

5 EMBALSE EL HATO

A partir de las actividades de auscultación, inspección visual y levantamiento de daños llevadas a cabo durante los trabajos de campo, adelantados sobre las obras de infraestructura presentes en el embalse, a continuación, se presenta el resultado de las mismas.

5.1 Consideraciones para diagnóstico

Durante el proceso de los trabajos de campo sobre las obras de infraestructura, se identificaron las principales características de cada una, así como se evidenciaron sus defectos y posibles deterioros en su integridad, los cuales pueden afectar su correcto funcionamiento o desempeño estructural, todo ello a partir de la inspección visual. Cabe resaltar que, para el desarrollo del presente diagnóstico, se tomará como guía las prescripciones que al respecto dicta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), Capítulo A.10. Aunque el propósito y alcance de dicho capítulo del reglamento NSR-10 se enfoca únicamente para la evaluación e intervención de edificaciones, el procedimiento de evaluación y algunas de sus etapas expuestas en el numeral A.10.1.4, pueden adoptarse para la evaluación y diagnóstico de estructuras existentes en concreto reforzado, diferentes a edificaciones. De igual manera se llevará a cabo con los requerimientos exigidos por la CAR.

5.2 Antecedentes sismológicos ocurridos en la región andina

A continuación, se presenta un listado de los eventos extremos de tipo sísmico, que han ocurrido en la región Andina, y los más cercanos que ha sacudido en los sectores próximos a los embalses objeto del presente estudio. El objetivo del presente listado es tener un record de dichos eventos, y determinar si han influenciado o no el comportamiento y desempeños de las obras de infraestructura de los embalses. Se presenta el listado de los sismos, desde el reportado en la fecha más próxima a la construcción y entrada en operación del embalse más antiguo:

- Santander 8 de julio de 1950, magnitud 6.7.
- Santander 21 de abril de 1957, magnitud 6.9.
- Eje cafetero 30 de julio de 1962, magnitud 6.8.
- El Clavario, Usme 4 de septiembre de 1966, magnitud 5.0.
- Neiva, Huila 9 de febrero de 1967, magnitud 7.2.
- Eje cafetero 3 de abril de 1973, magnitud 6.3.
- Santander 17 de abril de 1974, magnitud 4.8.
- Popayán 31 de marzo de 1983, magnitud 5.5.

- El Clavario, Cundinamarca y Meta 19 de marzo de 1988, magnitud 4.8.
- Páez, Huila y Cauca 6 de junio de 1994, magnitud 6.4.
- Tauramena, Casanare 19 de enero de 1995, magnitud 6.0.
- Eje cafetero, Quindío y Risaralda 25 de enero de 1999, magnitud 7.1.
- El Clavario, Quetáme 24 de mayo de 2008, magnitud 5.7.
- Ecuador, Ecuador y Colombia 16 de abril de 2016, magnitud 7.6.
- Santander 30 de septiembre de 2017, magnitud 5.5.
- Mesetas 24 de diciembre de 2019, magnitud 6.2.
- Mesa de los santos, 28 de marzo 2020, magnitud 5.1.



5.3 Antecedentes para diagnóstico estructural Embalse El Hato

El embalse El Hato se construyó con el objetivo de abastecer a los regionales de Ubaté y Carmen de Carupa. Además de lo mencionado anteriormente podemos agregar:

- Regular el caudal del Río El Hato, afluente principal del Río Ubaté en su parte alta. Esta regulación tiene un interés de tipo ambiental ya que permite mantener un flujo regular de agua por las corrientes que a su vez beneficia la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.
- Garantizar la continuidad del recurso hídrico para alimentar las denominadas “bloques de irrigación” correspondientes con la parte alta del distrito de riego y drenaje Fúquene-Cucunubá.
- Alimentar en agua potable al Municipio de Ubaté. En la actualidad, el Municipio capta el agua potable a partir de una bocatoma localizada sobre el Río Ubaté, aguas arriba del casco urbano y aguas abajo del Embalse El Hato.

La construcción del embalse comenzó con la adquisición de los terrenos en el año de 1985, y en 1994 se llevó a cabo su construcción, con el fin de regular el recurso hídrico del río Hato. Actualmente es un espacio para el ecoturismo.

En el año de 2016 se llevaron a cabo las obras de construcción del actual vertedero de excesos.



Fotografía. 106. Vista general del campamento de construcción.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

A continuación, se presenta una fotografía de la época de la construcción del embalse, específicamente de la fase constructiva del vertedero de excesos.



Fotografía. 107. Construcción vertedero de excesos.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En la fase de recopilación de información se pudo tener acceso, a través del centro de documentación ambiental de la CAR, a información de planos de diseño. Dentro de los que se pueden valorar para el presente estudio, y como guía para el diagnóstico estructural se pueden enumerar los siguientes:

- Captación N°1 Planta general. Estudios Técnicos; Plancha N°5. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentra la ubicación general del vertedero.
- Captación N°1 Cortes y dimensiones. Estudios Técnicos; Plancha N°8. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentran detalles del vertedero.
- Captación N°2 Refuerzo. Estudios Técnicos; Plancha N°16. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentra el detalle del refuerzo de los muros laterales del vertedero.
- Descarga de fondo Tapón cortes y detalles. Estudios Técnicos; Plancha N°35. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general y detallada del túnel de descarga del embalse.
- Descarga de fondo Casa de válvulas y tanque de amortiguación. Estudios Técnicos; Plancha N°36. Ago 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de la casa de válvulas de la descarga de fondo del embalse.

- Descarga de fondo Casa de válvulas y tanque de amortiguación dimensiones cortes y detalles. Estudios Técnicos; Plancha N°37. Ago 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de la casa de válvulas de la descarga de fondo del embalse, y algunos detalles menores.
- Instalaciones eléctricas Localización línea de transmisión e iluminación. Estudios Técnicos; Plancha N°46. Oct 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de la ubicación general en planta del tunel de descarga, canal de descarga y vertedero de excesos del embalse.
- Túnel de desviación Disposición general planta y perfil. Estudios Técnicos; Plancha N°25. Oct 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de localización, planta y perfil del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Sección y detalles. Estudios Técnicos; Plancha N°26. Oct 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información de las secciones transversales, refuerzo, anclaje y detalles del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Portal de entrada disposición general y cortes. Estudios Técnicos; Plancha N°27. Oct 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general del portal de entrada del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Portal de entrada dimensiones. Estudios Técnicos; Plancha N°29. Sep 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general del portal de entrada del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Portal de entrada refuerzo. Estudios Técnicos; Plancha N°30. Oct 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información acerca del acero de refuerzo y despieces del portal de entrada del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Portal de salida y descarga de fondo disposición general. Estudios Técnicos; Plancha N°32. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de planta y perfil del portal de salida del túnel de desviación del embalse.
- Túnel de desviación Portal de salida dimensiones refuerzo detalles. Estudios Técnicos; Plancha N°34. Nov 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información del refuerzo y despieces del portal de salida del túnel de desviación del embalse.
- Vertedero Planta perfil y detalle. Estudios Técnicos; Plancha N°42. Sep 1986. En el contenido de este plano, se encuentra información general de planta y perfil del vertedero de excesos del embalse.

En los planos enumerados anteriormente, se encuentra información muy general de las dimensiones y ubicación de las obras de infraestructura del embalse, específicamente del vertedero de excesos y el túnel de desviación con sus correspondientes portales de

entrada y de salida. De las demás obras de infraestructura que se han definido como parte del diagnóstico no se obtuvo información, por lo tanto, la información para realizar el diagnóstico será la que se obtenga en campo, a partir de la inspección visual, peritaje estructural, toma de muestras y ensayos de laboratorio para el material estructural, levantamiento topográfico, y otros que se puedan adoptar para determinar el estado de las obras.

5.4 Suelos y geología.

Con base en la normativa vigente de nuestro país para este tipo de estructuras, se pueden estimar los movimientos sísmicos a partir de la amenaza sísmica del sitio, conforme a las prescripciones del Título A.2.2 de la NSR-10.

A partir de la ubicación geográfica del presente embalse, se pueden establecer los parámetros sísmicos del sitio, con base en la información del Apéndice A-4 de la NSR-10, a saber:

Ubicación geográfica o de referencia: Carmen de Carupa, (Cundinamarca).

Zona de amenaza sísmica: Intermedia

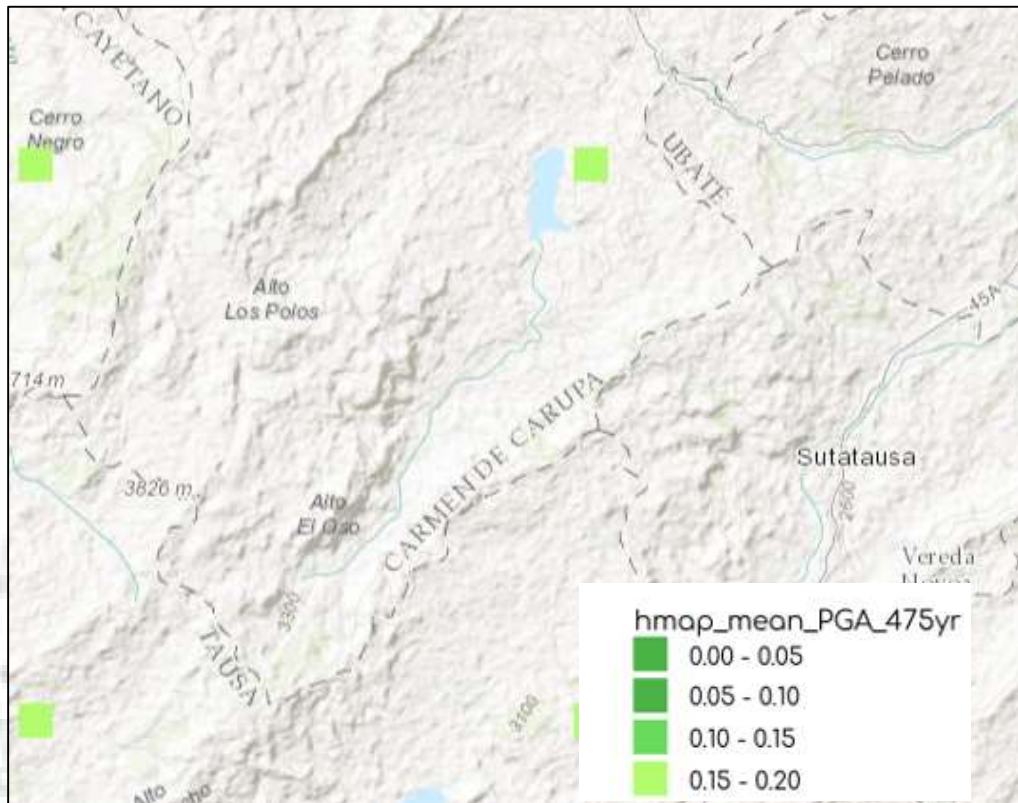
Coefficiente de aceleración horizontal pico efectiva (A_a): 0.15.

Coefficiente de velocidad pico efectiva (A_v): 0.15.

5.4.1 Amenaza Sísmica

Según el Plan de Desarrollo del Municipio Carmen de Carupa, en el municipio se identifica una falla principal Falla de Carupa (falla de cabalgamiento) en dirección Suroccidente - Nororiental, afectando las veredas de Charquirá, Hatico y Eneas, Alisal y La Huerta.

Ahora bien, el Servicio Geológico Colombiano- SGC presenta resultados a nivel de una grilla regular con espaciamiento de 0,1 grados que corresponde aproximadamente a 10', así como para las localizaciones de los centros poblados del país. De esta manera se presentan los resultados del mapa de aceleraciones pico para el área del embalse, donde se observa que los puntos de la grilla se encuentran clasificados en el rango de 0.15-0.20 g. (Consortio Embalses CAR, 2020).

