

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TRABAJO PROFESIONAL INTEGRADO “TPI-II”

**“ESTUDIO PATOLÓGICO Y DE DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA
INFRAESTRUCTURA DE LOS EMBALSES DE PROPIEDAD DE LA
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR); SISGA,
NEUSA y EL HATO”**

PROFESOR
ARQ. **WILLIAM MAURICIO BARRETO CASTILLO**

Presentado por:
ING. **JOSÉ ALFREDO LEÓN RAMÍREZ**

BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE 2020

TABLA DE CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO.....	8
1.1	Introducción.....	8
1.2	Justificación.....	8
1.3	Objetivos generales y específicos.....	9
1.3.1	Objetivo general.....	9
1.3.2	Objetivos específicos.....	9
1.4	Alcance.....	9
1.5	Componentes generales del estudio.....	9
1.6	Localización del proyecto.....	13
1.6.1	Embalse del Neusa.....	14
1.6.2	Embalse del Sisga.....	15
1.6.3	Embalse El Hato.....	16
1.7	Consideraciones normativas acerca del diagnóstico.....	17
1.7.1	Criterios de aceptación acerca del material estructural.....	17
2	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....	23
2.1	Embalse del Sisga.....	23
2.1.1	Vertedero de excesos.....	24
2.1.2	Túnel de descarga.....	25
2.2	Embalse del Neusa.....	26
2.2.1	Torre de toma.....	28
2.2.2	Portal y canal de descarga.....	28
2.2.3	Vertedero de excesos.....	30
2.3	Embalse El Hato.....	33
2.3.1	Vertedero de excesos.....	34
2.3.2	Canal de descarga.....	34
2.3.3	Túnel de descarga.....	36

2.4	Programa de actividades.....	37
2.5	Metodología del estudio	37
2.6	Programa de ensayos para diagnostico	38
2.6.1	Propuesta para el programa de ensayos.....	39
2.7	AUSCULTACIÓN Y PROGRAMA DE ENSAYOS.....	40
2.8	Consideraciones para el programa de ensayos.....	40
2.9	Tipología de ensayos del componente experimental.	40
2.9.1	Descripción de los ensayos del componente experimental.	41
3	EMBALSE DEL SISGA.....	44
3.1	Consideraciones para diagnostico	44
3.2	Antecedentes sismológicos ocurridos en la región andina.....	44
3.3	Antecedentes para diagnostico estructural Embalse Sisga.....	46
3.4	Suelos y geología.....	50
3.4.1	Amenaza Sísmica.....	51
3.4.2	Unidad geológica regional	51
3.4.3	Amenaza movimientos en masa.....	54
3.4.4	Amenaza inundación	55
3.5	Peritaje estructural obras Embalse Sisga.....	58
3.5.1	Túnel de descarga.....	58
3.5.2	Vertedero de excesos.....	66
3.6	Ensayos de material obras Embalse Sisga	80
3.6.1	Vertedero de excesos.....	81
3.6.2	Túnel de descarga.....	84
3.6.3	Casa de máquinas – Cárcamo	88
3.7	Diagnóstico embalse Sisga	91
3.7.1	Vertedero de excesos.....	91
3.7.2	Túnel de descarga.....	93
3.7.3	Casa de máquinas – Cuarto inferior	94

3.8	Propuesta de mejoramiento u optimización	97
3.8.1	Vertedero de excesos.....	97
3.8.2	Túnel de descarga.....	97
3.9	Cantidades de obra, Presupuesto general y cronograma	98
3.9.1	Vertedero de excesos.....	98
3.9.2	Túnel de descarga.....	98
4	EMBALSE DEL NEUSA.....	99
4.1	Consideraciones para diagnostico	99
4.2	Antecedentes sismológicos ocurridos en la región andina.....	99
4.3	Antecedentes para diagnostico estructural Embalse Neusa	101
4.4	Suelos y geología.....	103
4.4.1	Amenaza Sísmica.....	103
4.4.2	Unidad geológica regional	104
4.4.3	Amenaza movimientos en masa.....	106
4.4.4	Amenaza inundación	107
4.5	Peritaje estructural obras Embalse Neusa	110
4.5.1	Torre de toma	111
4.5.2	Portal y canal de descarga	116
4.5.3	Vertedero de excesos.....	122
4.6	Ensayos de material obras Embalse Neusa.....	135
4.6.1	Vertedero de excesos.....	135
4.6.2	Canal válvula de descarga	139
4.6.3	Torre de toma	142
4.7	Diagnóstico embalse Neusa.....	143
4.7.1	Vertedero de excesos.....	144
4.7.2	Canal de descarga.....	146
4.7.3	Torre de toma	147
4.8	Propuesta de mejoramiento u optimización	149

