200.000
6,00	REPARACION MUIROS DEL TANQUE				\$ 10.500.000
6,10	Hidroblivado, escarificacion del concreto afectado por corrosion, restitucion de concreto afectado y suministro con aplicacion de inhibidor de corrosion.	GLB	1,00	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000
7,00	LEVANTAMIENTO PATOLOGICO				\$ 750.000
7,12	Levantamiento de patologias del tanque de almacenamiento.	GLB	1,00	\$ 750.000	\$ 750.000
8,00	MODELACION DE LA ESTRUCTURA				\$ 1.700.000
8,10	Modelado de la estrucu en software para la parte estructural.	GLB	1,00	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000
SUB TOTAL					\$ 175.826.960
A.U.J(17%)					\$ 29.890.583
TOTAL					\$ 205.717.543

Figura 36. presupuesto general: Elaboración propia.

8.1 Plano General del Tanque.

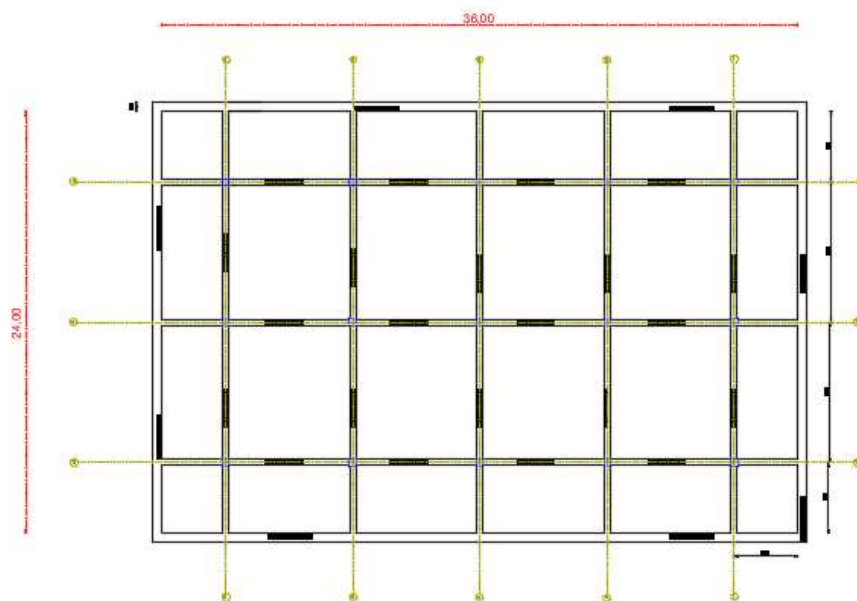


Figura 37.plano general del tanque: Elaboración propia.

8.2 Cuadro General de Cantidades.

CUADRO DE CANTIDADES					
DESCRIPCION	LARGO	ANCHO	ESPESOR	AREA	VOLUMEN
Levantamiento Topografico	36,00	24,00		864,00	
Demolicion de Tapa Existente	36,00	24,00		864,00	
Concreto de 3000 p.s.i (tapa); Incluye formaleteria.	36,00	24,00	0,15		129,60
Construcion del filtro alrededor del tanque.Incluye: geotextil,geomenbrana, tuberia perforada y todo lo necesario para su correcta instalacion.	200,00	2,00	1,30		520,00
ACERO DE REFUERZO					
	Ø 1/2"	Ø 3/8"			TOTAL KG
Tapa Superior (Nueva)	4284	3295			7579,0

Figura 38.cuadro general de cantidades: Elaboración propia.

9. ANALISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica de la estructura, es necesario definir los materiales estructurales, las características de las secciones de los elementos estructurales y no estructurales, las cargas reales que actúan sobre la estructura (muerta, viva y de sismo) y el espectro de diseño definitivo para realizar el análisis sísmico, acorde con lo exigido por la normativa.

Para ello es necesaria la aplicación de un método de análisis aceptado por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, para poder estudiar el comportamiento dinámico que presenta la estructura, permitiendo de esta forma determinar los desplazamientos horizontales en cada piso con el fin de establecer los niveles de daño esperados para los elementos estructurales y no estructurales.

9.1 Evaluación Estructural.

El modelamiento de esta edificación se ha realizado utilizando el programa de elementos finitos CYPECAD 2017, teniendo en cuenta el sistema estructural que presenta la edificación, su estado actual y las diferentes cargas a las que está sometida; este sistema estructural es combinado el cual se analiza con el fin de determinar los índices de vulnerabilidad y de flexibilidad tanto por derivas como por deflexiones.

9.2 Modelo Matemático.

El modelo se estructuró teniendo en cuenta las condiciones actuales y los levantamientos estructurales realizados, asumiendo las dimensiones de la estructura, las propiedades de los materiales y demás.