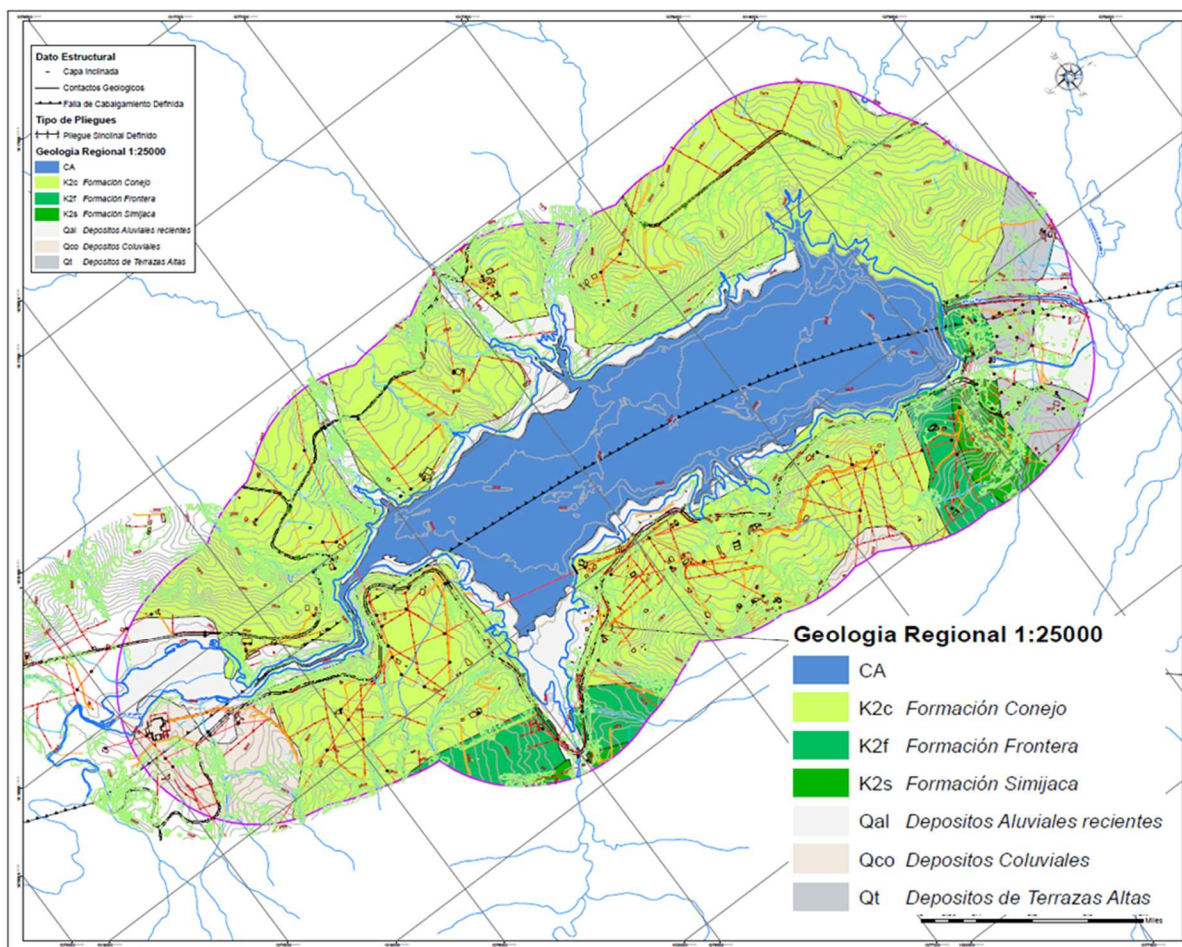


Fotografía. 108. Mapa aceleraciones pico (PGA) Embalse El Hato. Periodo de retorno 475 años.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

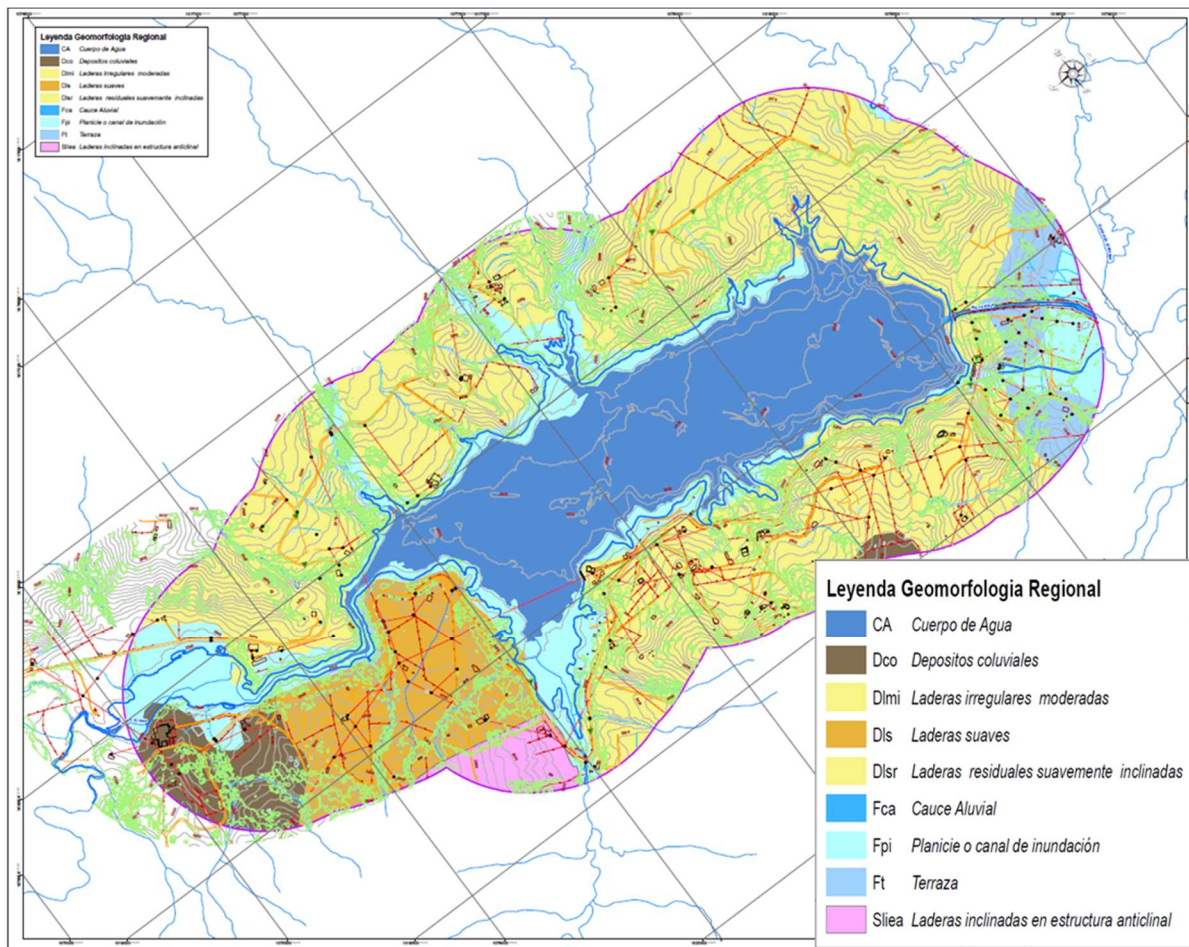
5.4.2 Unidad geológica regional

En el sector donde se localiza el embalse de El Hato, afloran las siguientes unidades, Formaciones: Fm. Simijaca, Fm. Frontera, Fm. Conejo, y del Cuaternario Depósitos de Terraza, y Depósitos Aluviales. (Consorcio Embalses CAR, 2020).



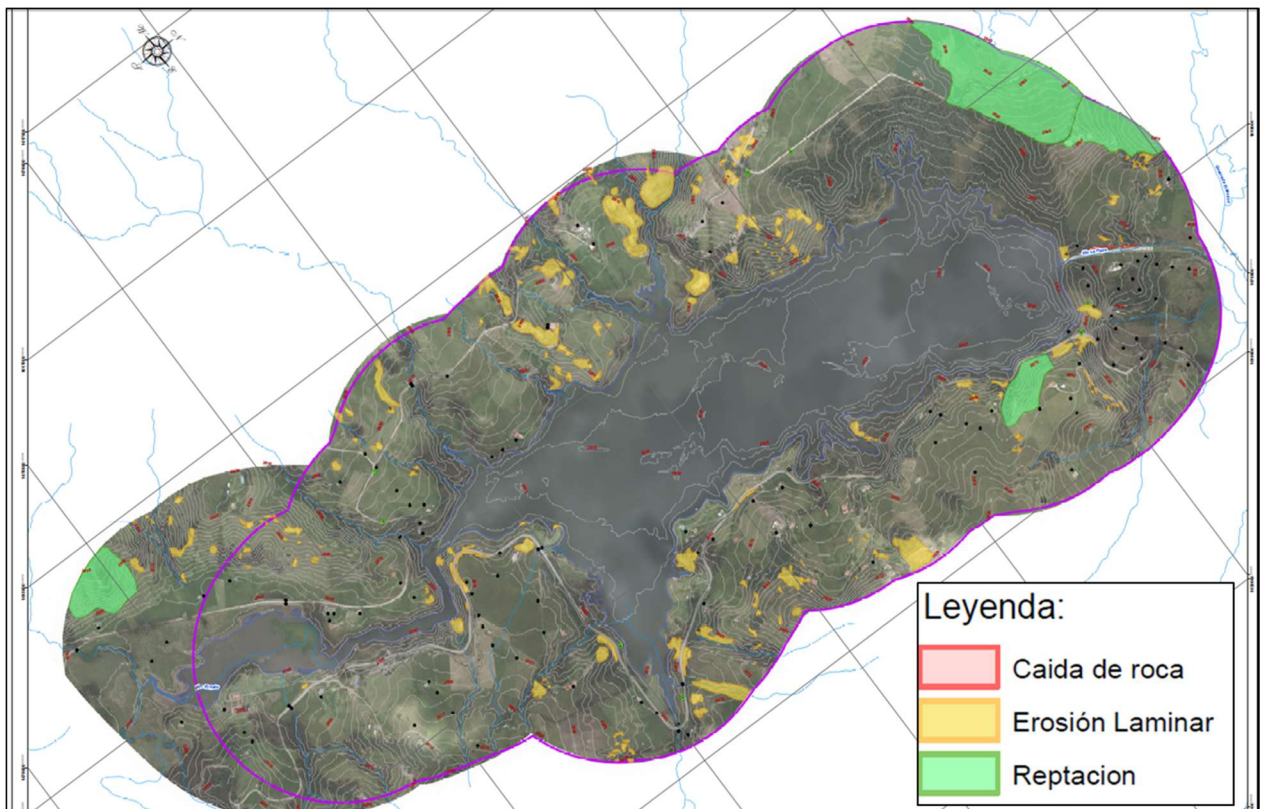
Fotografía. 109. Mapa geológico 1:25000 Embalse El Hato.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 110. Mapa geomorfológico 1:25000 Embalse El Hato.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