4.8.1	Vertedero de excesos.....	149
4.8.2	Canal de descarga.....	149
4.8.3	Torre de toma.....	150
4.9	Cantidades de obra, Presupuesto general y cronograma.....	150
4.9.1	Vertedero de excesos.....	150
4.9.2	Canal de descarga.....	150
4.9.3	Torre de toma.....	151
5	EMBALSE EL HATO.....	152
5.1	Consideraciones para diagnostico.....	152
5.2	Antecedentes sismológicos ocurridos en la región andina.....	152
5.3	Antecedentes para diagnostico estructural Embalse El Hato.....	154
5.4	Suelos y geología.....	157
5.4.1	Amenaza Sísmica.....	157
5.4.2	Unidad geológica regional.....	158
5.4.3	Amenaza movimientos en masa.....	161
5.4.4	Amenaza inundación.....	162
5.5	Peritaje estructural obras Embalse El Hato.....	166
5.5.1	Túnel de descarga.....	166
5.5.2	Canal de descarga.....	174
5.5.3	Vertedero de excesos.....	178
5.6	Ensayos de material obras Embalse El Hato.....	185
5.6.1	Vertedero de excesos.....	186
5.6.2	Túnel de descarga.....	190
5.6.3	Casa de máquinas.....	194
5.7	Diagnóstico embalse El Hato.....	196
5.7.1	Vertedero de excesos.....	197
5.7.2	Túnel de descarga.....	199
5.7.3	Casa de máquinas.....	201

5.8	Propuesta de mejoramiento u optimización	204
5.8.1	Vertedero de excesos.....	204
5.8.2	Túnel de descarga.....	204
5.8.3	Canal de descarga.....	204
5.9	Cantidades de obra, Presupuesto general y cronograma	205
5.9.1	Vertedero de excesos.....	205
5.9.2	Túnel de descarga	205
5.9.3	Canal de descarga.....	206
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	207
7	BIBLIOGRAFÍA.....	208
8	ANEXOS.....	210
8.1	ANEXO 01 – PLANOS DE LOCALIZACIÓN.....	210
8.2	ANEXO 02 – FICHAS DE LESIONES.....	211
8.3	ANEXO 03 – PLANOS DE MAPEO DE LESIONES.....	212
8.4	ANEXO 04 – PLANOS DE LEVANTAMIENTO DE OBRAS.....	213
8.5	ANEXO 05 – CUADRO RESUMEN DE DIAGNOSTICO	214
8.6	ANEXO 06 – PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE ENSAYOS.....	215
8.7	ANEXO 07 – RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO	216
8.8	ANEXO 08 – MODELACION ESTRUCTURAL	217
8.9	ANEXO 09 – FICHAS DE VULNERABILIDAD.....	218
8.10	ANEXO 10 – ESPECIFICACIONES DE REPARACIÓN DE LESIONES.....	219
8.11	ANEXO 11 – FICHAS DE MANTENIMIENTO	220

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización General.....	13
Ilustración 2. Localización Embalse del Neusa	14
Ilustración 3. Localización Embalse del Sisga.....	15

Ilustración 4. Localización Embalse El Hato.....	16
Ilustración 5. Planta general de obras Embalse del Sisga.	23
Ilustración 6. Planta general de obras Embalse del Neusa.....	27
Ilustración 7. Planta general de obras Embalse El Hato.	33

