

## 4 EMBALSE DEL NEUSA

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.

### 4.1 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.

### 4.2 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.



### 4.3 Antecedentes para diagnostico estructural Embalse Neusa

El embalse del Neusa se construyó con el objetivo de regular el caudal en la cuenca del río Neusa y abastecer los acueductos de los municipios de Cogua y Zipaquirá, se encuentra ubicado a una altura de aproximadamente 3000 msnm.

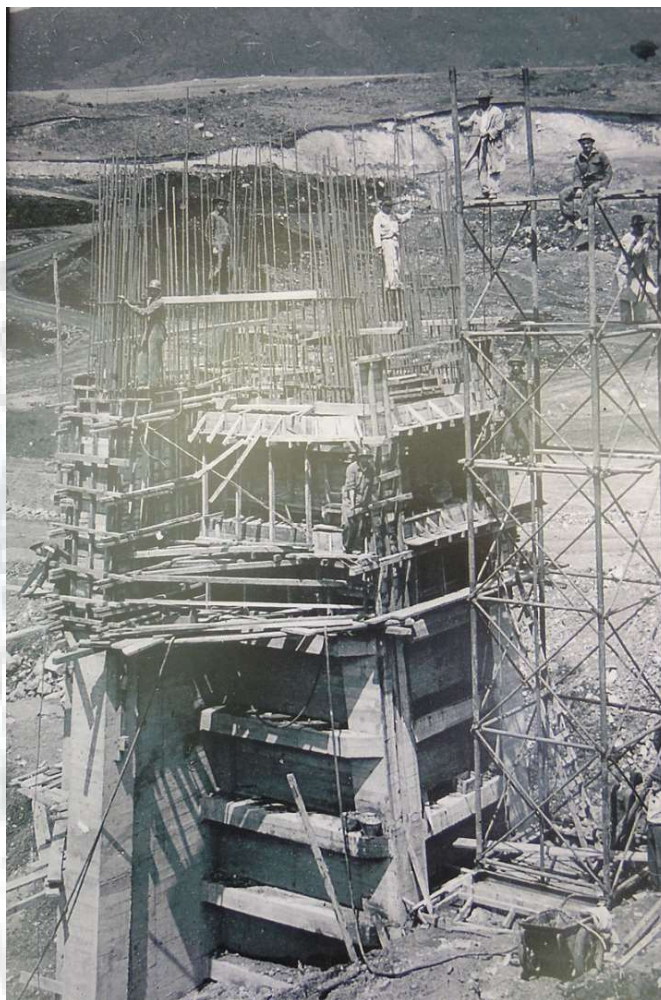
La construcción del embalse comenzó como un proyecto de generación de energía eléctrica para los municipios de Zipaquirá, Tocancipá, Gachancipá, Cogua y las salinas de Zipaquirá. Posteriormente, la Concesión Salinas del Banco de la República decidió adelantar un proyecto de aprovechamiento múltiple, que comprendía el abastecimiento de agua para Bogotá, Zipaquirá y municipios vecinos; regulación del Río Bogotá y la generación de energía, propósito que posteriormente fue descartado.

Los estudios del embalse comenzaron en agosto de 1948 y la construcción de las obras comenzó en 1949 y terminó en los primeros meses de 1952. Tanto los estudios como la construcción fueron ejecutados por la firma norteamericana Winston Brothers & Company. En 1962 el lote fue entregado a la CAR para su manejo y administración.



**Fotografía. 62. Placa conmemorativa Represa del Neusa.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

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



**Fotografía. 63. Construcción torre de toma.**

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:

- Esquema general de trabajos en el sitio de la presa. Banco de la Republica Obras Neusa - Winston Bros. Company; Plancha N°5. Oct 1948. En el contenido de este plano, se encuentra la ubicación general en planta de la presa, el rebosadero, la

ubicación de la torre de toma la ubicación del tubo ascendente y válvula y la ubicación del portal y canal de descarga.

- Rebosadero. Banco de la Republica Obras Neusa - Winston Bros. Company; Plancha N°8. Oct 1948. En el contenido de este plano, se encuentra el perfil longitudinal por el eje del rebosadero, ubicación e planta y corte de las compuertas de salida, sección típica del canal del rebosadero, detalles generales de juntas y tanque de amortiguación.

En los planos enumerados anteriormente, se encuentra información muy general de las dimensiones y ubicación de las obras de infraestructura del embalse, específicamente del rebosadero. 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.

#### **4.4 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: Tausa y Cogua, (Cundinamarca).

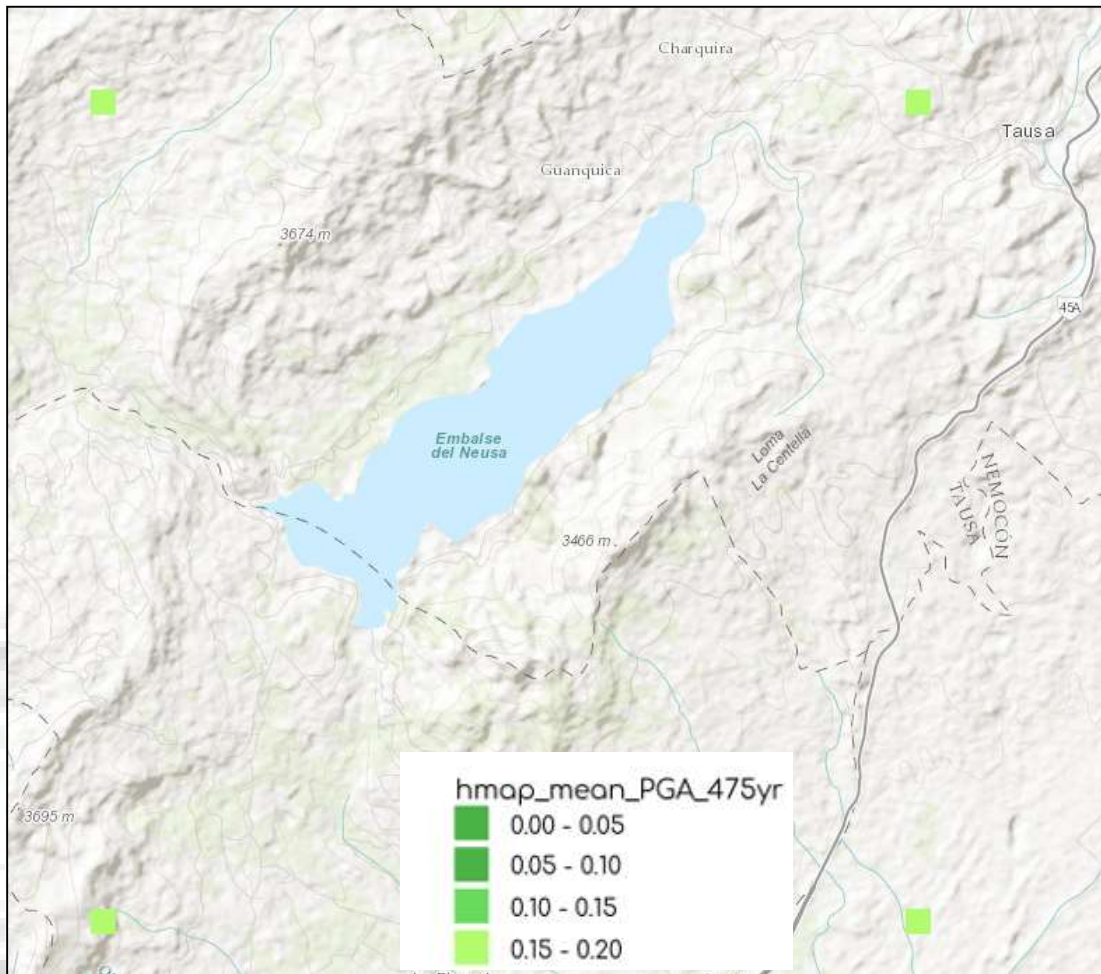
Zona de amenaza sísmica: Intermedia

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

Coefficiente de velocidad pico efectiva ( $A_v$ ): 0.20.