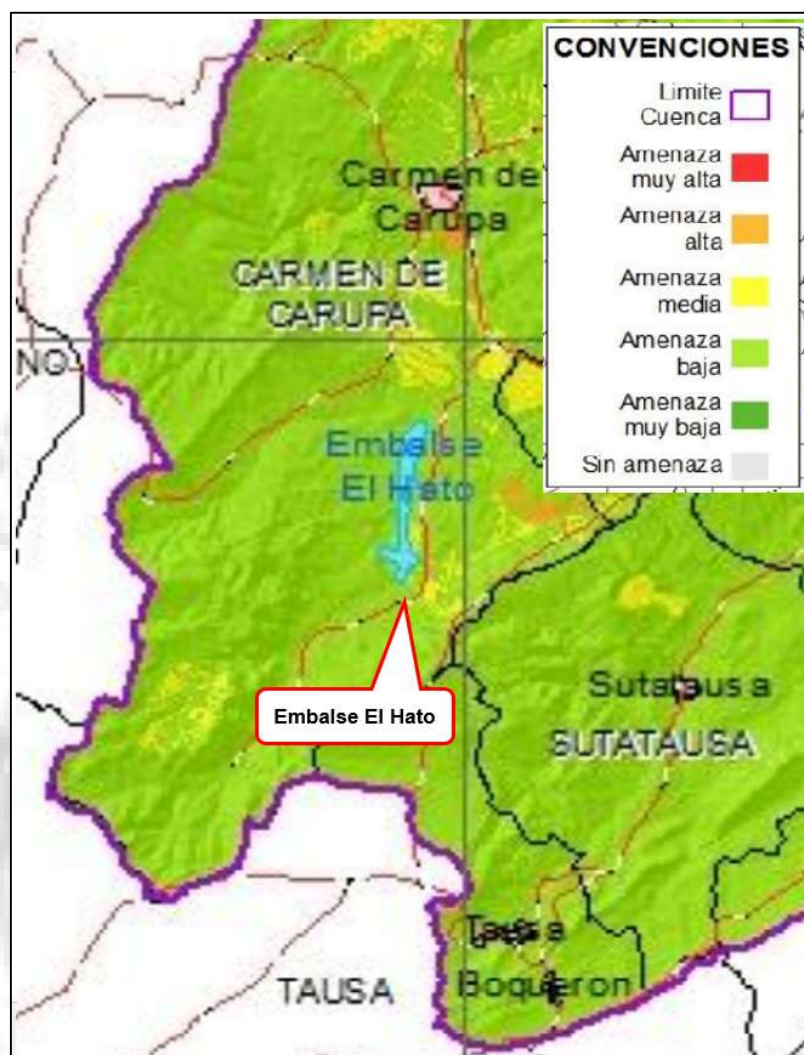
Fotografía. 111. Mapa de procesos morfodinámicos Embalse El Hato.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

5.4.3 Amenaza movimientos en masa

A rasgos más generales se encontró en el Plan de Desarrollo del municipio de Carmen de Carupa, que durante la temporada invernal se han presentado deslizamientos en la vereda Corralejas (2016). En el PMGRD (2016) se menciona que el porcentaje de este fenómeno en el área municipal es alto; y ha sido fácilmente identificable en las áreas aledañas a las vías, en las zonas donde se han abierto cascajeras, en áreas de pendiente media - alta y en algunos predios circundantes al embalse El Hato.

En el resumen ejecutivo del ajuste del POMCA, realizado por la CAR (2017b) a escala 1:25.000, la amenaza por movimientos en masa en la zona de estudio embalse El Hato, en la cual se observa que encuentra ubicado en un nivel de amenaza muy baja, sin embargo en la zona sur occidente, cerca al río El Hato, se encuentra en amenaza media. (Consorcio Embalses CAR, 2020).



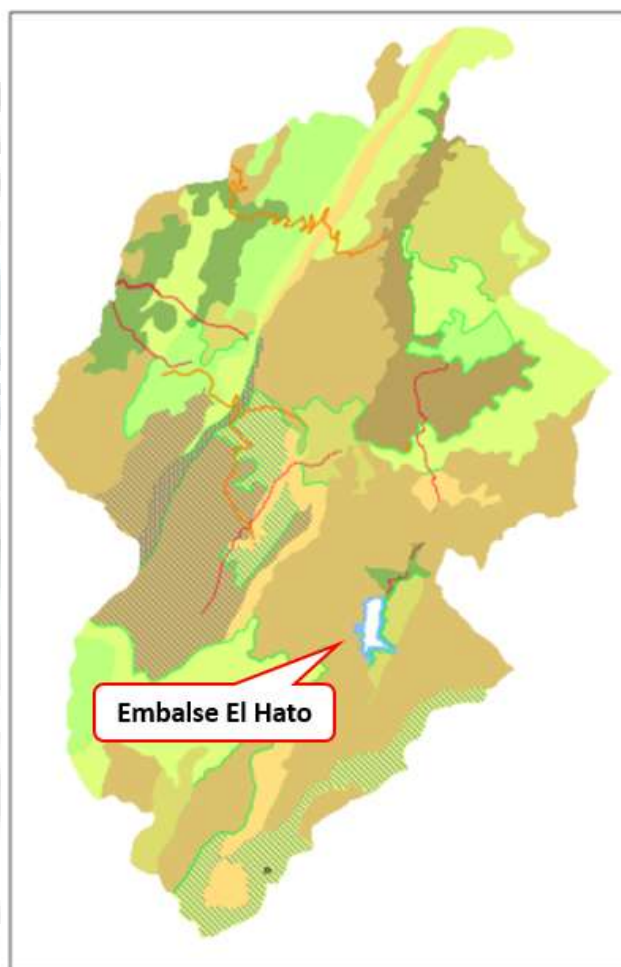
Fotografía. 112. Mapa de susceptibilidad por movimiento en masa Embalse El Hato.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

5.4.4 Amenaza inundación

Según la información disponible en el EOT (2000b), el embalse El Hato presenta amenazas naturales de tipo encharcamiento e inundaciones, las cuales están ubicadas en la zona de la llanura del río San José y alrededor del embalse El Hato y aguas abajo de la presa, donde se encuentran áreas vulnerables como los cultivos de papa, pastos y en menos escala maíz, dichas zonas presentan riesgo medio bajo (Alcaldía Municipal Carmen de Carupa, 2000b); en el plan de desarrollo del municipio de Carmen de Carupa se revisó la información correspondiente al sector de prevención y atención de desastres del municipio expuestas en el documento, exponiendo que las inundaciones ocurren cuando la precipitación de la zona aumenta, el fenómeno de encharcamiento afecta

principalmente a los valles aluviales del río El Hato, lo cual, se evidencia en el mapa de amenazas y riesgos que presentan en el documento y donde exponen que la ronda del embalse es susceptible a procesos de erosión e inundación y las descargas del mismos cuando supera niveles máximos, además de las áreas en las cuales se producen procesos muy bajos de encharcamientos y pequeñas inundaciones. (Consortio Embalses CAR, 2020).



Fotografía. 113. Mapa de amenazas y riesgos del plan de desarrollo 2016-2019 del municipio de Carmen de Carupa Embalse El Hato.

Fuente: Consortio Embalses CAR, 2020.

LEYENDA MAPA DE RIESGOS Y AMENAZAS	
F1	ZONA DE SUCEPTIBILIDAD A DESPRENDIMIENTO DE ROCAS Y DESLIZAMIENTOS
	ZONA DE ALTA SUCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS
	ZONA DE SUCEPTIBILIDAD ALTA A DESLIZAMIENTOS POR EL TIPO DE SUELOS PERO CON PENDIENTE MODERADA
	ZONA DE SUCEPTIBILIDAD MEDIA A DESLIZAMIENTOS
	ZONA SUCEPTIBILIDAD MEDIA DESLIZAMIENTOS POR EL TIPO DE SUELOS Y COMPOSICION GEOLOGICA PERO DE BAJA PENDIENTE
	ZONAS DE BAJA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS
	ZONAS DE MUY BAJA SUCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS
	PROCESOS DE ENCHARCAMIENTOS Y PEQUEÑAS INUNDACIONES
	PROCESOS MUY BAJOS DE ENCHARCAMIENTOS Y PEQUEÑAS INUNDACIONES
Er	AREAS DE ALTA SUCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN
	MARCADOS PROCESOS DE EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE SUELOS
	RONDA DE EMBALSE SUCEPTIBLE A PROCESOS DE EROSIÓN E INUNDACIÓN
<ul style="list-style-type: none">  INESTABILIDAD DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS  CONTAMINACION POR AGUAS NEGRAS MUNICIPALES  CONTAMINACION POR AGUAS ORGANICAS Y PESTICIDAS (AGUA PARA CONSUMO HUMANO-ACUEDUCTO MUNICIPAL)  (OTROS DRENAJES) CRECIENTES DE MAGNITUD MEDIA – BAJA QUE AFECTA LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN ESPECIAL LOS PUENTES  DESCARGAS DEL EMBALSE EL HATO CUANDO SUPERA NIVELES MAXIMOS 	

Fotografía. 114. Convenciones del mapa de amenazas y riesgos del plan de desarrollo 2016-2019 del municipio de Carmen de Carupa Embalse El Hato.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 115. Mapa de amenaza de susceptibilidad por inundación Embalse El Hato.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Con base en el análisis de los diferentes tipos de amenaza presentados anteriormente, se observa que las estructuras presentes en el embalse, cuentan con un riesgo de medio a bajo, de ser afectados. De igual manera, como se estableció, las estructuras no evidencian efectos asociados a efectos sísmicos, durante su vida útil. La clasificación de amenaza para las obras analizadas, se encuentra en el ANEXO 09 “Fichas de vulnerabilidad”.

Adicionalmente, a partir de la información reportada en los ensayos practicados sobre las estructuras, tales como resistencia del concreto y detección del acero de refuerzo, se

llevó a cabo una verificación de estabilidad y capacidad estructural sobre los muros de contención lateral del vertedero de excesos. Dicho análisis se encuentra consignado en el ANEXO 08 “Modelación estructural”, con lo cual se define, que las estructuras no carecen de condiciones de estabilidad y seguridad estructural, a la luz de la normativa de diseño y construcción vigente, por lo tanto, se considera que las estructuras analizadas poseen una baja vulnerabilidad.

5.5 Peritaje estructural obras Embalse El Hato

A partir de los trabajos adelantados en el sitio sobre las obras de infraestructura definidas en el informe de inventario presentado, se realizó el levantamiento de los daños y lesiones existentes en cada una de ellas; además de la verificación del estado de la calidad del material estructural constitutivo, la verificación de posibles deformaciones, pérdidas de verticalidad, asentamientos, etc, que sirvan como criterios para la definición del diagnóstico de capacidad y desempeño estructural de cada una de las obras. Cabe resaltar que el objeto de la presente fase de evaluación y diagnóstico se encuentra basada en la inspección visual de cada obra y su entorno.

De igual manera durante los trabajos de campo, y a criterio del ingeniero especialista, se determinaron los sitios y ubicación de los puntos donde se deben realizar la toma de muestras y ensayos para definir la calidad de los materiales constitutivos de cada obra, en este caso del concreto y su refuerzo. Esta definición se tomó con base en la cantidad de ensayos definida previamente, y en la importancia y magnitud de cada una de las obras de infraestructura perteneciente a cada uno de los embalses.

Como se definió en el informe de inventario de las obras de infraestructura para el presente embalse, las estructuras objeto de peritaje estructural son las enumeradas a continuación:

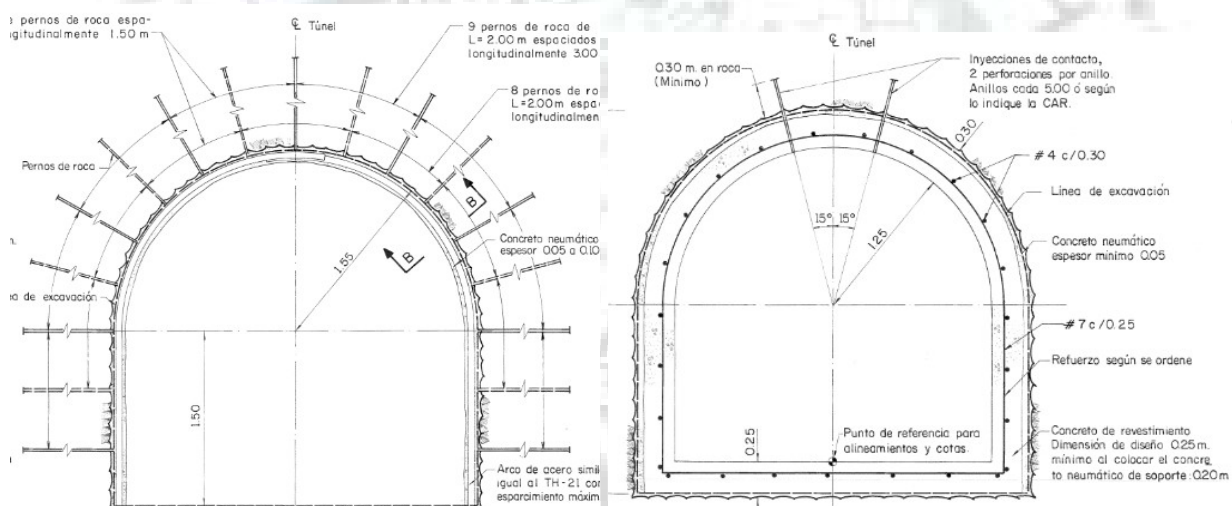
- Túnel de descarga.
- Canal de descarga.
- Vertedero de excesos.