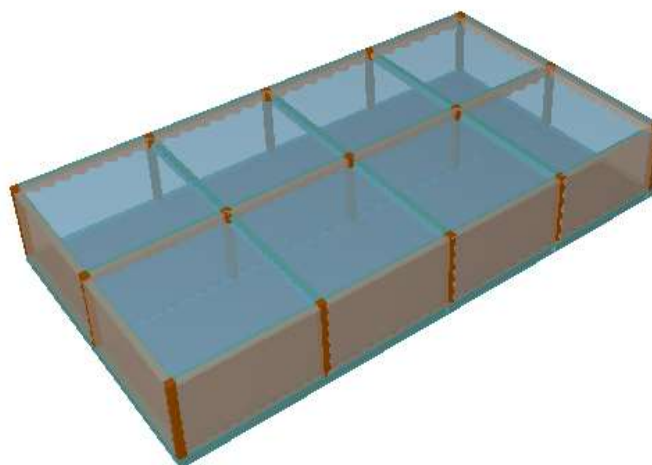


Figura 39. Modelo tridimensional. Fuente: Elaboración propia Programa Cypecad.

Para llevar a cabo la modelación y análisis de la estructura se han utilizado los requisitos exigidos por la NSR – 10 y según lo contemplado en su capítulo A.2, la zona de amenaza sísmica a la que pertenece la edificación es intermedia con una aceleración pico efectiva (A_a) de 0.10g y velocidad pico efectiva (A_v) de 0.15g.

Tabla A.2.5-1
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Figura 40. Grupo de uso. Fuente: NSR-10; A.25-1.

El grupo de uso donde se encuentra la estructura del tanque de agua potable es I y Coficiente de Importancia = 1.00

9.3 Parámetros Sísmicos de Diseño.

A continuación se presentan los coeficientes espectrales de Diseño y el espectro como resultado final.

Tabla 8
Coeficientes espectrales para diseño.

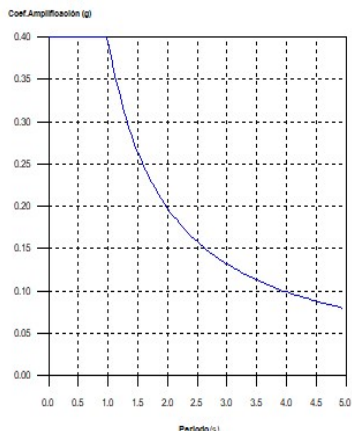
Parámetro	Valor	Descripción
Aa=	0.10g	Aceleración horizontal pico efectiva de diseño
Av=	0.15g	Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño
Fa=	1.6	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos
Fv=	2.2	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios
I=	1.0	Coefficiente de importancia
Tc=	0.99s	Periodo corto
Ti=	5.28s	Periodo largo
Sa=	0.167g	Aceleración espectral (g)
T=	0.145s	Periodo de vibración (s)

Datos obtenidos del programa CYPECAD (Elaboración propia)

9.4 Espectro de Cálculo.

1.2.- Espectro de cálculo

1.2.1.- Espectro elástico de aceleraciones



Coef. Amplificación:

$$S_{ae} = 2.5 \cdot A_s \cdot F_a \cdot I$$

$$S_{ae} = \frac{1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot I}{T}$$

$$S_{ae} = \frac{1.2 \cdot A_v \cdot F_v \cdot T_L \cdot I}{T^2}$$

$$T \leq T_c$$

$$T_c \leq T \leq T_L$$

$$T \geq T_L$$

El valor máximo de las ordenadas espectrales es 0.400 g.

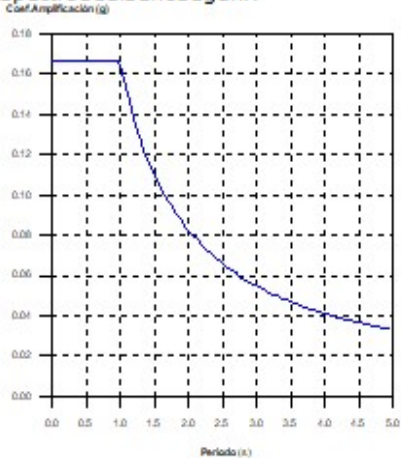
NSR-10 (A.2.6.1)

Figura 41. Espectro de Calculo: Elaboración propia Programa Cypecad.