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías y clases de exposición (C.23-C.4.2.1-NSR-10).....	19
Tabla 2. Requisitos para el concreto según exposición (C.23-C.4.3.1-NSR-10).....	20
Tabla 3. Programa de ensayos propuesto.	39
Tabla 4. Programa de ensayos ejecutado.....	41
Tabla 5. Programa de ensayos Embalse Sisga.....	80
Tabla 6. Programa de ensayos Embalse Neusa.	135
Tabla 7. Programa de ensayos Embalse El Hato.....	186

1 PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

1.1 Introducción

El presente documento contiene el informe del estudio patológico llevado a cabo sobre las obras de infraestructura de tres embalses a cargo de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el cual tiene por objeto realizar el “DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE LOS EMBALSES DE PROPIEDAD DE LA CORPORACION; SISGA, NEUSA Y EL HATO, PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS Y ACCIONES NECESARIAS PARA SU OPTIMIZACION, Y ELABORACION DEL PRESUPUESTO CORRESPONDIENTE.

Cabe anotar que, para el desarrollo del presente trabajo, con fines académicos, se ha autorizado por parte del Consorcio Embalses CAR, el uso de la información y resultados arrojados durante el desarrollo del contrato N° 05 de 2019, firmado entre el Consorcio Embalses CAR y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) que tiene por objeto “*DIAGNOSTICO INTEGRAL DEL ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA DE LOS EMBALSES DE PROPIEDAD DE LA CORPORACIÓN; SISGA, NEUSA Y EL HATO, PLANTEAMIENTO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y DEFINICIÓN DE LAS OBRAS Y ACCIONES NECESARIAS PARA SU OPTIMIZACIÓN, Y ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO CORRESPONDIENTE*”, del cual el Ingeniero José Alfredo León Ramírez hace parte del grupo de especialistas por parte del contratista.

Se anota también que se exonera al consorcio, como a la entidad, del uso no adecuado de la información suministrada, y que la misma será tratada únicamente con fines académicos y no tendrán injerencia en los resultados y conclusiones del contrato. Por lo tanto, se exonerará al Consorcio Embalses CAR y a la Corporación de los resultados, conclusiones y recomendaciones que se emitan en el presente Trabajo final, para la asignatura de Trabajo Profesional Integrado (TPI-I), en el marco de la especialización en patología de la construcción de la Universidad Santo Tomas.

1.2 Justificación

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) tiene la responsabilidad de proteger el medio ambiente de un territorio con un área de 18.712.4 km², que equivale a 1.871.240 hectáreas, donde se encuentran 104 municipios: 98 pertenecientes al departamento de Cundinamarca, 6 al departamento de Boyacá y la zona rural de Bogotá D.C., y le corresponde ejecutar las políticas establecidas por el gobierno nacional en materia ambiental; planificar y ejecutar proyectos de preservación, descontaminación o recuperación de los recursos naturales renovables afectados; y velar por el uso y aprovechamiento adecuado de los recursos naturales y el medio ambiente dentro del

territorio de su jurisdicción, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y contribuir al desarrollo sostenible y armónico de la región.

En desarrollo de los programas y proyectos contemplados en el plan de acción, plan de gestión ambiental regional 2012 – 2023 y en cumplimiento de los objetivos propios de su actividad, se lleva a cabo el objeto del presente estudio “DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE LOS EMBALSES DE PROPIEDAD DE LA CORPORACION; SISGA, NEUSA y EL HATO”.

1.3 Objetivos generales y específicos

1.3.1 Objetivo general

Efectuar el diagnóstico del estado actual de las obras de infraestructura de los embalses Sisga, Neusa y El Hato, a partir de un estudio patológico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la información obtenida durante las visitas de campo.
- Identificar las lesiones que afectan las obras de infraestructura, objeto del presente diagnóstico.
- Establecer las soluciones para cada una de las lesiones y patología halladas.