##### **4.4.1 Amenaza Sísmica**

El Servicio Geológico Colombiano - SGC presenta estos 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, en la siguiente ilustración 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 0.15-0.20g. (Consortio Embalses CAR, 2020).

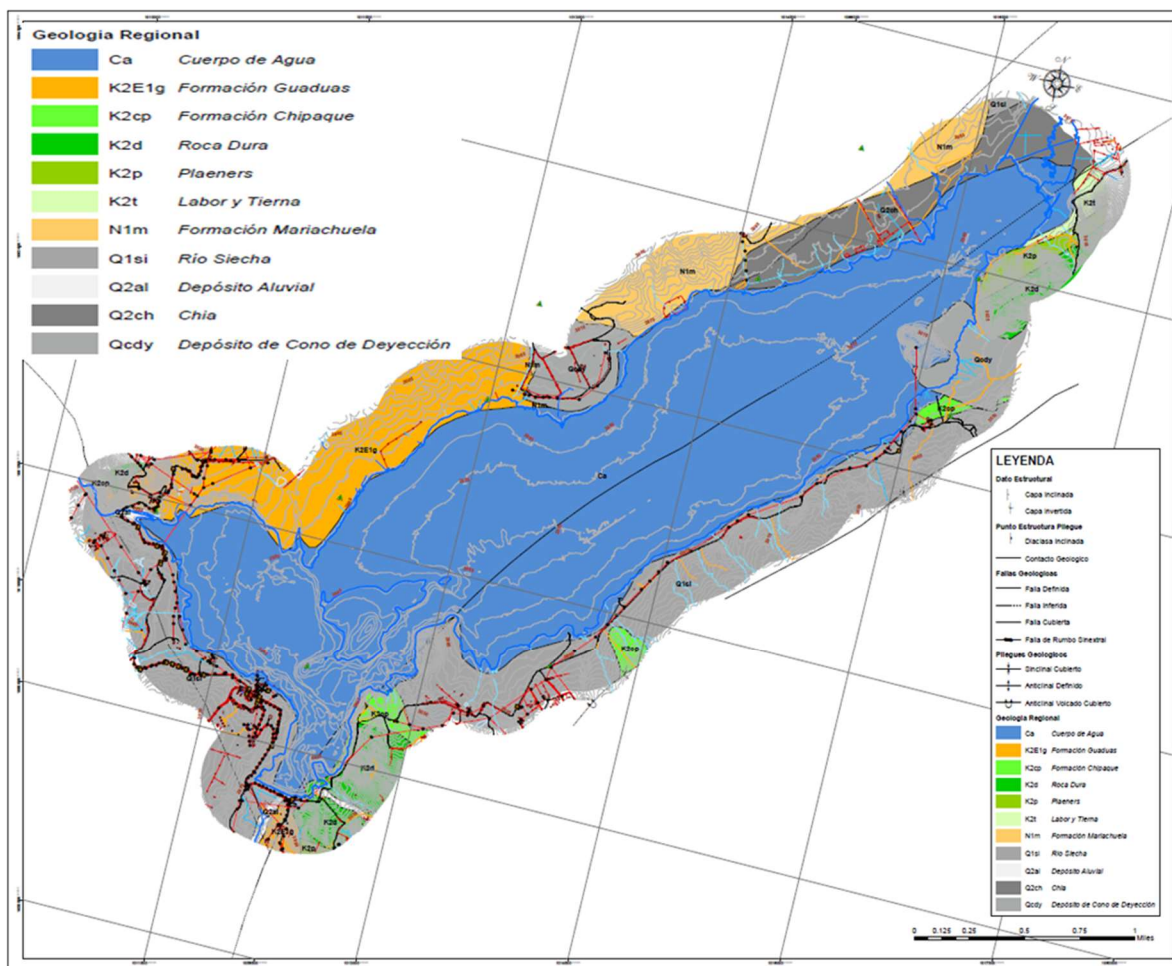


**Fotografía. 64. Mapa aceleraciones pico (PGA) Embalse Neusa. Periodo de retorno 475 años.**

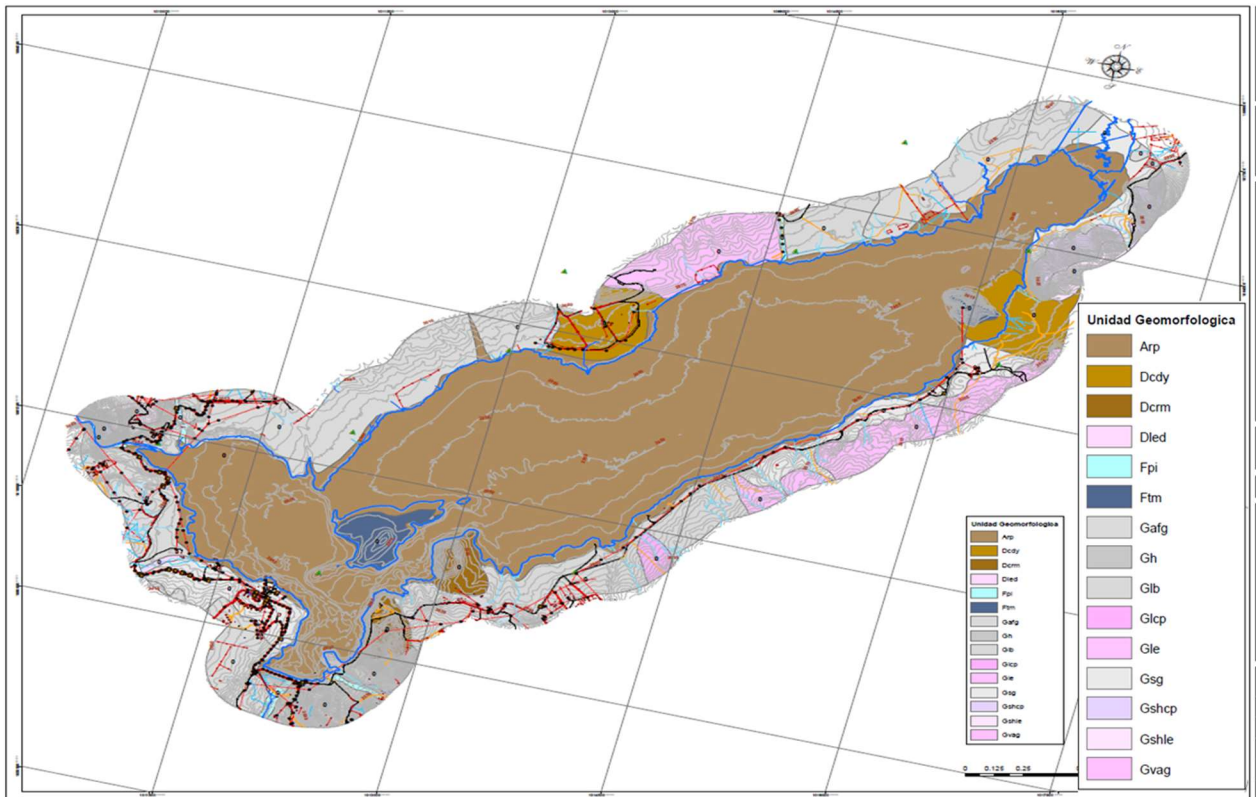
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### 4.4.2 Unidad geológica regional