9.5 Espectro de Diseño.

NSR-10(A.3.7)

Espectro de diseño según X



Espectro de diseño según Y

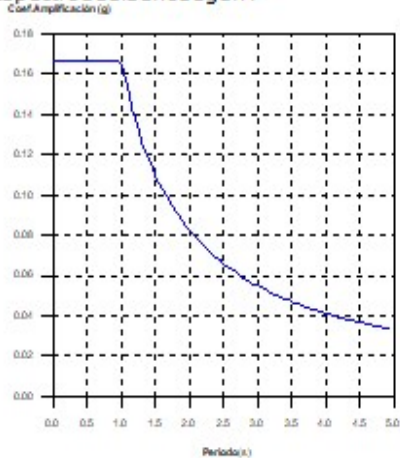


Figura 42. Espectro de diseño: Elaboración propia Programa Cypecad.

9.6 Estimación del periodo fundamental de la estructura.

El periodo fundamental aproximado de la estructura se estima para cada una de las direcciones de análisis:

$T_{a,x}$ = Periodo Fundamental aproximado (x) (NSR-10, A.4.2.2)

$$T_a = 0.047 * h^{0.9}$$

$$T_a = 0.047 * 3.5m^{0.9}$$

$$T_a = 0.145s$$

$T_{a,y}$ = Periodo Fundamental aproximado (y) (NSR-10, A.4.2.2)

$$T_a = 0.047 * h^{0.9}$$

$$T_a = 0.047 * 3.5m^{0.9}$$

$$T_a = 0.145s$$

9.7 Cortante Basal de Diseño.

El cortante sísmico en la base de la estructura se determina para cada una de las direcciones de análisis:

$V_{s,x}$ = Cortante sísmico en la base (x) (NSR-10, A.4.2.2)

$$V_{s,x} = S_{d,x} (T_a) * W$$

$S_{d,x} (T_a)$: Aceleración Espectral Horizontal de diseño (x)

$$V_{s,x} = 0.167 g * 566.8468 t$$

$$V_{s,x} = 94.66 t$$

$V_{s,y}$ = Cortante sísmico en la base (y) (NSR-10, A.4.2.2)

$$V_{s,y} = S_{d,x}(T_a) * W$$

$S_{d,y}(T_a)$: Aceleración Espectral Horizontal de diseño (x)

$$V_{s,y} = 0.167 \text{ g} * 566.8468 \text{ t}$$

$$V_{s,y} = 94.66 \text{ t}$$

9.8 Coeficientes de irregularidad.

Como el sistema estructural es combinado y debe tener una capacidad moderada de disipación de energía por estar ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia, el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico es:

$$R_o = 5.0$$

Se ha considerado que la edificación presenta irregularidad geométrica en planta tipo 1P aunque no es significativa, por tanto los factores de reducción del coeficiente de disipación y los coeficientes de capacidad de disipación de energía son los siguientes:

$$R = \phi_a * \phi_P * \phi_r * R_o$$

$$R = 0.80 * 0.80 * 0.75 * 5.0$$

$$R = 2.4$$

9.10 Índice de flexibilidad.

Para el cálculo y análisis de derivas y de desplazamientos de la estructura se toma como dato el máximo obtenido por el modelo de CYPECAD, en cada una de las direcciones, es decir, de las combinaciones con las cuales fue modelado se extrae el valor máximo.

Los índices de flexibilidad se han determinado para los efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas y las permitidas por el reglamento NSR-10.

Situaciones sísmicas TM									
Columna	Planta	Cota (m)	h (m)	Distorsión X			Distorsión Y		
				Absoluta (m)	Relativa	Origen	Absoluta (m)	Relativa	Origen
C3	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C4	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C5	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C7	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C8	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C9	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C10	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C11	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C12	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C13	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C14	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C15	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C17	Losa 1	3.27	3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
	Fundación	0.00							
	Total		3.27	0.0001	----	----	0.0003	----	----
C18	Losa 1	3.42	3.42	0.0001	----	----	0.0003	----	----

Figura 43. Distorsiones: Programa Cypecad.

Según la Figura 39 el Índice de flexibilidad máximo en dirección X es de 0.01% y en dirección Y es de 0.03% lo cual indica valores inferiores a los permitidos y aceptados por la norma, ya que no deben exceder el 1%. Desde este punto de vista se puede definir el nivel de vulnerabilidad en que se encuentra el tanque de agua potable.

9.11 Índice de Sobre esfuerzo.

El índice de sobre esfuerzo se ha determinado como el cociente entre las solicitaciones mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en la norma NSR-10, y la resistencia efectiva del elemento.

Los resultados de sobre esfuerzo se obtienen y se resumen así:

Tabla 9
Índices de sobre esfuerzo.