1.4 Alcance

El presente estudio, permitirá dar a conocer el diagnóstico y estado actual de las estructuras de concreto reforzado que conforman la infraestructura de los tres embalses, Sisga, Neusa y El Hato, y determinar las acciones u obras a realizar con el fin de garantizar el cumplimiento de las normas de diseño y construcción vigentes a nivel nacional para este tipo de estructuras.

1.5 Componentes generales del estudio

Capítulo 1. Presentación del estudio.

Introducción – En este aparte se comenta el propósito del estudio a partir del planteamiento de uno de los objetivos para la solución del problema planteado. Se divide en los siguientes numerales:

- Introducción.
- Justificación.
- Objetivos.
- Alcance.

- Marco referencial: En este numeral del documento, se presenta una serie de antecedentes referenciales, documentales, históricos y de localización general del proyecto, también se presenta el marco normativo sobre el cual se desarrolla el estudio, alcances y limitaciones del estudio.

Capítulo 2. Metodología del estudio.

- Inventario de las obras de infraestructura – En este aparte, y con base en la información recopilada en campo, se enumera cada una de las obras de infraestructura a diagnosticar en cada embalse.
- Metodología – En este numeral se exponen el programa de actividades a adelantar, y se describe la metodología a seguir para efectuar el diagnóstico de las obras de infraestructura.
- Programa de ensayos - En este aparte, se enumeran el tipo y cantidad de ensayos a ejecutar, para cada una de las obras de infraestructura de cada embalse.

Capítulo 3 – Embalse del Sisga.

- Antecedentes – En este numeral del documento, se presenta una serie de antecedentes referenciales, documentales, históricos e información existente acerca del embalse.
- Peritaje e inspección visual –En este aparte, se enumeran y describen detalladamente cada una de las obras de infraestructura del embalse objeto del diagnóstico.
- Suelos y geología – En este numeral se hace una descripción general de la geología del sitio del embalse, ubicación y determinación de la amenaza sísmica del sector.
- Historia clínica – En este subcapítulo, se presentan los datos específicos de las lesiones halladas en cada una de las obras de infraestructura, descripción de las patologías, posibles causas, datos generales del entorno, calificación cualitativa del estado de cada obra de infraestructura.
- Diagnóstico – En este subcapítulo, se presentan el resumen de las lesiones halladas en cada obra de infraestructura de cada embalse, determinación de las causas de las lesiones o lesión más representativa dentro de la obra.
- Propuesta de intervención – A partir de las causas establecidas en el proceso de diagnóstico, se plantea la propuesta de intervención más adecuada para atender las lesiones para cada obra de infraestructura.
- Cantidades de obra, presupuesto y cronograma de actividades – A partir del diagnóstico y propuesta de intervención, se cuantifica las cantidades de obra aproximada y actividades, con el fin de corregir las lesiones más relevantes en

cada una de las obras de infraestructura. Se incluye un cronograma de actividades.

Capítulo 4 – Embalse del Neusa.

- Antecedentes – En este numeral del documento, se presenta una serie de antecedentes referenciales, documentales, históricos e información existente acerca del embalse.
- Peritaje e inspección visual –En este aparte, se enumeran y describen detalladamente cada una de las obras de infraestructura del embalse objeto del diagnóstico.
- Suelos y geología – En este numeral se hace una descripción general de la geología del sitio del embalse, ubicación y determinación de la amenaza sísmica del sector.
- Historia clínica – En este subcapítulo, se presentan los datos específicos de las lesiones halladas en cada una de las obras de infraestructura, descripción de las patologías, posibles causas, datos generales del entorno, calificación cualitativa del estado de cada obra de infraestructura.
- Diagnóstico – En este subcapítulo, se presentan el resumen de las lesiones halladas en cada obra de infraestructura de cada embalse, determinación de las causas de las lesiones o lesión más representativa dentro de la obra.
- Propuesta de intervención – A partir de las causas establecidas en el proceso de diagnóstico, se plantea la propuesta de intervención más adecuada para atender las lesiones para cada obra de infraestructura.
- Cantidades de obra, presupuesto y cronograma de actividades – A partir del diagnóstico y propuesta de intervención, se cuantifica las cantidades de obra aproximada y actividades, con el fin de corregir las lesiones más relevantes en cada una de las obras de infraestructura. Se incluye un cronograma de actividades.