El sector donde se localiza el embalse de Neusa, afloran las siguientes unidades, Formaciones: Chipaque, Grupo Guadalupe (Fm. Areniscas Dura, Fm Plaeners y Fm. Labor-Tierna), Fm. Guaduas, Fm. Mariachuela y Unidades del Cuaternario. (Consorcio Embalses CAR, 2020).



**Fotografía. 65. Mapa geológico 1:25000 Embalse Neusa.**  
 Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

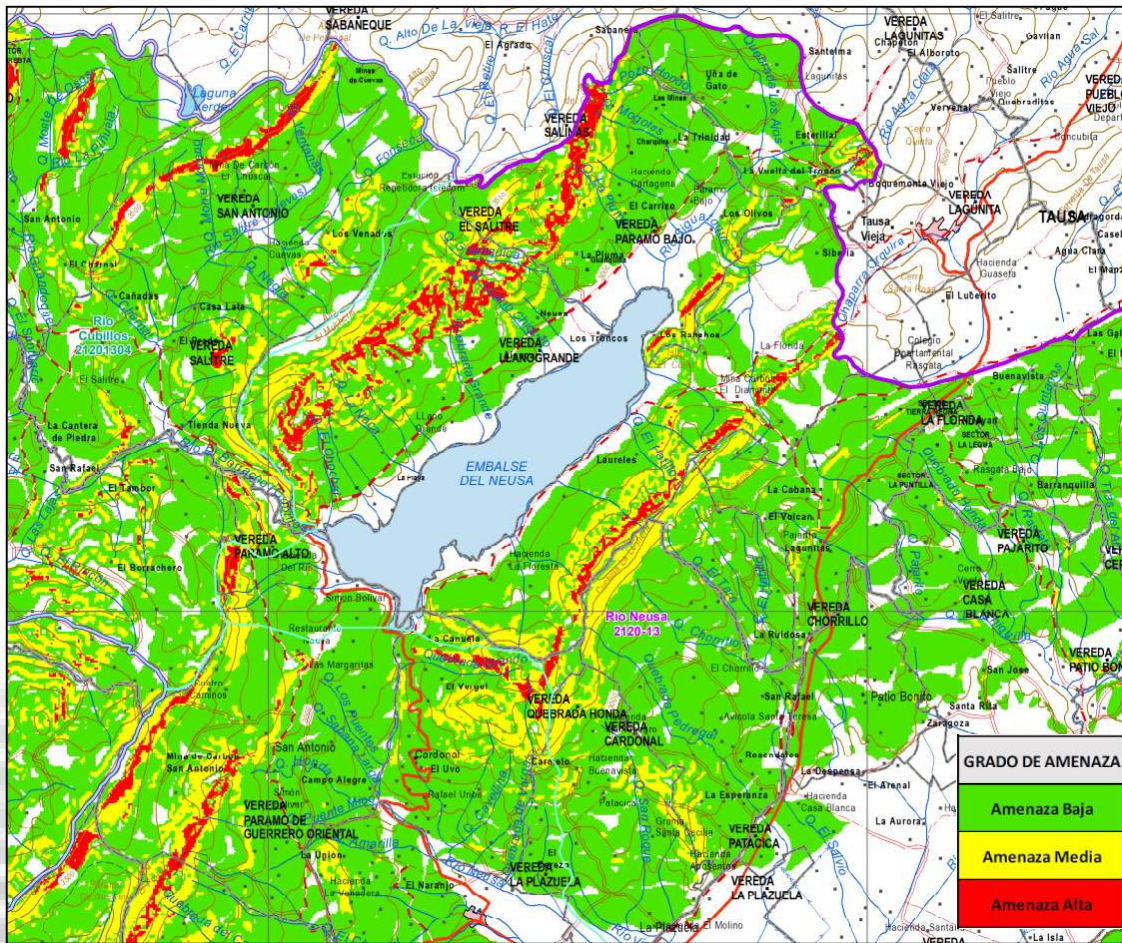


**Fotografía. 66. Mapa geomorfológico 1:25000 Embalse Neusa.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### 4.4.3 Amenaza movimientos en masa

Se encontró información referente al documento “Apoyo a la realización de Planes de Contingencia por evento específico en los parques: Embalse de Neusa, río Neusa y Embalse El Hato”, siendo participes la universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Corporación Autónoma Regional (CAR), corresponde a una tesis elaborada por Ávila Puentes & Jiménez Santiago (2019), en donde realizan una zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa del embalse del Neusa.

En los estudios básicos llevados a cabo por el Consorcio CAR en el año (2016) a escala 1:25.000 se llevó a cabo la zonificación de la amenaza por movimientos en masa del municipio de Tausa, de la cual se puede observar que el embalse El Neusa presenta amenaza media por procesos de movimientos en masa. (Consorcio Embalses CAR, 2020).