	Promedio	máximo
Fundación	1.68	2.45
Losa (superior)	15.13	15.15

Datos obtenidos del programa CYPECAD (Elaboración propia)

9.12 Análisis de Vulnerabilidad.

Los resultados obtenidos en los análisis de resistencia y rigidez responden al estado en el cual se encuentran los elementos estructurales, basándose en las propiedades mecánicas conseguidas por medio de los estudios practicados a dichos elementos.

Teniendo en cuenta que los índices de flexibilidad y de sobreesfuerzo son inferiores a 1.0 que es el límite establecido por el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, no se requiere de una modificación en la estructura con el objetivo de reducir estos valores y por tanto un mejor comportamiento frente a un evento sísmico.

El cálculo de la vulnerabilidad sísmica de la edificación se presenta en la siguiente tabla, correspondiente al inverso del índice de flexibilidad y de sobreesfuerzo los cuales representan una fracción de la rigidez y de la resistencia que tendría el tanque de agua potable.

Tabla 10
Análisis de Vulnerabilidad.

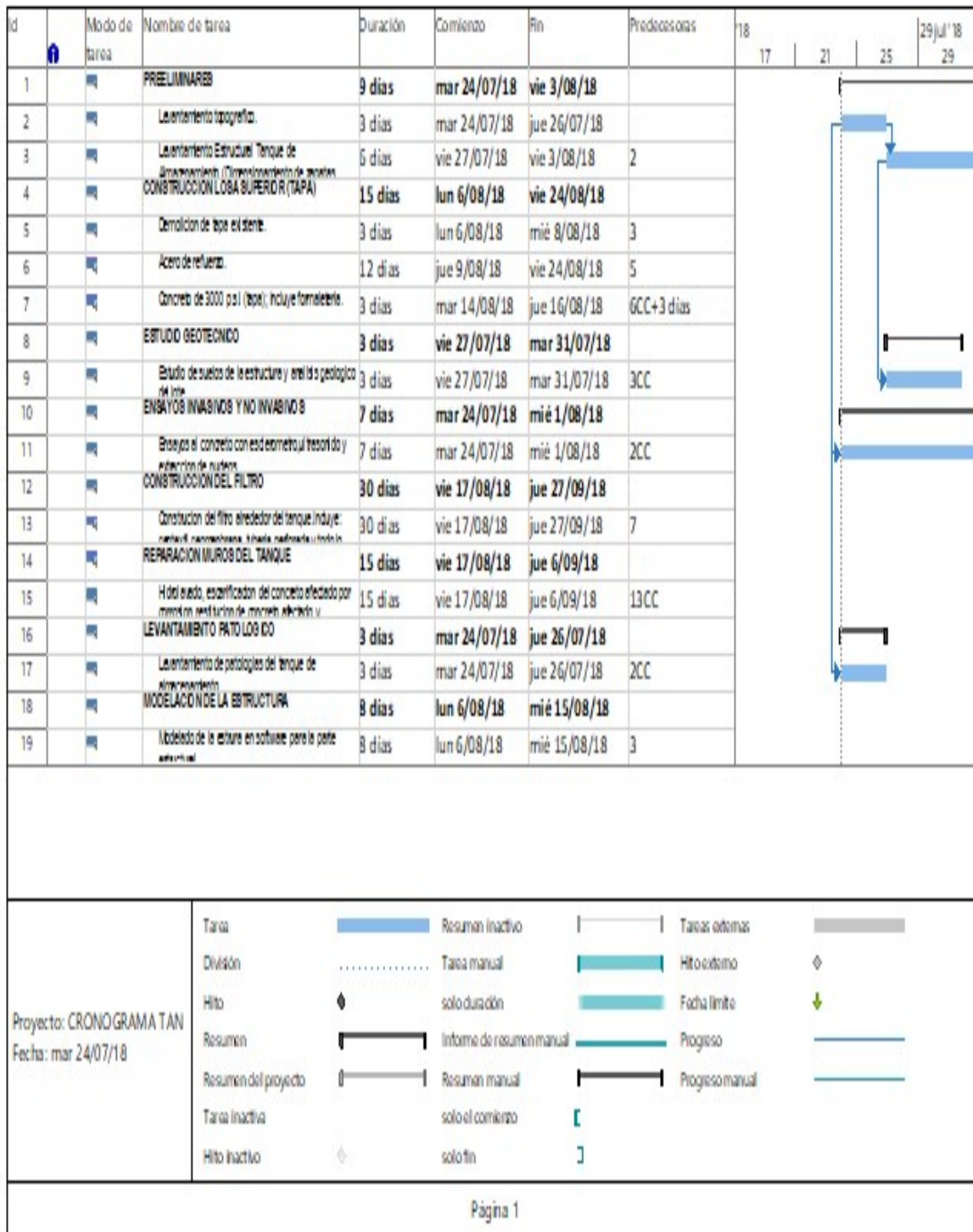
Índice de flexibilidad	Índice de sobreesfuerzo	% Rigidez	% Resistencia
0.03	15.15	33.33	0.06

Datos obtenidos del programa CYPECAD (Elaboración propia)

De acuerdo a la hipótesis de falla que debe plantearse según el reglamento para el estudio de vulnerabilidad sísmica puede decirse que tendría un inicio de falla en la losa superior del tanque

ya que en este se presenta un índice de sobreesfuerzo mayor, razón por la cual en las propuestas de intervención se plantea la construcción de una nueva losa superior (tapa).