Capítulo 5 – Embalse El Hato.

- Antecedentes – En este numeral del documento, se presenta una serie de antecedentes referenciales, documentales, históricos e información existente acerca del embalse.
- Peritaje e inspección visual –En este aparte, se enumeran y describen detalladamente cada una de las obras de infraestructura del embalse objeto del diagnóstico.
- Suelos y geología – En este numeral se hace una descripción general de la geología del sitio del embalse, ubicación y determinación de la amenaza sísmica del sector.

- Historia clínica – En este subcapítulo, se presentan los datos específicos de las lesiones halladas en cada una de las obras de infraestructura, descripción de las patologías, posibles causas, datos generales del entorno, calificación cualitativa del estado de cada obra de infraestructura.
- Diagnóstico – En este subcapítulo, se presentan el resumen de las lesiones halladas en cada obra de infraestructura de cada embalse, determinación de las causas de las lesiones o lesión más representativa dentro de la obra.
- Propuesta de intervención – A partir de las causas establecidas en el proceso de diagnóstico, se plantea la propuesta de intervención más adecuada para atender las lesiones para cada obra de infraestructura.
- Cantidades de obra, presupuesto y cronograma de actividades – A partir del diagnóstico y propuesta de intervención, se cuantifica las cantidades de obra aproximada y actividades, con el fin de corregir las lesiones más relevantes en cada una de las obras de infraestructura. Se incluye un cronograma de actividades.

Capítulo 6 – Conclusiones y recomendaciones.

1.6 Localización del proyecto.

Las cuencas hidrográficas de los embalses del Sisga, Neusa y el Hato forman parte de la hoya hidrográfica del río Bogotá, y se ubican en la Cordillera Oriental (Ver Ilustración 1).