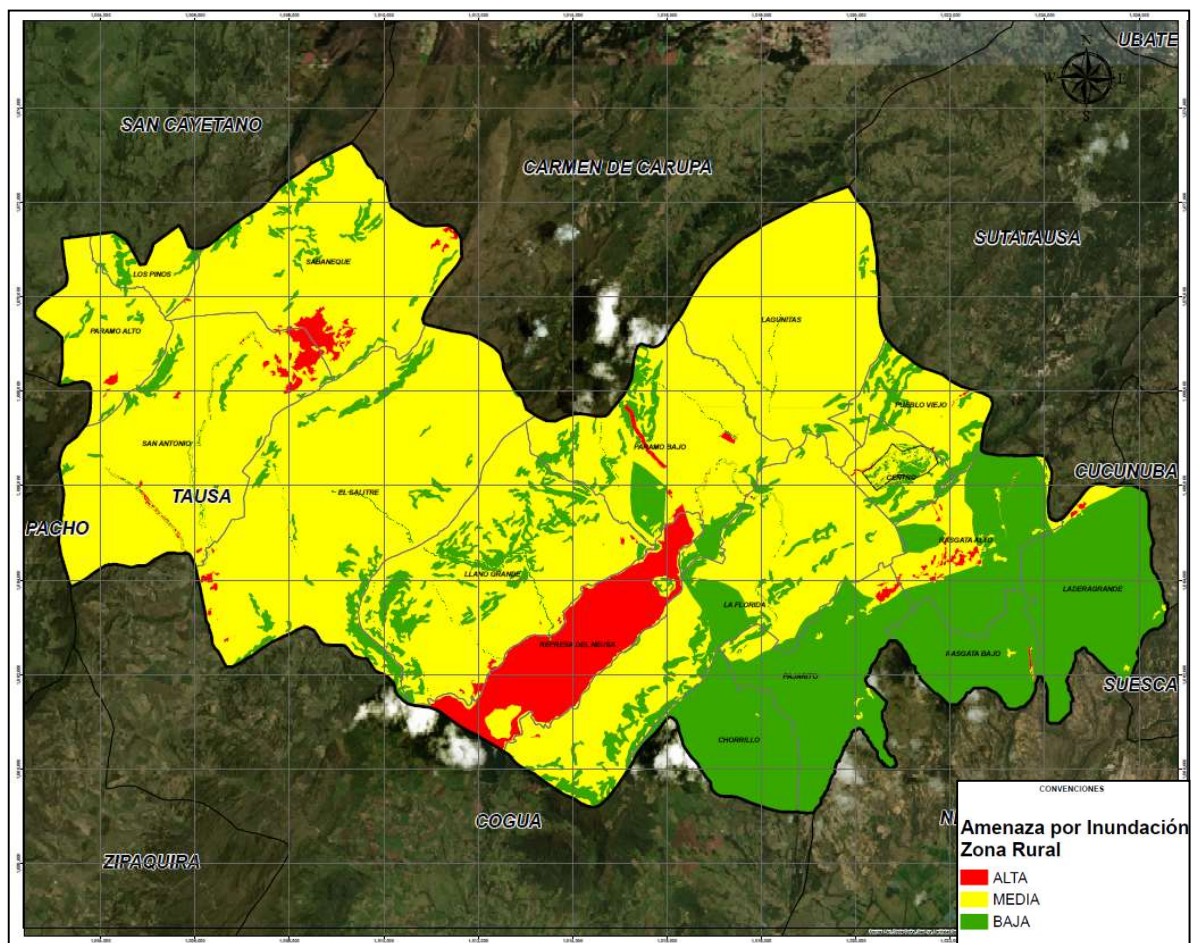


Fotografía. 67. Mapa de amenaza por movimientos en masa Embalse Neusa. Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### 4.4.4 Amenaza inundación

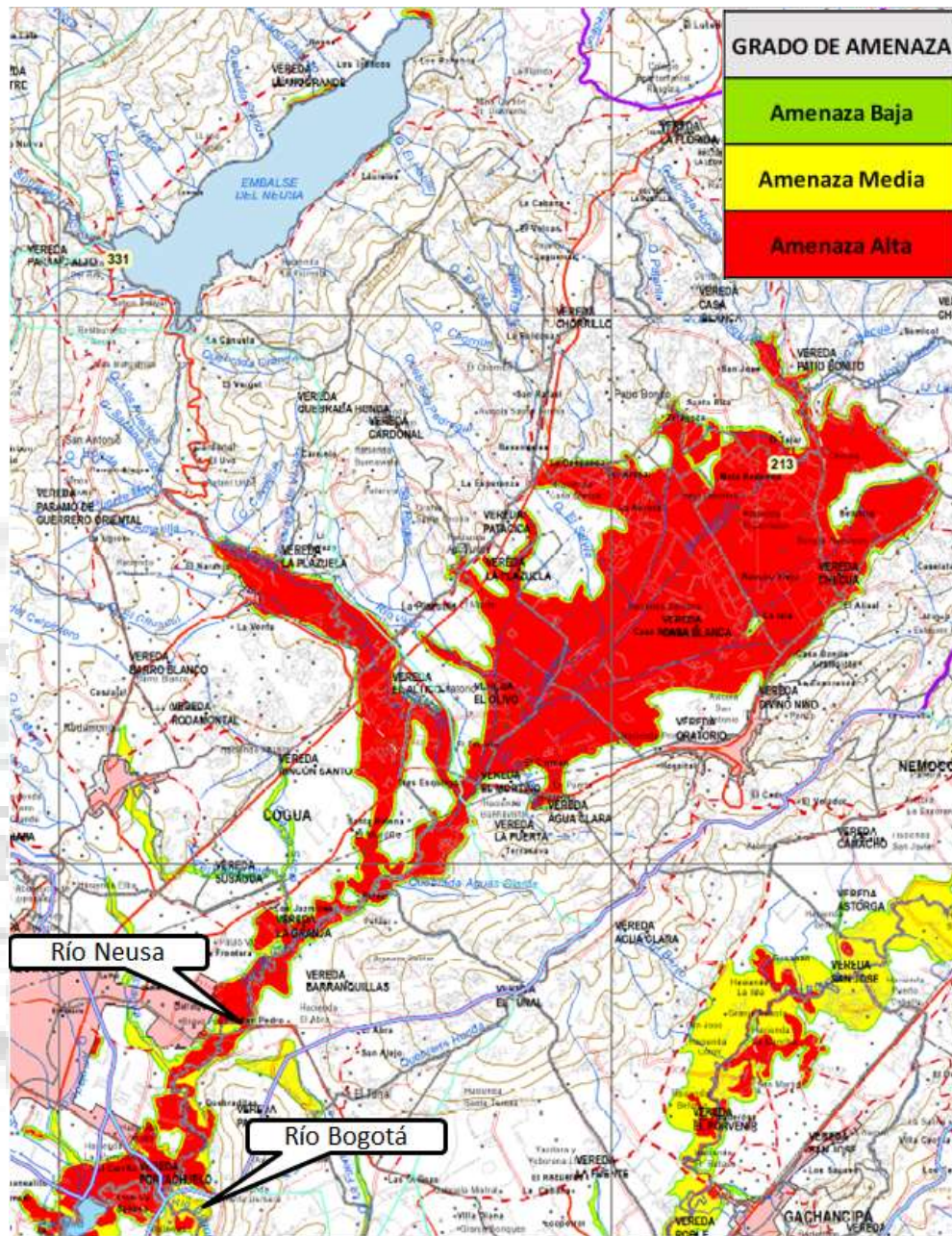
Según el Plan de Desarrollo Municipal de Zipaquirá (2016), la subcuenca del río Neusa recibe las aguas del río Susagua y otros nueve cursos menores, e influencia los sectores de las veredas de Barandillas, Portachuelo, La Granja y Pasoancho, las cuales en caso de ocurrir desbordamientos en el río, se verían afectadas por inundación. Por tal motivo, en caso de ocurrir desbordamiento en el río Neusa, las veredas mencionadas podrían verse amenazadas por inundación. Adicionalmente, en los estudios básicos llevados a cabo por el Consorcio CAR en el año (2016) a escala 1:25.000 se llevó a cabo la zonificación de la amenaza por inundación del municipio de Tausa, de la cual se puede observar que la mayor parte del embalse El Neusa presenta amenaza alta por inundación, a excepción de dos islotes ubicados al suroccidente y al nororiente del embalse, presentando amenaza media y baja respectivamente. La amenaza por procesos de

inundación fue analizada bajo los eventos de desbordamiento y encharcamiento (prevalciendo el desbordamiento). (Consortio Embalses CAR, 2020).



**Fotografía. 68. Mapa de amenaza por inundación, municipio de Tausa zona rural. Embalse Neusa.**

Fuente: Consortio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 69. Mapa de amenaza por inundación en las zonas priorizadas aledañas al Embalse Neusa, ajuste POMCA río Bogotá 2019.**

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.

#### **4.5 Peritaje estructural obras Embalse Neusa**

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:

- Torre de toma.
- 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.