Para cada una de las obras enumeradas anteriormente, se presenta a continuación, la descripción de cada una de las lesiones y las patologías más relevantes halladas sobre cada obra de infraestructura.

5.5.1 Túnel de descarga

Es una estructura horizontal en concreto, proyectado al interior de la montaña o presa, a través del cual se traza la trayectoria de la tubería de descarga del embalse. En general el túnel posee una longitud aproximada de 80m medidos desde el tapón hasta el portal de salida, el túnel posee una sección semicircular interna de aproximadamente 1.50m de

radio en la cresta, 2.50m de ancho en la base y 2.50m de altura promedio desde la base al punto más alto de la cresta, los muros perimetrales de la sección del túnel (recubrimiento) poseen un espesor promedio de 0.25m. La estructura de soporte del túnel, está conformada por pernos anclados a roca, por lo tanto, el concreto de la cara interna – expuesta del túnel sirve únicamente como recubrimiento, tal y como se presenta en los planos de diseño y construcción de la época. Es posible que el recubrimiento no posea ningún tipo de acero de refuerzo, esto con base en la anotación existente en el plano (Túnel de desviación Sección y detalles. Estudios Técnicos; Plancha N°26. Oct 1986), “El acero de refuerzo ilustrado en este plano es tentativo, el diseño final será definido de acuerdo a las condiciones que se presenten en el terreno”.



Fotografía. 116. Corte general soporte estructural del túnel de descarga.

Fuente: Centro de documentación ambiental CAR.

El tubo de descarga es de sección circular con un diámetro aproximado de 1.00 m, dicho tubo se encuentra apoyado sobre unos soportes portatubos en concreto de aproximadamente 0.40m de espesor. En la parte final del túnel, sobre el portal de salida, se ubica la caseta donde se alojan los controles del mando de los equipos de descarga, esta edificación está conformada por muros de concreto reforzado, con cubierta liviana tipo canaleta de asbesto-cemento.



Fotografía. 117. Vista general portal de salida del túnel de descarga.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En general a partir de la inspección visual realizada, la estructura de concreto presenta condiciones aceptables, no se evidencian fisuras o agrietamientos graves que indiquen desplazamientos, deformaciones excesivas, pérdida de “verticalidad” o estrangulamiento en sus paredes, o muestras de posibles asentamientos diferenciales en su base o la trayectoria lineal del túnel trastocada o distorsionada.



Fotografía. 118. Presencia de eflorescencias en el tapón de salida.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En el tapón del portal de salida de la tubería de descarga se presenta una junta horizontal, al parecer que no fue tratada adecuadamente durante el proceso constructivo de la época.

A través de dicha junta se presenta una eflorescencia importante, ya que se observa claramente el escurrimiento y depósito de sales de calcio al exterior de la masa de concreto, transportado por el agua de infiltración del suelo hacia el exterior.

En otros sitios del túnel se presentan otras eflorescencias, sobre todo en fisuras orientadas verticalmente desde la cabeza hasta la base del recubrimiento del túnel, las cuales se recomienda ser tratadas.



Fotografía. 119. Presencia de eflorescencias juntas verticales.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Adicional a la presencia de eflorescencias, existe la presencia de escurrimientos de color marrón. Estos afloramientos aparentemente presentan dichas tonalidades, derivado posiblemente de material ferroso en la montaña que tiñe de dicha tonalidad. Inicialmente se descartaría que sea ocasionada por algún proceso corrosivo en el refuerzo del recubrimiento del túnel, si es que posee. Se descarta esta posibilidad, dado que, de presentarse un proceso corrosivo en el acero de refuerzo del recubrimiento, este se manifiesta con la fisuración y descascamiento del concreto de recubrimiento de la armadura, lo cual no se observa a lo largo del recubrimiento del túnel.



Fotografía. 120. Presencia de escurrimientos color marrón.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En una zona intermedia del túnel de descarga, se presenta una junta horizontal, al parecer que no fue tratada adecuadamente durante el proceso constructivo de la época.

A través de dicha junta se presenta una eflorescencia longitudinal de aproximadamente 2.00m de longitud, ya que se observa claramente el escurrimiento y depósito de sales de calcio al exterior de la masa de concreto, transportado por el agua de infiltración del suelo hacia el exterior.

La ubicación de las presentes lesiones y patologías, su grado de severidad, tipología y causas, se encuentran en el ANEXO 02 “Fichas de levantamiento de lesiones”. En el ANEXO 03 “Planos de mapeo de lesiones”, se encuentra la ubicación de cada una de las patologías halladas, definidas en las fichas de levantamiento de lesiones.

Respecto a la caseta de control, aunque esta estructura no hace parte del presente diagnóstico, se determina que esta no presenta daños o lesiones, tales que puedan ser indicativo de inestabilidad o compromiso estructural.



Fotografía. 121. Presencia de eflorescencias juntas horizontales.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 122. Estado actual de la caseta de control.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

5.5.1.1 Resultado de la inspección visual Túnel de descarga

Una vez analizada la información de inspección visual tomada en campo, se puede concluir que en general la estructura posee una buena condición. De manera cualitativa, y con base en la evaluación estructural definida en el numeral A.10.2 de la NSR -10, se puede establecer lo siguiente:

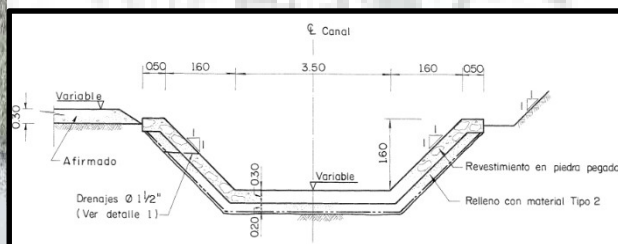
- La calidad de la construcción se considera con una calificación de bueno.
- El estado de conservación de la estructura se puede considerar con una calificación de bueno. Ya que se puede determinar que la calidad del material estructural posee buenas condiciones a pesar de la presencia de lesiones.
- Al considerar la obra con una vetustez de aproximadamente 30 años, no se evidencian procesos de deterioro en su material constitutivo. A simple vista no se observan procesos corrosivos en el acero de refuerzo, los cuales se reflejen en el recubrimiento de concreto, no se evidencian fallas locales, deformaciones excesivas o permanentes, pérdida de verticalidad de las paredes laterales del canal o indicios de fallas en su estabilidad local, o a nivel de cimentación, tales como asentamientos diferenciales.
- En general la estructura posee un buen aspecto y desempeño, por lo tanto, se le puede asignar una calificación buena de su estado.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad o seguridad estructural.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir de la inspección visual, se podrían considerar las siguientes:

- Restaurar y reparar las grietas y fisuras verticales y horizontales del túnel, ya que por ellas se genera la infiltración de agua del subsuelo al exterior. En su recorrido es evidente en algunos sectores el transporte de calcio proveniente del concreto, lo puede generar deterioro la masa del material, haciéndolo menos denso y más permeable, lo que puede conllevar a problemas de carbonatación y despasivación del acero de refuerzo, provocando procesos de corrosión del mismo.
- Aunque la estructura de la caseta de control, se encuentra por fuera del presente diagnóstico, se puede definir que esta se encuentra en buenas condiciones, se recomienda realizar un diseño y actualización de la estructura de dicha edificación. Cabe señalar que las estructuras pertenecientes a centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos, se catalogan como edificaciones indispensables, es decir, que deben permanecer funcionales durante y después de un evento sísmico, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.

5.5.2 Canal de descarga

Es una estructura revestida en concreto tipo cana abierto enterrado con sección trapezoidal, con una pendiente longitudinal de aproximadamente 2% de inclinación con respecto a la horizontal, a través del cual se conduce el flujo proveniente de la tubería de descarga del embalse, hasta su entrega final. En general el canal posee una longitud aproximada de 50m aproximadamente, medidos a partir de la salida del tubo de descarga. Posee una sección trapezoidal libre interna de 1.00m de ancho y 1.50m de altura aproximadamente, las paredes tienen una inclinación cercana a 45° medidos con respecto a la horizontal. Los muros laterales del canal poseen un espesor promedio de 0.30m.



Fotografía. 123. Vista longitudinal del canal de descarga (Aguas arriba).

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Respecto al estado del canal, esta obra está construida en concreto, la misma está conformada por una losa de fondo y dos muros laterales que contienen el terreno circundante. Tanto la losa de fondo como los muros laterales del canal, presentan una buena condición, no se evidencian fenómenos corrosivos en el acero de refuerzo, los cuales por lo general se manifiestan con el deterioro del concreto de recubrimiento del

elemento, adicional a ello no se presentan descascaramientos o desportillamiento graves que pongan en riesgo su estabilidad y condición.

En general a partir de la inspección visual realizada, la estructura de concreto presenta condiciones aceptables, no se evidencian fisuras o agrietamientos graves que indiquen desplazamientos, deformaciones excesivas, o muestras de posibles asentamientos diferenciales en su base o inestabilidad del terreno de soporte.

Dentro de los daños o lesiones presentes en la estructura de concreto del canal, se evidenció el desgaste de las juntas de expansión transversales ubicadas dentro del canal, específicamente en los muros laterales.

La función típica de este tipo de juntas, es la de permitir el movimiento de los elementos estructurales, generados por los cambios volumétricos por efecto en la variación de la temperatura. Dichas juntas usualmente son selladas con productos elástoméricos que permiten deformarse conforme sea el requerimiento de deformación del elemento, sin comprometer su integridad. Además, sirve de barrera hidráulica, evitando que el agua de escorrentía superficial, no se infiltre hacia el suelo de apoyo, lo que podría generar deterioro en el soporte de la subbase.

Junta de expansión transversal al canal: Son las juntas de expansión que se encuentran perpendiculares al sentido del flujo del agua, estas se proyectan generalmente en la losa de fondo y continúan a lo largo de los muros de contención laterales.



Fotografía. 124. Vista general junta transversal.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En general el estado de las juntas es de deterioro, ya sea porque el sello se ha perdido, o porque no se tuvo en cuenta colocarlo en el momento de la construcción.

Adicionalmente se evidencia fenómenos de desgaste en la superficie del concreto del canal, específicamente en la zona de entrega de las aguas provenientes de la tubería de descarga. Dicho fenómeno se presenta por el potencial abrasivo del fluido, incrementado altamente por la velocidad de salida del fluido y en contacto con la superficie de concreto.

Acompañado de lo anterior, se presenta una depositación de una especie de “lama” sobre la superficie del concreto del canal, esta lama posee una textura viscosa y aceitosa, tal vez producto de la presencia de algún tipo de material proveniente del sector.

El resto del canal de descarga, presente buenas condiciones, no se evidencia problemas de desgaste o delaminación en la superficie de concreto.



Fotografía. 125. Presencia de desgaste del concreto por abrasión.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

La ubicación de las presentes lesiones y patologías, su grado de severidad, tipología y causas, se encuentran en el ANEXO 02 “Fichas de levantamiento de lesiones”. En el ANEXO 03 “Planos de mapeo de lesiones”, se encuentra la ubicación de cada una de las patologías halladas, definidas en las fichas de levantamiento de lesiones.