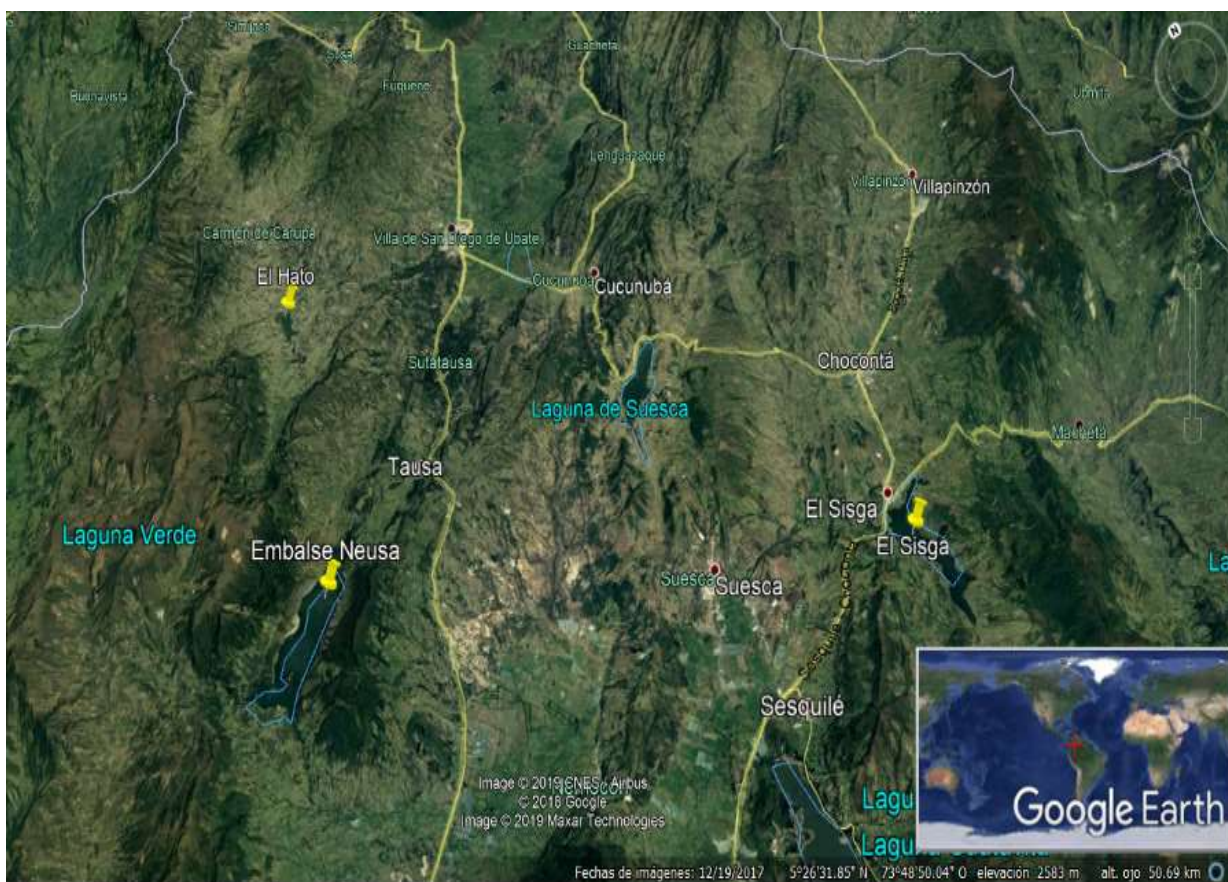


Ilustración 1. Localización General.

Fuente: Google earth

1.6.1 Embalse del Neusa

El embalse del Neusa se encuentra localizado en el municipio de Tausa (departamento de Cundinamarca), aproximadamente a 25 kilómetros del municipio de Zipaquirá, a una distancia próxima de 9 km desde la carretera principal Zipaquirá-Ubaté (Ver Ilustración 2). El embalse se encuentra en las siguientes en las coordenadas 05°09' N y 73°59' E.

Por tratarse de un paraje de reserva natural regional, es una zona de bosque andino con plantaciones forestales de pino, eucalipto y bosque nativo, por lo tanto, no existen condiciones de contaminación agresivos. La temperatura promedio se encuentra entre 10°C y 23°C, considerando los meses secos entre diciembre y enero, y los más lluviosos en los periodos de abril a junio y octubre a noviembre.

En el ANEXO 01 “Planos de localización”, se presenta la ubicación general del embalse, a partir de levantamiento topográfico.