#### 4.5.1 Torre de toma

Es una estructura vertical en concreto, en la cual se ubica la compuerta de cierre del embalse. En general la torre posee una altura total aproximada de 40 metros, y 10 metros en la parte más ancha, a lo largo de su altura se proyectan dos apoyos laterales con tres columnas por cada apoyo, la columna exterior al apoyo se asemeja a un contrafuerte, y las dos columnas interiores se encuentran vinculadas a través de una pantalla o muro a lo largo de las mismas, las cuales a su vez se encuentran vinculadas a través de una viga de gran altura (pantalla) a medio nivel, lo que permite su arriostramiento lateral. Los apoyos presentan una sección variable, ensanchándose en su base, la cual se ubica aproximadamente a 25 metros de profundidad dentro del vaso del embalse. En la parte superior de la torre, se ubican una serie de equipos de medición y control, tanto de la Corporación, como de empresas de servicio público, con el fin de monitorear los niveles del embalse.

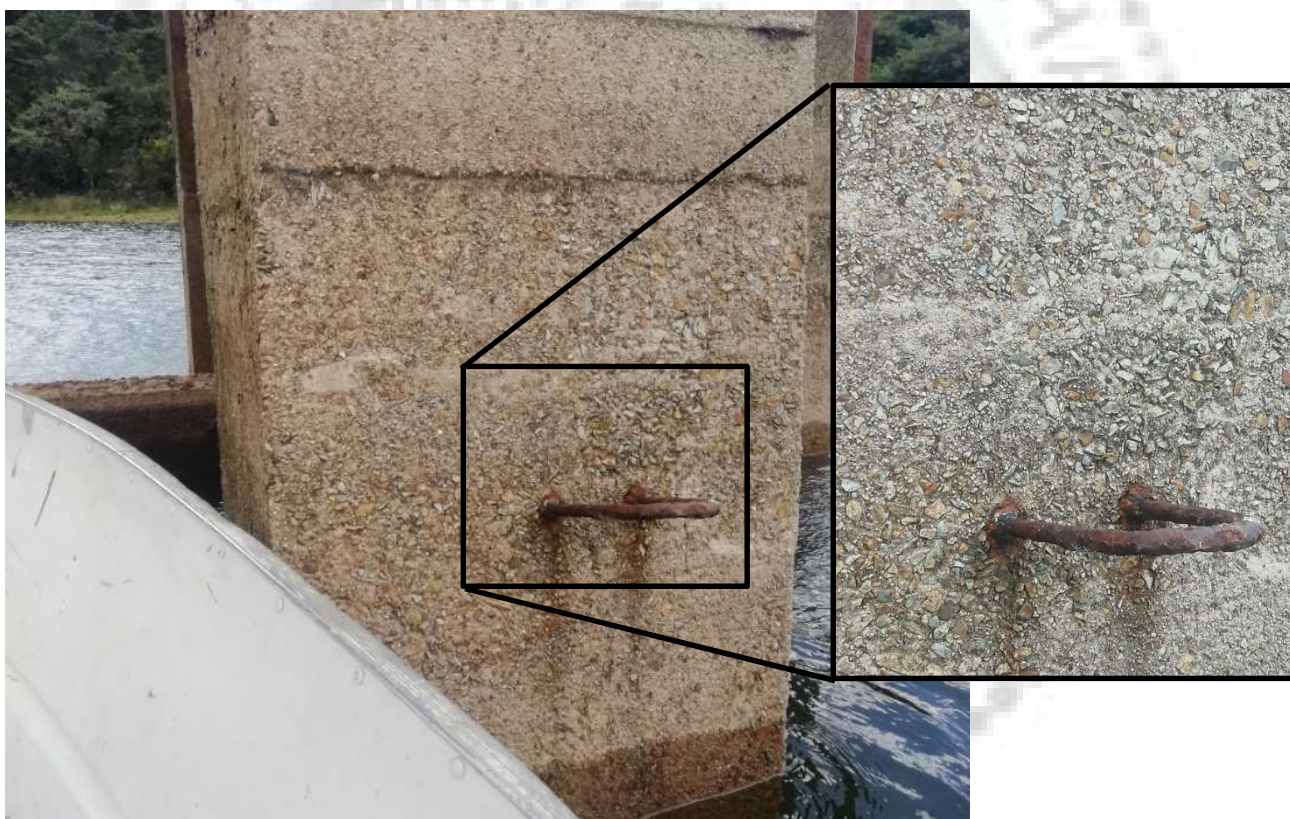


**Fotografía. 70. Alzado general Torre de toma.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

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

El concreto en los elementos de apoyo de la torre a nivel superficial, aparentemente en la zona donde posiblemente fluctúa o ha fluctuado el nivel del espejo de agua del embalse, se presenta una pérdida de la pasta de cemento del concreto, dejando expuesto el agregado grueso en esta zona, este es un deterioro particular en el concreto generado por los ciclos de humedecimiento y secado del material, y potencial abrasivo del flujo.

También en la zona descrita anteriormente, existe el rastro de un tipo de material orgánico similar a algún tipo de alga o similar, que indica el nivel que ha alcanzado el espejo de agua sobre la torre.



**Fotografía. 71. Deterioro del concreto ciclo humedecimiento-secado.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 72. Presencia de material orgánico ciclo humedecimiento-secado.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Adosada lateralmente a la torre, en su parte interna, se ubican unos rieles guía para la compuerta de cierre del embalse, las que permiten su desplazamiento vertical, dichos elementos de guía se encuentran totalmente deteriorados por efecto del óxido, al igual que sus soportes y anclajes a la estructura de concreto. La zona de los rieles totalmente deteriorada y corroída se encuentra en las zonas de humedecimiento y secado, zona en las que posiblemente fluctúa o ha fluctuado el nivel de aguas del embalse a lo largo de su tiempo de servicio.

Sobre los rieles se presenta delaminación del material y presencia de escamas, debido al proceso de oxidación y corrosión del elemento, por lo tanto, se puede inferir la pérdida de la sección resistente del riel.

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.



**Fotografía. 73. Proceso corrosivo rieles guía compuerta.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### **4.5.1.1 Resultado de la inspección visual Torre de toma**

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 70 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 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:

- Realizar una limpieza general de la estructura, con el fin de retirar el material orgánico o residuos del mismo que se haya posado sobre ella a lo largo de su vida útil.
- Restaurar y reemplazar la estructura de rieles y guía que hacen parte de la apertura y cierre de la compuerta de toma del embalse, ya que dichos elementos y sus anclajes se encuentran completamente destruidos por la acción de la corrosión.
- Se recomienda realizar un procedimiento de protección del concreto en los apoyos de la torre, en la zona de transición de los ciclos de humedecimiento y secado por acción de la fluctuación del nivel del espejo de agua del embalse.
- Se recomienda retirar las tuberías y ductos que se encuentran adosadas a la estructura de la torre, las cuales ya no se encuentran en servicio, ya que potencialmente dichos elementos pueden ser detonantes de patologías futuras sobre la estructura, más aún cuando se encuentran ancladas o vinculadas a la estructura de concreto.
- Se recomienda reemplazar la estructura de escalera adosada a la estructura de la torre, o realizar un programa de mantenimiento, ya que la escalera misma y sus conexiones se encuentran bastante deterioradas por acción de la corrosión.