5.5.2.1 Resultado de la inspección visual del canal de descarga

Una vez analizada la información de inspección visual tomada en campo, se puede concluir que en general la estructura posee una buena condición. De manera cualitativa, y con base en la evaluación estructural definida en el numeral A.10.2 de la NSR -10, se puede establecer lo siguiente:

- La calidad de la construcción se considera con una calificación de bueno.
- El estado de conservación de la estructura se puede considerar con una calificación de bueno. Ya que se puede determinar que la calidad del material estructural posee buenas condiciones a pesar de la presencia de lesiones.
- Al considerar la obra con una vetustez de aproximadamente 30 años, no se evidencian procesos de deterioro en su material constitutivo. A simple vista no se observan procesos corrosivos en el acero de refuerzo, los cuales se reflejen en el recubrimiento de concreto, no se evidencian fallas locales, deformaciones excesivas o permanentes, pérdida de verticalidad de las paredes laterales del canal o indicios de fallas en su estabilidad local, o a nivel de cimentación, tales como asentamientos diferenciales.
- Se observan procesos abrasivos sobre la superficie del concreto, especialmente en las paredes laterales a la salida de la tubería de descarga. Eventualmente las estructuras sometidas a flujo constante de agua, presentan desgaste en su superficie por efecto de la abrasión del agua por arrastre de material fino. En este caso el desgaste se considera moderado.
- En general la estructura posee un buen aspecto y desempeño, por lo tanto, se le puede asignar una calificación buena de su estado.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad o seguridad estructural.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir de la inspección visual, se podrían considerar las siguientes:

- Realizar una limpieza general de la estructura, con el fin de retirar la maleza, o residuos del mismo que se haya posado sobre ella a lo largo de su vida útil, al igual que el material viscoso y aceitoso que se ha alojado en la superficie del canal.
- Restaurar y reparar las juntas de expansión del canal, ya que por ellas se genera la infiltración de agua hacia el subsuelo proveniente del exterior y viceversa.
- Restaurar la superficie del concreto desgastada y delaminada, con el fin de proteger la sección hidráulica del canal de un mayor deterioro.

5.5.3 Vertedero de excesos

Es una estructura tipo canal abierto enterrado, con pendiente longitudinal mínima y con escalonamientos que tienen como función disipar la energía del flujo. La obra está construida en concreto reforzado tipo canal abierto, por el cual se evacuará el nivel de exceso y descarga del embalse, una vez esta alcance su cota máxima. En general el canal posee una longitud aproximada de 360m medidos a partir de la zona de azud, posee una sección libre interna de 8.00m de ancho y 3.00m a 2.50m de altura aproximadamente. Los muros laterales de contención poseen un espesor promedio de 0.30m en promedio. La obra fue ejecutada en el año 2016, por lo tanto, la obra se considera reciente.



Fotografía. 126. Vista longitudinal del vertedero de excesos (Aguas arriba).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Respecto al canal del vertedero, esta obra está construida en concreto reforzado, la misma está conformada por una losa de fondo y dos muros laterales que contienen el terreno circundante. Tanto la losa de fondo como los muros laterales del canal, presentan una buena condición, no se evidencian fenómenos corrosivos en el acero de refuerzo, los cuales por lo general se manifiestan con el deterioro del concreto de recubrimiento

del elemento, adicional a ello no se presentan descascaramientos o desportillamientos graves que pongan en riesgo su estabilidad y condición.

En general a partir de la inspección visual realizada, la estructura de concreto presenta condiciones buenas, no se evidencian fisuras o agrietamientos graves que indiquen desplazamientos, deformaciones excesivas, pérdida de verticalidad en sus paredes, o muestras de posibles asentamientos diferenciales en su base.

En general las juntas de expansión transversales, se encuentran en buen estado, debido a su reciente construcción.

La función típica de este tipo de juntas, es la de permitir el movimiento de los elementos estructurales, generados por los cambios volumétricos por efecto en la variación de la temperatura. Dichas juntas usualmente son selladas con productos elástoméricos que permiten deformarse conforme sea el requerimiento de deformación del elemento, sin comprometer su integridad. Además, sirve de barrera hidráulica, evitando que el agua de escorrentía superficial, no se infiltre hacia el suelo de apoyo, lo que podría generar deterioro en el soporte de la subbase.

El canal cuenta con un tipo de junta de expansión, o mejor una disposición general a saber:

Junta de expansión transversal al canal: Son las juntas de expansión que se encuentran perpendiculares al sentido del flujo del agua, estas se proyectan generalmente en la losa de fondo y continúan a lo largo de los muros de contención laterales.



Fotografía. 127. Vista general junta transversal.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En general las juntas de expansión, poseen una abertura o un tamaño promedio de 1" (2.50cm), y se encuentran selladas por un material elastomérico.

Una vez definidos los tipos de juntas de expansión encontradas en el sitio, se corroboró su estado a través del trabajo de inspección, básicamente son el tramo comprendido desde la zona de azud del vertedero de excesos, hasta la entrega del primer tanque de amortiguación. Se verificaron 28 juntas de expansión transversales.

La ubicación precisa de las juntas y sus lesiones, se puede verificar en el ANEXO 03 "Planos de mapeo de lesiones", en estos planos, se encuentra la ubicación de cada una de las patologías halladas, definidas en las fichas de levantamiento de lesiones.

En general el estado de las juntas es bueno, algunas pocas presentan afloramiento de material orgánico, pero de manera localizada. A continuación, a través de las imágenes se observa el estado general de las juntas.



Fotografía. 128. Estado general del material de sello de la junta.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 129. Afloramiento de vegetación a través de la junta.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Dentro del recorrido e inspección visual, se pudo detectar que a la altura de la junta de expansión transversal número 20, aproximadamente a unos 150m aguas abajo del vertedero, existe una inestabilidad aparente en el talud del margen izquierdo del canal, debido a la presencia de material suelto, y escombros de caída de los mismos dentro de la sección hidráulica del canal.

La ubicación precisa de las juntas y sus lesiones, se puede verificar en el ANEXO 03 “Planos de mapeo de lesiones”, en estos planos, se encuentra la ubicación de cada una de las patologías halladas, definidas en las fichas de levantamiento de lesiones.

También se puede apreciar en las siguientes imágenes, que, de seguirse presentando la inestabilidad, es posible el volcamiento de algunas especies arbóreas que podían caer dentro del canal, generando una obstrucción del flujo.



Fotografía. 130. Inestabilidad del talud del margen izquierdo del vertedero.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 131. Inestabilidad del talud del margen izquierdo del vertedero.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

La ubicación de las presentes lesiones y patologías, su grado de severidad, tipología y causas, se encuentran en el ANEXO 02 “Fichas de levantamiento de lesiones”. En el ANEXO 03 “Planos de mapeo de lesiones”, se encuentra la ubicación de cada una de las patologías halladas, definidas en las fichas de levantamiento de lesiones.

Al final del recorrido del canal del vertedero de excesos, o mejor, hasta donde se pudo realizar la inspección visual, se encuentra uno de los tanques amortiguadores del vertedero. Este es un tanque de amortiguación que recibe y disipa la energía del flujo transportado.



Fotografía. 132. Tanque de amortiguación, disipación del flujo.

Más allá de este punto, se observa que el canal de vertedero tiene continuidad, en aproximadamente unos 100m hasta el punto de entrega final, existe posterior a este punto una zona de canal abierto superficial, y un nuevo tanque de disipación, el cual se encuentra con afloramiento de vegetación silvestre.



Fotografía. 133. Tanque de amortiguación, disipación del flujo.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Para la inspección de la estructura final de entrega del flujo, conformada por el tanque de amortiguación y disipadores, esta no fue posible, debido a la imposibilidad en el acceso. A simple vista y a criterio del especialista, se puede conceptuar que los elementos de concreto se observan en buen estado, no se evidencian fisuras o grietas importantes que pongan en riesgo su estabilidad y funcionalidad ante cargas normales de servicio.

5.5.3.1 Resultado de la inspección visual vertedero de excesos

Una vez analizada la información de inspección visual tomada en campo, se puede concluir que en general la estructura posee una buena condición. De manera cualitativa, y con base en la evaluación estructural definida en el numeral A.10.2 de la NSR -10, se puede establecer lo siguiente:

- La calidad de la construcción se considera con una calificación de bueno.
- El estado de conservación de la estructura se puede considerar con una calificación de bueno. Ya que se puede determinar que la calidad del material estructural posee buenas condiciones.

- Al considerar la obra con una vetustez de aproximadamente 3 años, no se evidencian procesos de deterioro en su material constitutivo. A simple vista no se observan procesos corrosivos en el acero de refuerzo, los cuales se reflejen en el recubrimiento de concreto, no se evidencian fallas locales, deformaciones excesivas o permanentes, pérdida de verticalidad de las paredes laterales del canal o indicios de fallas en su estabilidad local, o a nivel de cimentación, tales como asentamientos diferenciales.
- No se observan procesos abrasivos sobre la superficie del concreto, especialmente en la losa de fondo. Eventualmente las estructuras sometidas a flujo constante de agua, presentan desgaste en su superficie por efecto de la abrasión del agua por arrastre de material fino.
- En general la estructura posee un buen aspecto y desempeño, por lo tanto, se le puede asignar una calificación buena de su estado.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad o seguridad estructural.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir de la inspección visual, se podrían considerar las siguientes:

- Realizar una limpieza general de la estructura, con el fin de retirar la materia vegetal, o residuos del mismo que se haya posado sobre ella a lo largo de su vida útil.
- Realizar la reparación de los sellos de juntas, a través del material adecuado, en los sitios localizados.
- Realizar la verificación y estabilización del talud del margen izquierdo, entre las juntas 20 y 22.
- Se recomienda realizar la limpieza y retiro del material de escombros, depositado dentro del canal, derivado de la inestabilidad detectada sobre el talud del margen izquierdo del vertedero.

5.6 Ensayos de material obras Embalse El Hato

A partir de los trabajos para la auscultación de las estructuras y determinar las características del material estructural para el presente embalse, se llevó a cabo el siguiente programa exploratorio:

Tabla 7. Programa de ensayos Embalse El Hato.

PROGRAMA DE ENSAYOS DIAGNOSTICO ESTRUCTURAS				
	OBRA	TIPO DE ENSAYO		
		EXTRACCIÓN Y FALLA DE NUCLEOS	ESCLEROMETRIA	FERROSCAN
EMBALSE EL HATO	Vertedero de excesos	5	5	4
	Túnel y canal de descarga	3	5	3
	Casa de máquinas	1	1	1

Las obras de infraestructura a auscultar en este embalse son:

- Vertedero de excesos.
- Túnel y canal de descarga.
- Casa de máquinas.

Sobre cada de ellas se programó una serie de pruebas, en función a su magnitud y importancia durante la operación del embalse.

A continuación, se presenta un registro de imágenes de las pruebas adelantadas y resumen de resultados. Los resultados del programa de ensayos se encuentran en el ANEXO 07 “Resultados ensayos de laboratorio”, del presente informe de diagnóstico:

5.6.1 Vertedero de excesos

Para el caso del vertedero de excesos se realizaron cinco tomas de esclerometría, el valor de índice de rebote promedio para esta estructura fue de 45. Este valor será contrastado con el valor promedio obtenido a través de los ensayos de compresión inconfiada efectuada sobre los cinco núcleos de concreto extraídos de la estructura.