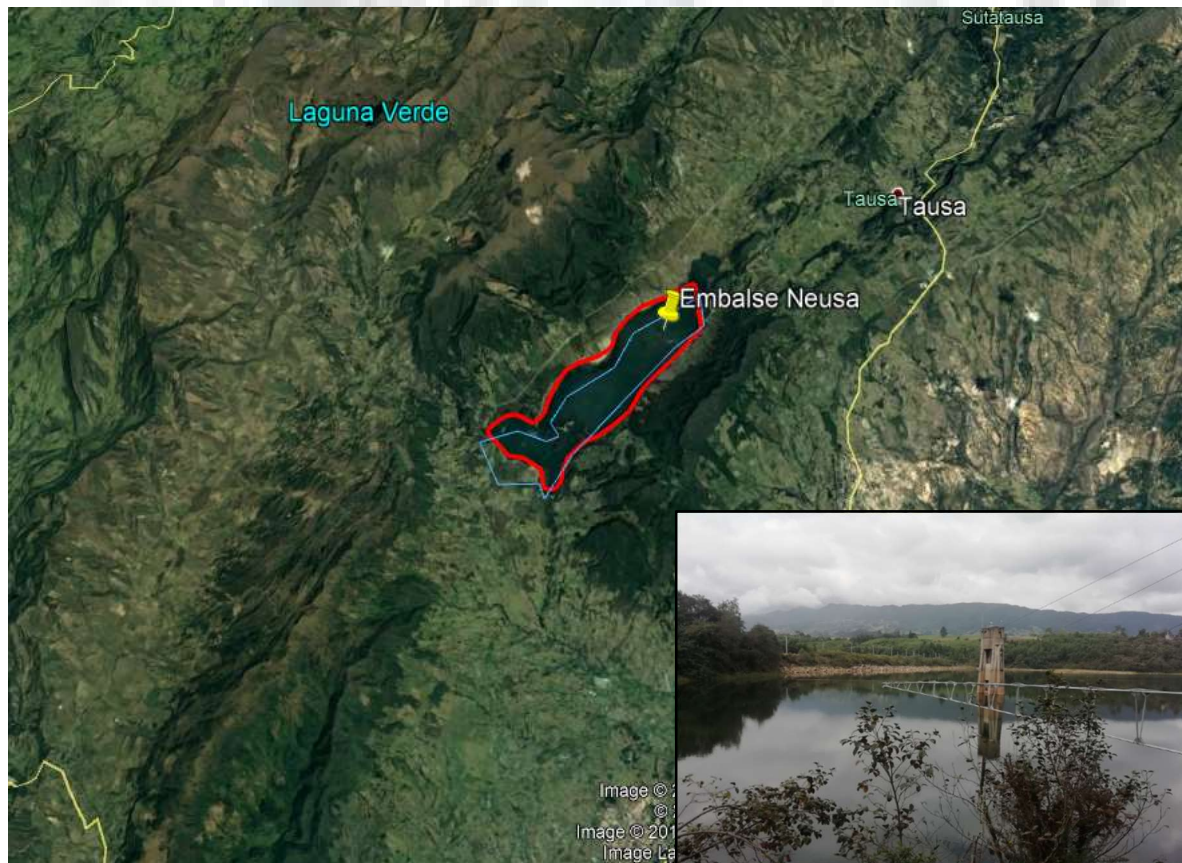


Ilustración 2. Localización Embalse del Neusa
Fuente: Google earth

1.6.2 Embalse del Sisga:

El embalse del Sisga se encuentra localizado en el Municipio de Chocontá, sobre la carretera principal que conduce de Bogotá a Tunja, a la altura del kilómetro 55 (Ver Ilustración 3). El embalse se encuentra en las siguientes en las coordenadas 05°04' N y 73°44'E.

Por tratarse de un paraje de reserva natural regional, es una zona de bosque alto andino con plantaciones forestales de pino, cipres y pino pátula; existe la presencia de frailejones, por lo tanto, no existen condiciones de contaminación agresivos. La temperatura promedio se encuentra entre 15°C, considerando los meses secos entre diciembre y enero, y los más lluviosos en los periodos de abril a junio y octubre a noviembre.

En el ANEXO 01 "Planos de localización", se presenta la ubicación general del embalse, a partir de levantamiento topográfico.



Ilustración 3. Localización Embalse del Sisga.

Fuente: Google earth.

1.6.3 Embalse El Hato

El embalse de El Hato se encuentra localizado en el Municipio de Carmen de Carupa, al que se llega tomando la carretera que conduce de Ubaté hacia el Municipio de Carmen de Carupa, tomando una desviación para acceder al embalse (Ver Ilustración 4). El embalse se encuentra en las siguientes en las coordenadas 05°18' N y 73°54' E.

Por tratarse de un paraje de reserva natural regional, es una zona con vegetación nativa y algunas plantaciones de eucalipto, por lo tanto, no existen condiciones de contaminación agresivos. La temperatura promedio se encuentra entre 13°C.

En el ANEXO 01 "Planos de localización", se presenta la ubicación general del embalse, a partir de levantamiento topográfico.



Ilustración 4. Localización Embalse El Hato.

Fuente: Google earth.

1.7 Consideraciones normativas acerca del diagnóstico.

Con base en la normativa de diseño y construcción vigente en nuestro país, para el presente diagnóstico se tendrá en cuenta los requerimientos mínimos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

En caso de requerirse, y que no exista un parámetro para la definición de alguna de las variables o métodos de evaluación que se encuentra consignada o referida en la NSR-10, se procederá a tomarla del documento AIS 180-13 “Recomendaciones para requisitos sísmicos de estructuras diferentes de edificaciones”, de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD -CCP14, o de la literatura técnica a este respecto, la cual será debidamente sustentada.