#### 4.5.2 Portal y canal de descarga

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto enterrado, en el cual se proyecta la tubería de descarga del embalse. En general el canal posee una longitud aproximada de 25 metros medidos desde el portal de salida, posee una sección libre interna de 2.60m de ancho y 4.00m de altura, los muros laterales de contención poseen un espesor promedio de 0.30m. El tubo de descarga es de sección circular con un diámetro aproximado de 0.90 m, dicho tubo se encuentra apoyado sobre unos soportes portatubos o silletas en concreto de aproximadamente 0.90m de espesor. En la parte final y superior del canal, se ubica una caseta donde se alojan los controles del mando de los equipos de descarga, esta edificación está construida con mampostería simple, y un entramado de madera a nivel de cubierta. La caseta de controles, no hará parte del presente diagnóstico.



**Fotografía. 74. Vista general canal de descarga y válvula.**

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 en sus paredes, o muestras de posibles asentamientos diferenciales en su base.



**Fotografía. 75. Presencia de eflorescencias en el portal de salida.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En el 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 canal se presentan otras eflorescencias, sobre todo en fisuras orientadas verticalmente, pero que son menos importantes que la referida anteriormente, pero que de igual manera se recomienda ser tratada.



**Fotografía. 76. Presencia de eflorescencias junta vertical.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Adicional a la presencia de eflorescencias, existe la presencia sobre la estructura de concreto, en zonas localizadas, material orgánico vegetal, en su gran mayoría musgo.

Estos afloramientos de vida vegetal provocan la presencia constante de humedad sobre el cuerpo de concreto, como se puede observar en las imágenes siguientes, en su mayoría se ubican a lo largo y parte inferior de juntas verticales o fisuras, con presencia constante de humedad y en la zona de la corona de los muros laterales del canal.

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.



**Fotografía. 77. Presencia de musgo y material orgánico.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

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



**Fotografía. 78. Estado actual de la caseta de control.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### ***4.5.2.1 Resultado de la inspección visual Portal y 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 70 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:

- Realizar una limpieza general de la estructura, con el fin de retirar el material orgánico o residuos del mismo que se haya posado sobre ella a lo largo de su vida útil, al igual que el depósito de sales de calcio por efecto de las eflorescencias.
- Restaurar y reparar las juntas verticales del canal, 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 que 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.
- Se recomienda realizar la limpieza y retiro de la capa vegetal presente sobre la estructura, debido a que el concreto puede deteriorarse por la continua presencia de humedad en su cara expuesta a la intemperie. Esta presencia de agua puede dañar los intersticios del concreto, ya que el agua atrapada puede en épocas de muy bajas temperaturas llegar a congelarse y generar microfisuras y fisuras que pueden al final deteriorar el recubrimiento de concreto y afectar el acero de refuerzo.
- Aunque la estructura de la caseta de control se encuentra en buenas condiciones, y no hace parte del presente diagnóstico, se recomienda realizar un diseño y actualización de la estructura de dicha edificación. La estructura actual de dicha caseta, no se puede clasificar dentro de ninguno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica que se encuentra definidos en las normas de diseño y construcción vigentes en el país. 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.

### 4.5.3 Vertedero de excesos

Es una estructura en concreto reforzado tipo canal abierto enterrado, con una pendiente longitudinal de aproximadamente 25% de inclinación con respecto a la horizontal, por el cual se evacuará el nivel de exceso y descarga del embalse, por encima de la cota máxima de inundación. En general el canal posee una longitud aproximada de 150m medidos a partir de la zona de compuertas, posee una sección libre interna de 16.00m de ancho y 4.00m de altura aproximadamente en la zona inicial de descarga; la sección efectiva hidráulica del canal se va reduciendo hasta obtener una sección constante interna de 6.00 de ancho y 2.60m de altura. Los muros laterales de contención poseen un espesor promedio de 0.40m en la zona de mayor altura del muro, y en la sección donde la altura se hace constante, el espesor es de aproximadamente 0.30m en promedio.



**Fotografía. 79. Vista longitudinal del vertedero de excesos (Aguas arriba).**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Aguas arriba del vertedero, se encuentran unas compuertas metálicas de pivote, las cuales son accionadas por un mecanismo, con el fin de efectuar su apertura o cierre y permitir la evacuación del nivel de excesos. El vertedero de excesos cuenta con tres compuertas, pero por informaciones tomadas en campo, una de ellas sufrió una avería y colapso en el mecanismo de apertura y cierre.



**Fotografía. 80. Vista general compuertas (Aguas arriba).**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 81. Vista general compuerta colapsada (Aguas arriba).**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Al presentarse la caída de la compuerta, esta fue golpeada contra la placa de fondo del vertedero, produciendo un doblamiento y arrugamiento del perfil que funciona como brazo

de pivote de la compuerta y el desprendimiento del pie de amigo de arriostamiento de dicho brazo hacia la compuerta misma. En las fotografías anteriores se indica cuál de ellas fue la compuerta que presentó la avería.

A pesar de la avería sufrida por la compuerta colapsada, en general el material constitutivo de las mismas presenta una buena condición, además de los daños mencionados anteriormente, no hay evidencias de fenómenos corrosivos, deterioro o patologías que puedan indicar falla en su integridad estructural.

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 descascamientos 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 aceptables, 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.

Dentro de los daños o lesiones presentes en la estructura de concreto del canal, se evidenció el deterioro y daño de varias de las juntas de expansión y control, ubicadas dentro del canal, tanto en la losa de fondo como 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 elongación o acortamiento del elemento, sin comprometer su integridad. Además, sirve de barrera hidráulica, evitando que el agua de escorrentía superficial, se infiltre hacia el suelo de apoyo, lo que podría generar deterioro en el soporte de la subbase.