Fotografía. 134. Esclerometría en muro margen izquierda vertedero de excesos.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 135. Extracción núcleo en muro margen izquierda vertedero de excesos.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 136. Extracción núcleo en losa de fondo vertedero de excesos.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 137. Reparación típica de los núcleos extraídos.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

La resistencia a la compresión del concreto reportado para esta obra, es en promedio de, 29MPa para los muros de contención laterales del vertedero y de 23MPa para la losa de fondo. El valor obtenido para el concreto de la losa de fondo es levemente inferior al recomendado por la NSR-10 (93%), pero cabe resaltar que esta estructura tiene una baja probabilidad de uso frecuente, por lo tanto, se puede considerar que la resistencia del material es adecuada para la obra en cuestión.

Respecto al acero de refuerzo, se realizó su detección a partir de un ferroskan. Mediante esta técnica se analiza sobre la superficie del concreto, sin dañarlo, la ubicación del acero de refuerzo, determinando su separación, diámetro y profundidad dentro del elemento respecto a la superficie (recubrimiento).

Para el caso de esta obra en específico, se realizaron cuatro puntos o áreas de lectura, tres muestreos sobre los muros laterales del vertedero y uno sobre la placa de fondo, para el caso de los muros se halló barras de diámetro 5/8" (Nº5) con separaciones entre 13cm a 17cm, a una profundidad de 50mm a 60mm, y para el caso de la losa de fondo se halló barras de diámetro 5/8" (Nº5) con separaciones entre 10cm a 14cm, a una profundidad de 60mm a 65mm.



Fotografía. 138. Detección acero de refuerzo en muro del vertedero.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Cabe aclarar que la toma de lecturas para la detección del acero de refuerzo, se realizó en las caras expuestas de los elementos de concreto, por lo tanto, el acero de refuerzo

principal de este tipo de estructuras, se encuentra ubicado en el trasdós, es decir, en la cara en contacto contra el suelo que contiene, o en la cara no expuesta.

5.6.2 Túnel de descarga

Para el caso del túnel de descarga se realizaron cinco tomas de esclerometría, tres al interior del túnel y dos en el canal después de la descarga. El valor de índice de rebote promedio determinado para el túnel fue de 43, y el valor de índice de rebote promedio determinado para el canal de descarga fue de 34. Estos valores serán contrastados con el valor promedio obtenido a través de los ensayos de compresión inconfiada efectuada sobre los tres núcleos de concreto extraídos de la estructura.



Fotografía. 139. Esclerometría en muro túnel de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 140. Extracción núcleo en muro túnel de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 141. Extracción núcleo en túnel de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 142. Reparación típica de los núcleos extraídos.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

La resistencia a la compresión del concreto reportado para esta obra, es aproximadamente en promedio de 28MPa para los muros de contención laterales del túnel de descarga. Para este caso particular, el valor obtenido de resistencia es ligeramente inferior al definido como aceptable para este tipo de obras (98%), pero cabe resaltar y aclarar, que el túnel de descarga no tiene como función transportar fluidos, por lo tanto, no es necesario cumplir con dicho parámetro en el concreto. Se puede considerar que la resistencia del material es adecuada para la obra en cuestión.

Para el caso del canal ubicado después de la descarga, realizando la interpolación adecuada con base en los resultados mencionados anteriormente, se puede determinar que el valor promedio estimado de resistencia del concreto para esta canal es de aproximadamente 22 MPa.

El valor obtenido para la resistencia a la compresión del concreto, se considera bajo para estructuras de este tipo, por tal razón se podría entender las patologías asociadas al desgaste por abrasión en la superficie de contacto con el punto directo de descarga.

Respecto al acero de refuerzo, se realizó su detección a partir de un ferrosacan. Mediante esta técnica se analiza sobre la superficie del concreto, sin dañarlo, la ubicación del acero

de refuerzo, determinando su separación, diámetro y profundidad dentro del elemento respecto a la superficie (recubrimiento).

Para el caso de esta obra en específico se realizaron tres puntos o áreas de lectura, donde no se obtuvo lecturas o detección del acero de refuerzo. Esto último puede estar asociado a las limitaciones de estos equipos en cuanto a la profundidad de detección, por lo general aceros de refuerzo ubicados a más de 120mm o 150mm son casi indetectables, de igual manera, la posibilidad de un diámetro pequeño de acero de refuerzo es una posibilidad en la no detección del mismo, ya que estos equipos tienen una tolerancia muy baja para detectar refuerzo tipo grafil. También es muy posible, y contrastando la información obtenida en la fase de recopilación de información y planos de diseño, que la estructura de concreto del túnel no sea más que un revestimiento y no tenga compromiso de carácter estructural, razón por la cual el acero de refuerzo, de existir, sea únicamente para control de fisuración y para cambios de temperatura. Este tipo de refuerzo por lo generalmente es de diámetro pequeño, 3/8" o inferior, y se encuentra muy profundo en el cuerpo del mismo, aproximadamente en el centro del espesor del revestimiento, que para este caso es una profundidad cercana a los 125mm o 150mm, lo cual hace que el acero de refuerzo sea difícil de detectar, y con la posibilidad también de la presencia de alta humedad en el concreto.



Fotografía. 143. Detección acero de refuerzo en túnel de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Cabe aclarar que la toma de lecturas para la detección del acero de refuerzo, se realizó en las caras expuestas de los elementos de concreto, por lo tanto, el acero de refuerzo principal de este tipo de estructuras, se encuentra ubicado en el trasdós, es decir, en la cara en contacto contra el suelo que contiene, o en la cara no expuesta.

5.6.3 Casa de máquinas

La resistencia a la compresión del concreto reportado para esta obra, es en promedio de, 26MPa para los muros de la caseta. Para este caso particular, el valor obtenido de resistencia es ligeramente inferior al definido como aceptable para este tipo de obras (94%), pero cabe resaltar y aclarar, que esta estructura no tiene como función trasportar fluidos, por lo tanto, no es necesario cumplir con dicho parámetro en el concreto. Se puede considerar que la resistencia del material es adecuada para la obra en cuestión.



Fotografía. 144. Extracción núcleo en muro caseta de máquinas.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 145. Núcleo extraído caseta de máquinas.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Respecto al acero de refuerzo, se realizó su detección a partir de un ferrosacan. Mediante esta técnica se analiza sobre la superficie del concreto, sin dañarlo, la ubicación del acero de refuerzo, determinando su separación, diámetro y profundidad dentro del elemento respecto a la superficie (recubrimiento).

Para el caso de esta obra en específico, se realizó un único punto o área de lectura, para el caso de los muros se halló barras de diámetro 5/8" (N°5) con separaciones entre 20cm a 30cm, a una profundidad de 45mm a 50mm.



Fotografía. 146. Detección acero de refuerzo caseta de máquinas.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Cabe aclarar que la toma de lecturas para la detección del acero de refuerzo en esta obra, se realizó en las caras expuestas de los elementos de concreto hacia el exterior, con el fin de poder determinar el valor de recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo, el cual se considera satisfactorio, según lo establecido por las normas vigentes para el diámetro y tipo de elemento.

5.7 Diagnóstico embalse El Hato

A partir de las actividades de inspección visual, levantamiento de daños y lesiones, auscultación, determinación de la calidad y cantidad de los materiales estructurales de cada obra, a continuación, se presenta el diagnóstico estructural sobre cada uno de ellos. Dicho diagnóstico comprende determinar las posibles causas de las lesiones halladas, y definir las acciones o recomendaciones a llevar a cabo sobre cada una de ellas. Estas acciones pueden ser inmediatas o progresivas. Cabe resaltar, que partir de la información recopilada, analizada y verificada hasta la presente fase sobre cada una de las obras de infraestructura del embalse, se puede llevar a cabo un análisis aproximado de la capacidad y seguridad estructural de algunas de ellas. Estos análisis son aproximados, y contienen las limitaciones del caso, las cuales se expondrán durante el desarrollo de la verificación. Cabe señalar que, para el desarrollo del presente diagnóstico, se tomará

como guía las prescripciones que al respecto dicta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

5.7.1 Vertedero de excesos

Para el caso del vertedero de excesos se realiza un análisis aproximado bajo los parámetros enumerados más adelante, con esto se busca tener una aproximación e idea de la estabilidad local de la estructura de los muros laterales del vertedero, al igual de una idea de su seguridad estructural. Para ello se presentan a continuación una serie de datos de entrada, con los cuales se alimentará la modelación numérica estructural.

Los datos de entrada presentados a continuación, han sido obtenidos mediante la recopilación de información recolectada en campo, información existente acerca del diseño estructural, datos arrojados en laboratorio acerca de la calidad de los materiales, y otros que se han asumido a buen juicio del especialista, con base en la experiencia y en parámetros de aproximación consignados en la literatura técnica y normativa vigente en nuestro país.

- Calidad del material:
 - Concreto ($f'c$) = 28 MPa Conservadoramente (Valor inferior al obtenido mediante ensayos).
 - Acero de refuerzo (f_y) = 420 MPa (Valor asumido).
 - Cuantía de refuerzo (ρ) = 1 N°5 c/0.13m a 0.17m (1520mm²/ml a 1160mm²/ml). (Valor obtenido mediante ensayos).
 - Cuantía de refuerzo mínimo (ρ_{min}) = 0.0033 a 0.0040 de la sección bruta. Esto con base en la distancia entre juntas de expansión, según la Tabla C.23-C.7.12.2.1 de la NSR-10.
 - Recubrimiento = 50mm (Valor obtenido mediante ensayos).
- Geometría del muro:
 - Espesor promedio = 300mm. (Valor obtenido en campo).
 - Altura promedio del muro = 2500mm. (Valor obtenido en campo).
- Geometría de la zarpa:
 - Espesor promedio = 300mm (Valor asumido. Generalmente el muro y la zarpa tienen un espesor similar).
 - Longitud promedio = 1700mm (Valor asumido. Generalmente la relación entre la longitud de la zarpa y la altura del muro se encuentra entre 0.70 y 0.90)
- Parámetros del suelo y relleno:
 - Angulo de fricción interna = 30° (Valor asumido con base en 11.10.5.1 del CCP-14).

- Peso específico promedio = 18kN (Valor asumido conservadoramente).
- Cohesión = 7kPa (Valor asumido conservadoramente).
- Parámetros sísmicos:
 - Ubicación geográfica: Carmen de Carupa (Cundinamarca).
 - Aceleración pico efectiva: 0.15g (Valor obtenido Apéndice A-4 NSR-10).
- Estados de carga:
 - Presión lateral del relleno. Empuje en estado activo.
 - Presión lateral por sobrecarga. No se considera.
 - Presión pseudoestática del relleno. Mononobe- Okabe.
 - Presión hidrostática. No se considera.
 - Efecto inercial del muro y relleno. Se considera.
- Factores de estabilidad: Título H.6.9 NSR-10
 - Volcamiento: 3.00 Condición estática y 2.00 Condición pseudostática.
 - Deslizamiento: 1.60 Condición estática y 1.05 Condición pseudostática.

Con base en los resultados de la modelación efectuada para la estructura en cuestión, y presentados en el ANEXO 08 “Modelación estructural”, se considera que la estructura cuenta con la estabilidad y seguridad estructural adecuada.

En el caso de la losa de fondo, en general el parámetro más influyente en su durabilidad, estabilidad y seguridad estructural es la resistencia a la compresión del concreto, cuyo valor es muy superior al valor mínimo exigido por la normatividad vigente. El acero de refuerzo dispuesto, es únicamente para el control de fisuración y efectos por cambios de temperatura, por lo tanto, se considera que dicha losa cuenta con los requisitos de durabilidad adecuados.

5.7.1.1 Resultado de los análisis vertedero de excesos

Una vez analizada la información obtenida a través de la modelación estructural, se puede concluir que en general la estructura cuenta con la estabilidad, durabilidad y seguridad estructural mínima exigida. De manera aproximada se puede establecer lo siguiente para la presente estructura:

- La calidad del concreto cumple con los requerimientos mínimos exigidos por la normativa actual, para este tipo de obras.
- La estructura cuenta con una estabilidad local adecuada.
- En general la estructura presenta un adecuado desempeño.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad o seguridad estructural.
- El concreto cumple con la resistencia a la compresión mínima, exigida para este tipo de estructuras.