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.



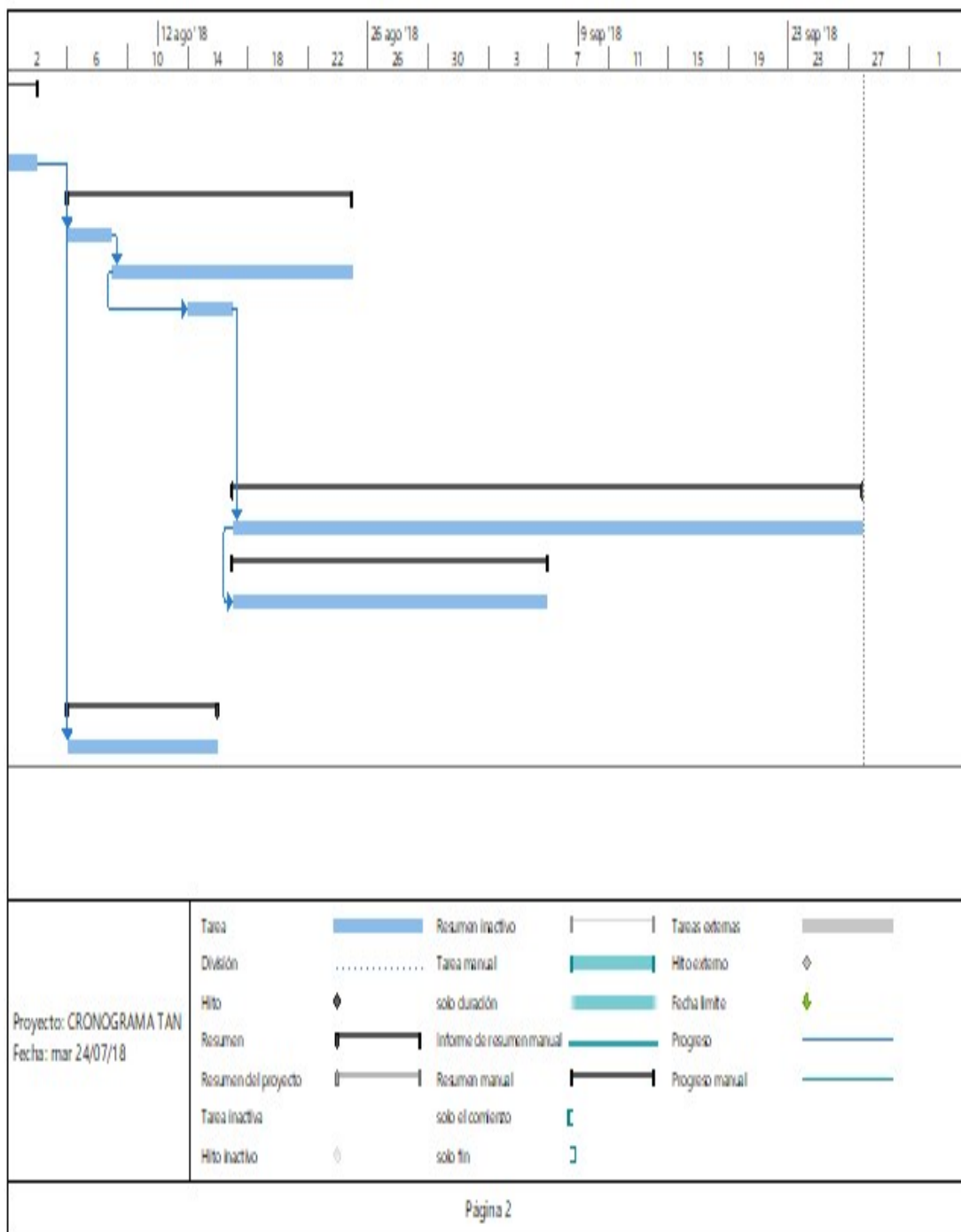


Figura 44.cronograma de cantidades: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se concluye que la afectación más grave fue la que se generó en la cara inferior de la tapa del tanque, la cual se produjo principalmente por dos razones a saber: a) En primer lugar desde su construcción se dejaron muy escasos recubrimientos del acero inferior, y b) La muy alta temperatura que se genera al interior del tanque facilita la generación de vapores del agua tratada, la cual esta adiciona por cloro, aluminatos y demás sustancias que se requerirán para su tratamiento, lo cual aumenta la rata de humedecimiento con estos vapores en la cara inferior.
- Debido a las afectaciones que sufrió la tapa superior del tanque, se concluye realizar la demolición total de esta y la construcción de una nueva tapa con adecuados recubrimientos y acorde con las nuevas recomendaciones para durabilidad de la norma técnica colombiana NTC 5551; por otra parte, y a manera de guía, se recomienda que sobre la tapa se instale una de las nuevas denominadas cubiertas verdes, con lo cual se podrá bajar sensiblemente la temperatura al interior del tanque, por lo demás las afectaciones patológicas detectadas en los muros son de carácter menor y todas reparables.
- En relación a los problemas de deslizamiento que se presentan alrededor del tanque, se debe realizar la construcción de un filtro para así evitar que se sigan presentando este tipo de fallas.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados, para comparar la calidad del concreto en el año 2014 y 2018 del tanque de almacenamiento, se concluye que los resultados obtenidos no varían mucho en relación con el tiempo transcurrido y por tal motivo la calidad del concreto no presenta problemas significativos que puedan afectar el tanque de almacenamiento.

REFERENCIAS

- ACI, 2. I. (s.f.). *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras de Concreto*.
- Alcudia, F. S. (1998). *Patología de la Edificación, el lenguaje de las grietas*. Madrid: Fundación Escuela de la Construcción.
- Codazzi, I. G. (s.f.). *Antioquia Características Geograficas*. Bogota D.C: Imprenta Nacional de Colombia.
- Das, B. M. (s.f.). *Fundamentos de Ingenieria de Cimentaciones*. Thomson Learning.