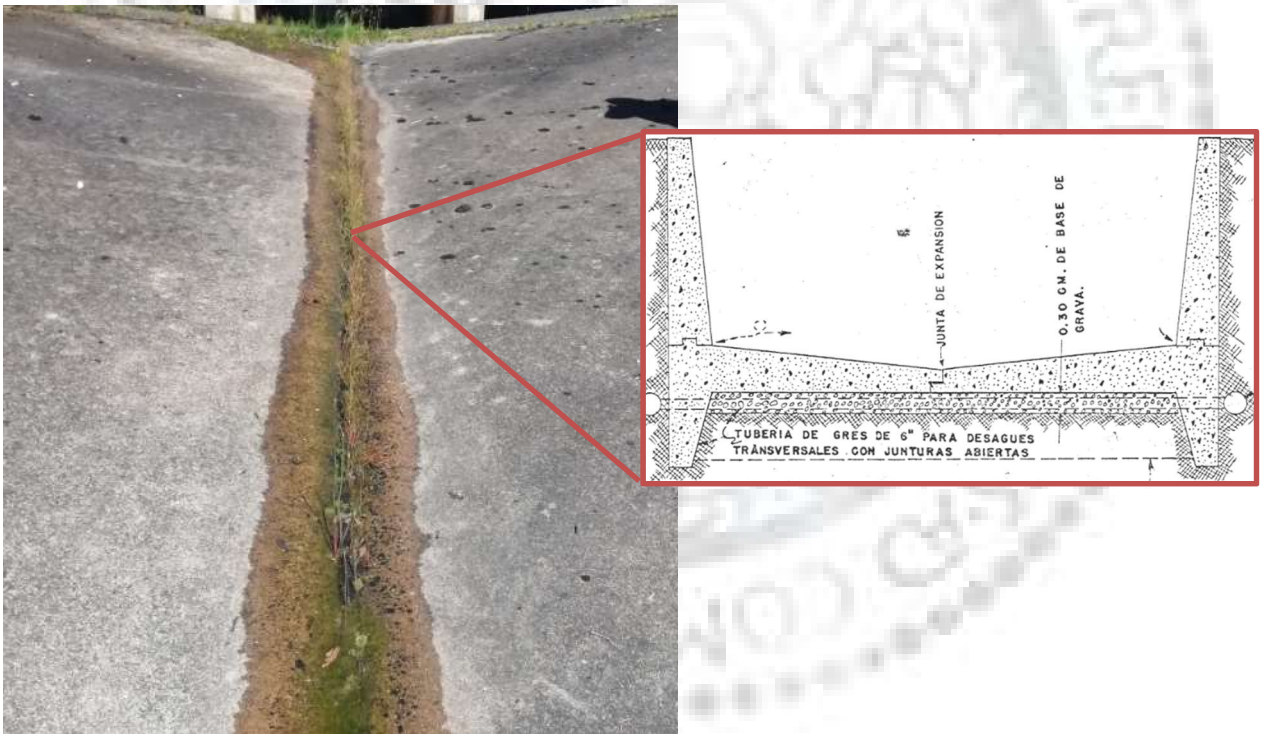
El canal cuenta con tres tipos de juntas de expansión, o mejor tres disposiciones generales a saber:

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. 82. Vista general junta transversal.**  
 Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Junta de expansión longitudinal al eje del canal: Como su nombre lo indica, son juntas que se proyectan paralelamente al sentido del flujo por el eje central del canal.



**Fotografía. 83. Vista general junta longitudinal por el eje.**  
 Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Junta de expansión longitudinal lateral del canal: Como su nombre lo indica, son juntas que se proyectan paralelamente al sentido del flujo, adyacentes a los muros laterales del canal. Este tipo de junta se encuentra proyectada aproximadamente a 0.30m de la parte interna del muro lateral del canal.



**Fotografía. 84. Vista general junta longitudinal lateral.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En general los tres tipos de junta de expansión, poseen una abertura o un tamaño promedio de 1" (2.50cm), y se encuentran selladas por un material elastomérico, en este caso se encontró que las juntas se encuentran selladas con un tipo de emulsión asfáltica.

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 compuertas del vertedero de excesos, hasta la entrega al tanque de amortiguación. Se verificaron 17 juntas de expansión transversales, una junta de expansión longitudinal central, la cual se proyecta en los primeros metros del inicio del canal aguas arriba (entre la junta de expansión transversal 1 y 3) y dos juntas de expansión longitudinales laterales, cada una a lado y lado del canal (entre la junta de expansión transversal 1 y 17).

La ubicación de las juntas mencionadas y enumeradas anteriormente, se encuentran identificadas en los planos del ANEXO 03 “Planos de mapeo de lesiones”.

En general el estado de las juntas es de deterioro, ya sea porque el sello se ha perdido, o por la invasión de vegetación y otros que ha levantado el material de sellado de las misma. A continuación, a través de las imágenes se observa el estado general de las juntas.



**Fotografía. 85. Pérdida y deterioro del material de sello de la junta.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 86. Pérdida total del material de sello de la junta.**

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 87. Afloramiento de vegetación a través de la junta.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 88. Procesos de infiltración a través de la junta.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Adicionalmente al deterioro de las juntas, se evidenciaron problemas menores de aparición de eflorescencias a través de los muros laterales de contención del canal, cercanos a la base el muro, estos se encuentran localizados en un sector entre las juntas de expansión transversales 8 y 9.

El tamaño promedio de las aberturas de las fisuras a través de las cuales se genera la eflorescencia no es mayor de 0.40mm, y la longitud de la zona afectada es de aproximadamente de 3.00m.

Adicional a la presencia de eflorescencias, existe la presencia sobre la estructura de concreto, en zonas localizadas, material orgánico vegetal, en su gran mayoría musgo.

Estos afloramientos de vida vegetal son favorecidos por la presencia constante de humedad sobre el cuerpo de concreto, como se puede observar en las imágenes siguientes, en su mayoría se ubican a lo largo y parte inferior de juntas verticales o fisuras, con presencia constante de humedad y en la zona de la corona de los muros laterales del canal.



**Fotografía. 89. Presencia de eflorescencias a través del muro lateral del canal.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 90. Presencia y afloramiento de musgo sobre el muro lateral del canal.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 91. Presencia y afloramiento de musgo sobre el muro lateral del canal.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En general el muro lateral de la margen derecha del canal (Tomándolo en sentido del flujo del agua), se observa totalmente invadido por musgos y vegetación silvestre. Este tipo de vegetación se encuentra favorecido la presencia de humedad constante sobre el cuerpo de concreto.

De igual manera es un riesgo potencial, ya que el material arbóreo muerto podría depositarse al interior del canal, provocando una obstrucción al flujo de agua, en caso de presentarse una evacuación por exceso en el nivel del embalse.



**Fotografía. 92. Presencia de vegetación excesiva en el margen derecho del canal.**  
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, se encuentra la estructura de entrega, la cual es un tanque de amortiguación que recibe y disipa la energía del flujo transportado. Esta estructura se compone principalmente del tanque, que tiene una longitud de 40.00m y un ancho promedio de 20.00m aproximadamente. En la parte final de entrega del tanque de amortiguación a la continuación del flujo, se encuentra unos dispositivos masivos en concreto, que funcionan como disipadores de energía del flujo transportado.



**Fotografía. 93. Tanque de amortiguación, disipación y entrega del flujo.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 94. Entrega final 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. Las vigas de coronación se observan en buen estado, no se evidencian deformaciones permanentes o distorsiones que indiquen movimientos o asentamientos diferenciales en su base, de igual manera ocurre con las pilas verticales, las cuales se observan estables y sin ladeos o pérdida en su verticalidad. Los elementos masivos de disipación, se observan en buen estado, sin desportillamientos, fisuras o grietas superficiales, que indiquen problemas de corrosión en sus armaduras.

#### **4.5.3.1 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 a pesar de la presencia de lesiones.
- Al considerar la obra con una vetustez de aproximadamente 70 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 vegetación, o residuos del mismo que se haya posado sobre ella a lo largo de su vida útil, al igual que el depósito de sales de calcio por efecto de las eflorescencias.
- Se recomienda realizar un procedimiento de poda o retiro de las especies arbóreas ubicadas en la corona del muro lateral del margen derecho del canal, con el fin de eliminar el potencial de caída de residuos sobre la sección hidráulica 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. En su recorrido es evidente que prácticamente la totalidad de las juntas deberá ser objeto de reparación y reemplazo del material de sello, por uno adecuado.
- Restaurar y reparar las eflorescencias evidenciadas en el sector localizado. 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 depasivación del acero de refuerzo, provocando procesos de corrosión del mismo.