- La obra contiene la cuantía mínima de acero, requerido para este tipo de estructuras.
- El recubrimiento para la protección del acero de refuerzo, cumple con los requisitos mínimos para este tipo de estructuras.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir del análisis realizado, se podrían considerar las siguientes:

- Realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica, que conduzca a determinar de manera más asertiva las condiciones de estabilidad y capacidad estructural, en función a las exigencias de las normas vigentes para este tipo de obras.
- Se recomienda realizar un programa de ensayos más detallados para determinar con mayor precisión los parámetros asumidos en el presente diagnóstico. A saber:
 - Estudio de suelos, con el fin de determinar los parámetros del suelo de fundación de la estructura en general, del relleno contenido por la estructura y parámetros sísmicos del sitio.
 - Estudio y análisis de la estabilidad de taludes, especialmente en la zona intermedia, en longitud del vertedero, donde se presenta deslizamientos del talud, y caída de escombros al interior del canal.
 - Ensayo de carbonatación, con el fin de detectar el potencial de corrosión sobre el acero de refuerzo, derivado de la capacidad pasivadora del concreto.
 - Realización de regatas y reparación de las mismas, con el fin de determinar la presencia exacta, diámetro y separación del acero de refuerzo, cuando los equipos de detección no reportan presencia del mismo en la estructura.
 - Realización de apiques y sondeos en el terreno, con el fin de verificar las dimensiones más precisas de los elementos de cimentación.

5.7.2 Túnel de descarga

Para el caso del túnel de descarga, se toma la decisión de no realizar un análisis estructural, ya que la estructura de concreto presente tiene como función, aparentemente, la de un revestimiento para protección del macizo del túnel. Esta información se encuentra apoyada en la información de planos de diseño, donde se muestra claramente que la estructura de soporte del túnel está dado a través de obras de índole geotécnico, como lo son los anclajes inyectados dentro del macizo rocoso del túnel. Adicionalmente, no se pudo determinar en campo los parámetros del acero de refuerzo, el cual no pudo ser detectado mediante los ensayos de ferrosacan. Sin embargo, se presentan a continuación una serie de datos, los cuales fueron obtenidos en las fases previas al presente diagnóstico.

Los datos presentados a continuación, han sido obtenidos mediante la recopilación de información recolectada en campo, información existente acerca del diseño, datos arrojados en laboratorio acerca de la calidad de los materiales, y otros que se han asumido a buen juicio del especialista, con base en la experiencia y en parámetros de aproximación consignados en la literatura técnica y normativa vigente en nuestro país.

- Calidad del material:
 - Concreto ($f'c$) = 28 MPa (Valor obtenido mediante ensayos indirectos).
 - Acero de refuerzo (f_y) = 420 MPa (Valor asumido).
 - Cuantía de refuerzo (ρ) = No pudo ser obtenida a través de los ensayos de laboratorio llevados a cabo.
 - Recubrimiento = No pudo ser obtenida a través de los ensayos de laboratorio llevados a cabo.
- Parámetros del suelo:
 - Angulo de fricción interna = 30° (Valor asumido con base en 11.10.5.1 del CCP-14).
 - Peso específico promedio = 18kN (Valor asumido conservadoramente).
 - Cohesión = 7kPa (Valor asumido conservadoramente).
- Parámetros sísmicos:
 - Ubicación geográfica: Carmen de Carupa (Cundinamarca).
 - Aceleración pico efectiva: 0.15g (Valor obtenido Apéndice A-4 NSR-10).

Con base en los resultados de laboratorio y datos obtenidos en campo, se considera que la estructura cuenta con la estabilidad y durabilidad estructural adecuada.

5.7.2.1 Resultado de los análisis túnel y canal de descarga

Una vez analizada la información obtenida a través de las fases previas al diagnóstico, se puede concluir que en general la estructura cuenta con la estabilidad, durabilidad y seguridad estructural mínima exigida. De manera aproximada se puede establecer lo siguiente para la presente estructura:

- La calidad del concreto cumple con los requerimientos mínimos exigidos por la normativa actual, para este tipo de obras.
- La estructura cuenta con una estabilidad local adecuada.
- En general la estructura presenta un adecuado desempeño.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad o seguridad estructural.
- El concreto cumple con la resistencia a la compresión mínima, exigida para este tipo de estructuras.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir del análisis realizado, se podrían considerar las siguientes:

- Realizar un estudio de estabilidad geotécnico y geológico, que conduzca a determinar de manera más asertiva las condiciones de estabilidad y capacidad, en función a las exigencias de las normas vigentes para este tipo de obras.
- Se recomienda realizar un programa de ensayos más detallados para determinar con mayor precisión los parámetros asumidos en el presente diagnóstico. A saber:
 - Ensayo de carbonatación, con el fin de detectar el potencial de corrosión sobre el acero de refuerzo, derivado de la capacidad pasivadora del concreto.
 - Extracción y ensayo de tensión en el acero de refuerzo, con el fin de determinar el límite de fluencia del acero de refuerzo de la estructura.
 - Realización de regatas y reparación de las mismas, con el fin de determinar la presencia exacta, diámetro y separación del acero de refuerzo, cuando los equipos de detección no reportan presencia del mismo en la estructura.

5.7.3 Casa de máquinas

Para el caso de la casa de máquinas, se toma la decisión de no realizar un análisis estructural aproximado, ya que no se posee parámetros suficientes para realizarlos, debido al limitado número de ensayos disponibles. Cabe anotar que el sistema estructural de la casa de máquinas, se puede catalogar dentro de los sistemas estructurales aceptados por la normativa actual para los sistemas de resistencia sísmica, además por tratarse de una estructura considerada como vital, según el grupo de uso adoptado por la NSR-10, título A.2.5.1.1 (Grupo de uso IV), son estructuras que deben permanecer funcionales durante y después de un evento sísmico. Sin embargo, se presentan a continuación una serie de datos, los cuales fueron obtenidos en las fases previas al presente diagnóstico.

Los datos presentados a continuación, han sido obtenidos mediante la recopilación de información recolectada en campo, información existente acerca del diseño estructural, datos arrojados en laboratorio acerca de la calidad de los materiales, y otros que se han asumido a buen juicio del especialista, con base en la experiencia y en parámetros de aproximación consignados en la literatura técnica y normativa vigente en nuestro país.

- Calidad del material:
 - Concreto ($f'c$) = 26 MPa (Valor obtenido mediante ensayos).
 - Acero de refuerzo (f_y) = 420 MPa (Valor asumido).
 - Cuantía de refuerzo (ρ) = 1 N°5 c/0.20m a 0.30m (990mm²/ml a 660mm²/ml). (Valor obtenido mediante ensayos).

- Recubrimiento = 45mm (Valor obtenido mediante ensayos).
- Sistema estructural:
 - Muros de carga en concreto reforzado, no se evidenció presencia de columnas ni vigas de rigidez. (Descripción obtenida en campo).
 - Cubierta compuesta por teja tipo canaleta 90 inclinada a un agua. (Descripción obtenida en campo).
 - El sistema estructural actual, se puede considerar como muros de carga en concreto reforzado, el cual se puede clasificar dentro de los sistemas estructurales propuestos en la normativa vigente, NSR-10, título A.3.2.
- Parámetros del suelo:
 - Angulo de fricción interna = 30° (Valor asumido con base en 11.10.5.1 del CCP-14).
 - Peso específico promedio = 18kN (Valor asumido conservadoramente).
 - Cohesión = 7kPa (Valor asumido conservadoramente).
- Parámetros sísmicos:
 - Ubicación geográfica: Carmen de Carupa (Cundinamarca).
 - Aceleración pico efectiva: 0.15g (Valor obtenido Apéndice A-4 NSR-10).

Con base en los resultados de laboratorio y datos obtenidos en campo, se considera que la estructura cuenta con una estabilidad adecuada, bajo cargas normales de servicio.

5.7.3.1 Resultado de los análisis Casa de máquinas

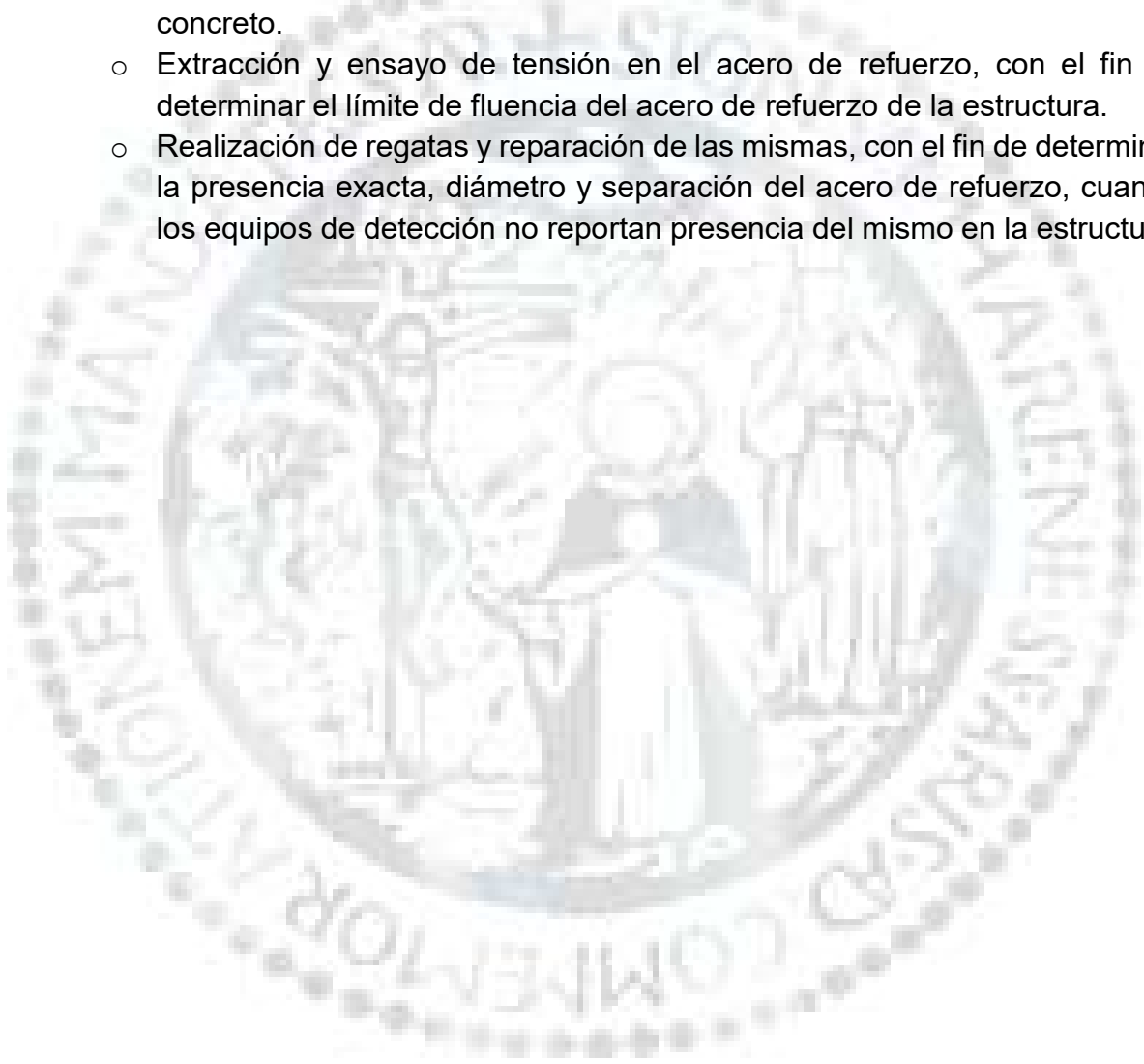
Una vez analizada la información obtenida a través de las fases previas al diagnóstico, se puede concluir que en general la estructura cuenta con la estabilidad mínima exigida. De manera aproximada se puede establecer lo siguiente para la presente estructura:

- La estructura cuenta con una estabilidad local adecuada.
- En general la estructura presenta un adecuado desempeño.
- En condiciones normales de servicio, la estructura no presenta compromiso en su estabilidad local.
- El concreto cumple con la resistencia a la compresión mínima, exigida para este tipo de estructuras.
- El recubrimiento para la protección del acero de refuerzo, cumple con los requisitos mínimos para este tipo de estructuras.