- Jaime, S. (2001). *Control de Erosion en Zonas Tropicales*. Division Editorial y de Publicciones Universidad Industrial de Santander.
- Paulo Helene, F. P. (2007). *Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto*.
- Suarez Diaz, J. (s.f.). *Control de Erosion en Zons Tropicales*. Manual de Drenaje para Carreteras, Invias.
- Vallejo, G. (s.f.). *Ingenieria Geologica*. Prentice Hall.

Anexo A. Perfiles Estratigráficos

	ESTRATIGRAFIA			
	PROYECTO:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA CHIQUITA		SONDEO N°: 1
	LOCALIZACION:	SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA		FECHA: ENE 19 DE 2018
	CONTRATISTA:	PROACTIVA S.A.	V1	

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	Cohesión (KN/m2)	w	LL	IP	Clasificación SUC S	Observaciones
0 m							
1 m			23,00%	41,00%	17,00%	CL	PASA N°4 = 99,15% PASA N°200 = 74,07% ARCILLA ARENOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD PARDO CLARO
2 m			2,00%	NL	NP	SM	PASA N°4 = 100,00% PASA N°200 = 36,31% ARENA LIMOSA PARDO CLARO ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

Nivel freático: No se encontró

	ESTRATIGRAFIA			
	PROYECTO:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA CHIQUITA		SONDEO N°: 2
	LOCALIZACION:	SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA		FECHA: ENE 19 DE 2018
	CONTRATISTA:	PROACTIVA S.A.	V1	

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	w	LL	IP	Clasificación SUC S	Observaciones
0 m						
1 m		9,00%	23,00%	3,00%	SC	PASA N°4 = 97,04% PASA N°200 = 45,57% ARENA ARCILLOSA PARDO
2 m		10,00%	24,00%	4,00%	SC	PASA N°4 = 96,93% PASA N°200 = 43,60% ARENA ARCILLOSA ROJIZO
3 m		8,00%	23,00%	2,00%	SC	PASA N°4 = 96,95% PASA N°200 = 43,98% ARENA ARCILLOSA ROJIZO ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

Nivel freático: No se encontró

	ESTRATIGRAFIA		
	PROYECTO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA LOCALIZACIÓN: SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA CONTRATISTA: PROACTIVA S.A.	SONDEO N°: 3 FECHA: ENE 19 DE 2018	
	V1		

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	w	LL	IP	Clasificación SUCS	Observaciones
0 m		10,00%	28,00%	4,00%	GM	PASA N°4 = 40,82% PASA N°200 = 13,78% GRAVA ARENO LIMOSA ROJIZO
1 m		11,00%	27,00%	4,00%	GM	PASA N°4 = 40,41% PASA N°200 = 13,45% GRAVA ARENO LIMOSA ROJIZO ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