- Se recomienda realizar la limpieza y retiro de la capa vegetal presente sobre la estructura, debido a que el concreto puede deteriorarse por la continua presencia de humedad en su cara expuesta a la intemperie. Esta presencia de agua puede dañar los intersticios del concreto, ya que el agua atrapada puede en épocas de muy bajas temperaturas llegar a congelarse y generar microfisuras y fisuras que pueden al final deteriorar el recubrimiento de concreto y afectar el acero de refuerzo.

#### 4.6 Ensayos de material obras Embalse Neusa

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 6. Programa de ensayos Embalse Neusa.**

<b>PROGRAMA DE ENSAYOS DIAGNOSTICO ESTRUCTURAS</b>				
	OBRA	TIPO DE ENSAYO		
		EXTRACCIÓN Y FALLA DE NUCLEOS	ESCLEROMETRIA	FERROSCAN
<b>EMBALSE NEUSA</b>	Vertedero de excesos	5	5	5
	Canal de descarga	2	2	2
	Torre de Toma	0	2	0

Las obras de infraestructura a auscultar en este embalse son:

- Vertedero de excesos.
- Canal de tubo de descarga.
- Torre de toma.

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.

##### 4.6.1 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 49. Este valor será contrastado con el valor promedio obtenido a través de los ensayos de compresión confinada efectuada sobre los cinco núcleos de concreto extraídos de la estructura.



**Fotografía. 95. Esclerometría en muro margen izquierda vertedero de excesos.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 96. Extracción núcleo en muro margen izquierda vertedero de excesos.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 97. Extracción núcleo en losa de fondo vertedero de excesos.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 98. 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, 44MPa para los muros de contención laterales del vertedero y de 50MPa para la losa de fondo, dichos valores son bastante superiores al exigido como mínimo por la NSR-10 para este tipo de obras, por lo tanto, se considera que la resistencia del material es adecuada.

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 cinco puntos o áreas de lectura, tres muestreos sobre los muros laterales del vertedero y dos sobre la placa de fondo, para el caso de los muros se halló barras de diámetro 5/8" (Nº5) con separaciones entre 10cm a 20cm, a una profundidad de 80mm a 100mm, y para el caso de la losa de fondo 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.



**Fotografía. 99. Detección acero de refuerzo en muro del vertedero.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### 4.6.2 Canal válvula de descarga

Para el caso del canal de descarga se realizaron dos tomas de esclerometría, el valor de índice de rebote promedio para esta estructura fue de 42. Este valor será contrastado con el valor promedio obtenido a través de los ensayos de compresión inconfiada efectuada sobre los dos núcleos de concreto extraídos de la estructura.



**Fotografía. 100. Esclerometría en muro margen derecha canal de descarga.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 101. Extracción núcleo en muro margen derecha canal de descarga.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 102. Extracción núcleo en canal de descarga.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



**Fotografía. 103. 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, 26MPa para los muros de contención laterales del canal de descarga. Para este caso particular, el valor obtenido de resistencia es ligeramente inferior al definido como aceptable para este tipo de obras (93%), pero cabe resaltar y aclarar, que el canal 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.

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 dos 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 para el caso específico de esta obra, la constante humedad que se presenta en general sobre la estructura, imposibilita una lectura adecuada o la detección del refuerzo, arrojando así resultados poco confiables.



**Fotografía. 104. Detección acero de refuerzo en muro del vertedero.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

#### **4.6.3 Torre de toma**

Para el caso la torre de toma se realizó dos lecturas 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 confinada efectuada sobre las demás obras de infraestructura.



**Fotografía. 105. Esclerometría en muro margen derecha canal de descarga.**  
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

Con el fin de establecer la resistencia a la compresión del concreto para esta estructura, nos apoyamos, asociando los resultados obtenidos del índice de rebote del ensayo de esclerometría con los resultados de laboratorio obtenidos sobre los núcleos extraídos en las demás obras de infraestructura analizadas en este embalse. 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 obra es de aproximadamente 33 MPa.

El valor obtenido para la resistencia a la compresión del concreto, se considera adecuado para estructuras de este tipo.

#### **4.7 Diagnóstico embalse Neusa**

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).

#### **4.7.1 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 ( $\rho$ ) = 1 N°5 c/0.10m a 0.20m (1980mm<sup>2</sup>/ml a 990mm<sup>2</sup>/ml). (Valor obtenido mediante ensayos).
  - Cuantía de refuerzo mínimo ( $\rho_{min}$ ) = 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 = 80mm (Valor obtenido mediante ensayos).
- Geometría del muro:
  - Espesor promedio = 300mm. (Valor obtenido en campo).
  - Altura promedio del muro = 2600mm. (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 = 1900mm (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: Cogua, Zipaquirá (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.

#### **4.7.1.1 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.

#### **4.7.2 Canal de descarga**

Para el caso del canal de descarga, se toma la decisión de no realizar un análisis aproximado, ya que no se posee parámetros del acero de refuerzo, el cual no pudo ser detectado en los ensayos de campo. 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 ( $f'c$ ) = 33 MPa (Valor obtenido mediante ensayos).
  - Acero de refuerzo ( $f_y$ ) = 420 MPa (Valor asumido).
  - Cuantía de refuerzo ( $\rho$ ) = 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 =  $30^\circ$  (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: Cogua, Zipaquirá (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.

#### **4.7.2.1 Resultado de los análisis 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.

#### **4.7.3 Torre de toma**

Para el caso de la torre de toma, se toma la decisión de no realizar un análisis aproximado, ya que no se posee parámetros suficientes para realizarlos, debido al limitado número de ensayos disponibles. 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 indirectos).
  - Acero de refuerzo ( $f_y$ ) = 420 MPa (Valor asumido).
  - Cuantía de refuerzo ( $\rho$ ) = 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 y relleno:
  - Angulo de fricción interna =  $30^\circ$  (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: Cogua, Zipaquirá (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 seguridad estructural adecuada.

#### **4.7.3.1 Resultado de los análisis torre de toma**

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 y durabilidad 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 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 que el estudio de vulnerabilidad sísmica tenga en cuenta las condiciones hidrodinámicas y de impacto sobre la estructura, generado por la ola más alta que se pueda producir por efecto del viento, u otro evento considerado extremo, con base en análisis hidráulicos.

## **4.8 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.

### **4.8.1 Vertedero de excesos.**

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

- Tratamiento de juntas de expansión y control.
- Tratamiento de fisuras, limpieza y retiro de material orgánico superficial del concreto.
- Tratamiento de fisuras y limpieza de eflorescencias en superficie del concreto.

### **4.8.2 Canal de descarga.**

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

- Tratamiento de juntas de expansión y control.
- Tratamiento de fisuras, limpieza y retiro de material orgánico superficial del concreto.

- Tratamiento de fisuras y limpieza de eflorescencias en superficie del concreto.

#### **4.8.3 Torre de toma.**

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

- Tratamiento del concreto por ciclos de humedecimiento y secado.

#### **4.9 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.

##### **4.9.1 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: Quinientos ochenta y dos millones trescientos setenta y uno mil ocho cientos diez pesos (\$ 582.371.810 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 10 semanas (2.5meses).

##### **4.9.2 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: Ciento tres millones ocho cientos seis mil ciento treinta pesos (\$ 103.806.130 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 5 semanas (1.25meses).

#### **4.9.3 Torre de toma.**

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 (\$ 32.907.750 COP)
- Tiempo estimado de ejecución: 5 semanas (1.25meses).