Respecto a las acciones que se recomienda realizar sobre la estructura, a partir del análisis realizado, se podrían considerar las siguientes:

- Realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica, que conduzca a determinar de manera más asertiva las condiciones de estabilidad y capacidad estructural, en función a las exigencias de las normas vigentes para este tipo de obras.

- Por tratarse de una estructura clasificada como vital, según la normativa vigente, se recomienda realizar un estudio de actualización de la misma, cumpliendo con los requisitos exigidos por la normativa vigente para este tipo de obras.
- Se recomienda realizar un programa de ensayos más detallados para determinar con mayor precisión los parámetros asumidos en el presente diagnóstico. A saber:
 - Ensayo de carbonatación, con el fin de detectar el potencial de corrosión sobre el acero de refuerzo, derivado de la capacidad pasivadora del concreto.
 - Extracción y ensayo de tensión en el acero de refuerzo, con el fin de determinar el límite de fluencia del acero de refuerzo de la estructura.
 - Realización de regatas y reparación de las mismas, con el fin de determinar la presencia exacta, diámetro y separación del acero de refuerzo, cuando los equipos de detección no reportan presencia del mismo en la estructura.



5.8 Propuesta de mejoramiento u optimización

A partir de las fases previas de inspección, auscultación y diagnóstico, en el presente capítulo se presentará la propuesta de mejoramiento y optimización de las obras de infraestructura del embalse, objeto del presente estudio.

Por tratarse de estructuras de concreto reforzado, en general las lesiones y patología presente, se pueden catalogar y clasificar de manera general, por lo tanto, el tratamiento de las mismas tiene la misma índole.

En el ANEXO 10 “Especificaciones de reparación de lesiones”, se presenta el planteamiento de la solución, la especificación del producto y el procedimiento que se deberá llevar a cabo, para la reparación de las lesiones y patologías de las obras de concreto. Para este caso se contó con la asesoría del departamento técnico de TOXEMENT, pero el uso de los productos especificados en el ANEXO 10, se debe entender como sugeridos. Para el caso particular del proyecto, se debe plantear el uso de productos similares de otras casas fabricantes, pero que cumplan con los estándares presentados en las fichas técnicas de dichos productos, ya que los mismos satisfacen los requerimientos de reparación, vida útil y mantenimiento recomendados por la presente consultoría. Por lo tanto, se deberá referir en los procedimientos de reparación sugeridos, el uso del producto especificado o SIMILAR.

En el caso de las propuestas de intervención, para cada una de las obras de infraestructura del presente embalse, se presentará cada una de las obras, con la enumeración de cada tratamiento, con base en el diagnóstico realizado para cada una de ellas. A continuación, se enumera cada una de las obras, con la definición del tipo de intervención a ejecutar.

5.8.1 Vertedero de excesos.

Las propuestas de intervención sobre la presente obra de infraestructura son:

- Tratamiento de juntas de expansión y control.

5.8.2 Túnel de descarga.

Las propuestas de intervención sobre la presente obra de infraestructura son:

- Tratamiento de fisuras y limpieza de eflorescencias en superficie del concreto.
- Tratamiento de juntas no tratadas adecuadamente.

5.8.3 Canal de descarga.

Las propuestas de intervención sobre la presente obra de infraestructura son:

- Tratamiento de juntas de expansión y control.

- Tratamiento de superficies de concreto deterioradas por efectos de abrasión.

5.9 Cantidades de obra, Presupuesto general y cronograma

A partir del diagnóstico y propuesta de intervención, para cada una de las lesiones relevantes que presenta cada una de las obras de infraestructura del embalse, se elabora un cuadro de cantidades de obra para cada una de las deficiencias, la cual incluye las actividades correctivas, insumos, mano de obra y especificación de los materiales utilizados, para intervenir y corregir dichas lesiones. En el ANEXO 11 “Fichas de mantenimiento”, se especifica y describe cada una de las actividades a ejecutar, con el fin de realizar las reparaciones recomendadas. De igual manera se incluye un cronograma general de actividades en el tiempo, para la ejecución de los trabajos a adelantar.

A partir de la evaluación de rendimiento, insumos, actividades, procedimiento de ejecución de cada una de las propuestas de intervención, se estima su costo y tiempo de ejecución, para cada una de las obras de infraestructura del presente embalse. A continuación, se presenta el resumen de costo general y tiempo estimado, para la intervención de cada obra de infraestructura. El detalle de costos y programación de intervención se presenta en el ANEXO 11 “Fichas de mantenimiento”, tal como se mencionó anteriormente.

5.9.1 Vertedero de excesos.

Se presenta a continuación el resumen del costo de intervención y el tiempo de ejecución de las actividades para optimizar, reparar o rehabilitar la obra existente. Estos valores, como se mencionó anteriormente, obedece al análisis de las actividades, rendimientos, insumos y tiempo de ejecución.

- Costo general de la intervención: Treinta y ocho millones ocho cientos setenta y cinco mil cien pesos (\$ 38.875.100 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 5 semanas (1.25meses).

5.9.2 Túnel de descarga.

Se presenta a continuación el resumen del costo de intervención y el tiempo de ejecución de las actividades para optimizar, reparar o rehabilitar la obra existente. Estos valores, como se mencionó anteriormente, obedece al análisis de las actividades, rendimientos, insumos y tiempo de ejecución.

- Costo general de la intervención: Quinientos sesenta millones doscientos cuarenta y siete mil cuatrocientos cincuenta pesos (\$ 560.247.450 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 16 semanas (4meses).

5.9.3 Canal de descarga.

Se presenta a continuación el resumen del costo de intervención y el tiempo de ejecución de las actividades para optimizar, reparar o rehabilitar la obra existente. Estos valores, como se mencionó anteriormente, obedece al análisis de las actividades, rendimientos, insumos y tiempo de ejecución.

- Costo general de la intervención: Treinta y dos millones novecientos siete mil setecientos cincuenta pesos (\$ 48.549.500 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 4 semanas (1mes).



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conforme a la evaluación practicada sobre las obras de infraestructura de cada embalse, objeto del presente diagnóstico, se puede concluir los siguientes aspectos y generalidades.

En general las obras de concreto reforzado, presentan una condición en su material estructural aceptable. A la luz de la normativa vigente en nuestro país para este tipo de estructuras, el material estructural conserva aún sus características de estabilidad y capacidad, por lo tanto, su estado se puede calificar como bueno.

La generalidad de las lesiones y patología presente en cada una de las obras de infraestructura, pueden estar asociadas a la falta de mantenimiento de las obras y a deficiencias en los procedimientos constructivos de la época en las que fueron ejecutadas. También en algunos casos, los materiales de los sellos de las juntas de control y expansión han sufrido desgaste, pérdida en sus propiedades, o sencillamente han desaparecido a través del paso del tiempo.

Las intervenciones recomendadas sobre cada una de las lesiones y patología halladas, son las que comúnmente se llevan a cabo, dentro de las buenas prácticas de la ingeniería. Dichas intervenciones pueden ser atendidas con materiales y procedimientos de fácil ejecución. A este respecto se puede denominar, en general, que las intervenciones sobre las estructuras serán de índole preventiva.

En general, las obras de infraestructura evaluadas, no presentan compromiso en su estabilidad y seguridad estructural bajo cargas normales de servicio.

Las recomendaciones establecidas para cada una de las obras de infraestructura, además de la reparación de los daños y patología presentadas, se debe involucrar un protocolo de mantenimiento periódico y de monitoreo sobre cada una de ellas, con el fin de maximizar su vida útil.

Adicionalmente, se recomienda realizar a las estructuras tipo edificación, tales como las casetas de máquinas y equipos, se lleve a cabo un estudio de vulnerabilidad sísmica, tal y como lo establece la (NSR-10, 2010). Cabe señalar que las estructuras pertenecientes a centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos, se catalogan como edificaciones indispensables, es decir, que deben permanecer funcionales durante y después de un evento sísmico, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ACI Committee 116. (2000). Cement and concrete terminology.
- ACI Committee 201. (2001). Guía para la durabilidad del hormigón.
- Alcaldía Municipal Carmen de Carupa. (2000b). *Esquema de Ordenamiento Territorial Carmen de Carupa (Cundinamarca)*. Carmen de Carupa.
- Alcaldía Municipal Carmen de Carupa. (2016). *Plan de desarrollo "Carmen de Carupa por un futuro mejor 2016-2019"*. Carmen de Carupa.
- Alcaldía Municipal de Zipaquirá. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019*. Zipaquirá.
- Ávila Puentes, N., & Jiménez Santiago, N. (2019). *Apoyo a la realización de Planes de Contingencia por evento específico en los parques: Embalse de Neusa, río Neusa y Embalse El Hato*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Broto, C. (2006). *Patología de los materiales*. Barcelona: Links.
- CAR. (2017b). *Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Alto Suárez – Fase diagnóstico- Resumen Ejecutivo*.
- CAR. (2020). *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*. Obtenido de www.car.gov.co
- Colparques. (2020). *Colparques*. Obtenido de www.colparques.net
- Consortio CAR. (2016). *Consultoría para elaborar estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundación, avenida torrencial e incendios forestales en los municipios priorizados en la jurisdicción de la CAR*.
- Consortio Embalses CAR. (2020). *Contrato 1986 de 2019 "Diagnóstico integral del estado actual de la infraestructura de los embalses de propiedad de la corporación; Sisga, Neusa y El Hato" Producto 5 Informe final Embalse del Hato versión1*. Bogotá D.C.
- Echeverri, W., & Osorio, J. D. (2011). Tendencias de la tecnología del concreto para edificaciones. *Noticreto*, 56-60.
- Felizola Contreras, R. (2020). Apuntes de clase concreto USTA.
- Gladston, F. (2017). Riesgos patológicos del concreto en el continente americano. *Noticreto*, 64-67.
- Gómez, G. (2012). Apuntes de clase Tecnología del concreto UNAL. Bogotá D.C.

- Instituto Nacional de Vías. (2007). I.N.V.E-308-07. *Fraguado inicial del cemento portland (Método de la pasta)*. Bogotá D.C.
- Lopez, F., Rodriguez, V., Santa Cruz, J., Torreño, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). Manual de patología de la edificación. Madrid, España.
- Niño H., J. (2009). Patología de estructuras Aclaremos el término. *Noticreto*, 36-39.
- Niño, J. R. (2001). Apuntes de clase de patología USTA. BogotáD.C.
- NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. *Titulo C*. Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Patiño León, L. (2020). Apuntes de clase Historia clínica USTA. Bogotá D.C., Colombia.
- Segura Franco, J. (2010). La importancia del diagnóstico estructural preliminar. *Noticreto*, 12-14.
- Thornton, C., & Lew, P. (1992). Diseño y construcción con concreto. En F. Merritt, *Manual del ingeniero civil* (págs. 2-22). USA: Mc Graw-Hill.
- TOXEMENT Euclid Chemical. (21 de abril de 2020). Fundamentos de concreto para no concreteros. *Fundamentos básicos de concreto*. Bogotá D.C., Colombia.
- TOXEMENT Euclid Chemical. (22 de abril de 2020). Fundamentos de concreto para no concreteros. *Selección de aditivos para concretos*. Bogotá D.C., Colombia.
- Velandia, D., & Echeverri Patiño, W. (2010). Concreto expuesto a diferentes ataques en Colombia. *Noticreto*, 32-35.