Nivel freático: No se encontró

	ESTRATIGRAFIA		
	PROYECTO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA LOCALIZACIÓN: SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA CONTRATISTA: PROACTIVA S.A.	SONDEO N°: 4 FECHA: ENE 19 DE 2018	
	V1		

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	Cohesión (KN/m2)	w	LL	IP	Clasificación SUCS	Observaciones
0 m							PASA N°4 = 99,04% PASA N°200 = 70,54% ARCILLA ARENOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD PARDO VETAS ROJIZAS
1 m			25,00%	42,00%	18,00%	CL	
2 m			4,00%	NL	NP	SM	PASA N°4 = 100,00% PASA N°200 = 36,93% ARENA LIMOSA PARDO VETAS ROJIZAS ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

Nivel Freático: No se encontró

	ESTRATIGRAFIA		V1
	PROYECTO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA CHIQUITA LOCALIZACIÓN: SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA CONTRATISTA: PROACTIVA S.A.	SONDEO N°: 5 FECHA: ENERO 19 DE 2018	

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	Cohesión (KN/m2)	w	LL	IP	Clasificación SUC S	Observaciones
0 m							
1 m			20,00%	41,00%	17,00%	CL	PASA Nº4 = 99,13% PASA Nº200 = 73,25% ARCILLA ARENOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD PARDO ROJIZO
2 m			11,00%	27,00%	4,00%	GM	PASA Nº4 = 40,73% PASA Nº200 = 13,92% GRAVA ARENO LIMOSA PARDO ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

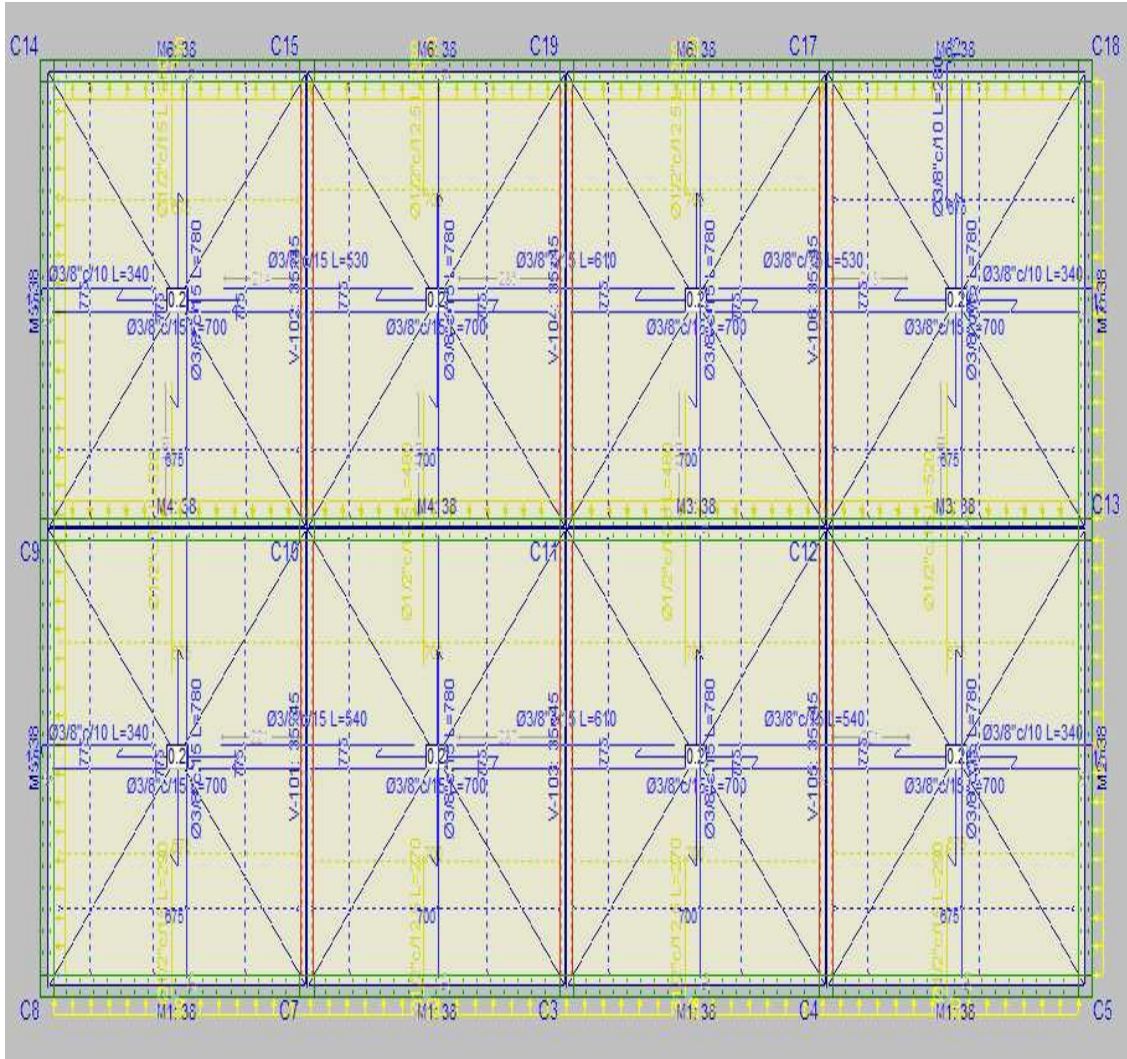
Nivel Freático: No se encontró

	ESTRATIGRAFIA		V1
	PROYECTO: TANQUE DE ALMACENAMIENTO SIERRA CHIQUITA LOCALIZACIÓN: SIERRA CHIQUITA, MONTERIA - CORDOBA CONTRATISTA: PROACTIVA S.A.	SONDEO N°: 6 FECHA: ENERO 19 DE 2018	

Perfil Estratigráfico	Peso Unitario (KN/m3)	Cohesión (KN/m2)	w	LL	IP	Clasificación SUC S	Observaciones
0 m							
1 m							
2 m			22,00%	42,00%	18,00%	CL	PASA Nº4 = 99,10% PASA Nº200 = 72,58% ARCILLA ARENOSA DE MEDIANA PLASTICIDAD PARDO ROJIZO
			10,00%	27,00%	3,00%	GM	PASA Nº4 = 40,25% PASA Nº200 = 13,22% GRAVA ARENO LIMOSA PARDO ROCA SE PRESENTA RECHAZO AL EQUIPO DE EXPLORACION

Nivel Freático: No se encontró

Anexos B. Planos Estructurales de la Placa del Tanque



Acero de Refuerzo placa Superior del Tanque

Anexos C. Registro Fotográfico de Patologías del Tanque



Acero de refuerzo expuesto, poco recubrimiento y pérdida de concreto



Degradación de la superficie del concreto por efectos químicos en las paredes del tanque



Aceros de refuerzo expuestos y corroídos en las paredes del tanque



Pruebas para determinar la profundidad del frente de carbonatación de las paredes del tanque



Extracción de núcleos para paredes del tanque



Deslizamientos que se presentaron alrededor del tanque de almacenamiento

Anexos D. Laboratorios Realizados



RESULTADO DEL ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACION

PROYECTO: ESTUDIO PATOLÓGICO TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE

LOCALIZACIÓN: CERRO SIERRA CHUQUITA

FECHA: DICIEMBRE 21/2018.

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACION		
Estructura Elemento	Espesor de Recubrimiento (cm)	Espesor de Carbonatado (cm)
Muro Perimetral	1,00	0,00
Columna	1,00	0,00
Columna	1,00	0,00
Muro Perimetral	1,00	0,00

ING. GILBERTO RAFAEL DE JESUS BUSTAMANTE
Laboratorio de Materiales y Estructuras

Ensayo de carbonatación



RESULTADO DE LOS ENSAYOS CON EL ESCLEROMETRO

PROYECTO: ESTUDIO PATOLOGICO TANQUE DE ALMACENAMIENTO AGUA POTABLE.

LOCALIZACIÓN: CERRO SIERRA CHIQUITA.

FECHA: DICIEMBRE 19/2018.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON EL ESCLEROMETRO			
UBICACIÓN DE LA PRUEBA	VALORES DE GOLPES ESCLEROMETRICOS	VALOR PROMEDIO	RESISTENCIA Rgf/cm ²
Losá de Piso	46-45-47-46-45-41-49-42-47-46	44,80	337,0
Muro Perimetral	40-40-41-39-43-40-41-40-41-40	41,10	348,7
Muro Perimetral	35-34-34-35-32-35-31-35-31-30	33,40	285,7
Columna	46-47-45-46-47-45-46-44-47-46	45,90	418,0
Columna	43-40-38-48-39-41-40-47-46-49	39,00	327,4
Losá de Piso	37-36-35-38-38-34-39-38-39-40	37,3	307,9
Losá de Piso	46-45-47-46-45-46-48-45-47-46	45,50	405,8



ING. GILBERTO RAFAEL DE JESUS BUSTAMANTE
 Laboratorio de Materiales y Estructuras

Oficina Principal: Calle 19ª No. 7-07 PBX: (57)(4) 401177, Medellín, Colombia
 Email: sofan@sofaningenieria.com, sofan@sofaningenieria.com

Ensayo de Resistencia del concreto con el esclerómetro