La evaluación y valoración estructural que se llevará a cabo durante el presente diagnóstico, será a partir de los requisitos del capítulo C.23 de la NSR-10, el cual está basado en el documento “Code requirements for environmental engineering concrete structures and commentary (ACI 350-06), del American Concrete Institute (ACI) y cubre el diseño estructural, la selección de los materiales y la construcción de tanques y compartimentos estancos tales como piscinas, albercas de concreto y además es aplicable a todas las estructuras auxiliares de presas, vertederos y canales.

1.7.1 Criterios de aceptación acerca del material estructural.

La calidad en el diseño, los materiales y la construcción de estructuras de concreto de ingeniería ambiental, como lo son las obras de infraestructura objetos del presente contrato, requieren un concreto denso, durable, lo más impermeable posible y resistente al ataque de agentes externos, con deflexiones y agrietamiento bajo. Las filtraciones se deben controlar para minimizar la contaminación del medio ambiente y para mejorar la durabilidad.

En general para las obras de ingeniería ambiental, el propósito de los requisitos de diseño y construcción mencionados anteriormente, además de cumplir con el objetivo de seguridad estructural, debe satisfacer las siguientes condiciones:

- Cuente con un diseño tal que controle el agrietamiento y la fisuración para impedir el flujo de líquidos entre el interior hacia el exterior o viceversa,
- Sea lo suficientemente denso e impermeable para impedir la contaminación de los líquidos contenidos o que estos no contaminen,
- Provea la máxima resistencia a los elementos químicos y ambientales, y
- Tenga superficies poco rugosas que minimicen la resistencia del flujo y permitan cumplir los objetivos de sanidad.

Debe tenerse especial cuidado, con el fin de evitar la corrosión del acero de refuerzo y obtener un concreto denso y lo más impermeable posible, lo cual se encuentra asociado directamente con la DURABILIDAD.

Con base en los requisitos por durabilidad establecidos en las normas vigentes para este tipo de estructuras, la NSR-10, especifica que la resistencia mínima a la compresión del concreto no sea menor a 28MPa (C.23-C1.1.2).

Respecto a las categorías y clases de exposición a que hace referencia la NSR-10, podemos definir como parámetro de aceptación que la calidad y resistencia mínima a la compresión del concreto, sea la que se establece en el numeral C.23-C1.1.2, 28 MPa.

A continuación, se exponen los criterios de calidad del material, conforme al grado de exposición del material, y el requisito para la calidad del concreto según el grado de exposición.



Tabla 1. Categorías y clases de exposición (C.23-C.4.2.1-NSR-10)

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO₄) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO₄) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	SO ₄ < 0.10	SO ₄ < 150
	Moderada	S1	0.10 < SO ₄ < 0.20	150 < SO ₄ < 1500
	Severa	S2	0.20 ≤ SO ₄ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	
Q Exposición a químicos corrosivos	No aplicable	Q0	Concreto que no está expuesto a químicos corrosivos	
	Severa	Q1	Concreto expuesto a químicos corrosivos diferentes de descongelantes	

Fuente: Reglamento de diseño y construcción sismo resistente (NSR-10).

Tabla 2. Requisitos para el concreto según exposición (C.23-C.4.3.1-NSR-10)

Clase de Exposición	Rel. a/mc máx.±	f'c min. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Limites en los cementantes
F3	0.42	31	Tabla C.4.4.1			Tabla C.4.4.2
			Tipos de material cementante*			Aditivo cloruro de calcio
			ASTM C 150	ASTM C 595	ASTM C 1157	
S0	0.45	28	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.42	31	II [†]	IP(MS), IS(<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.40	35	V [‡]	IP(HS), IS(<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.40	35	V puzolanas o escoria [§]	IP(HS) y puzolanas o escoria [§] o IS(<70) (HS) y puzolanas o escoria [§]	HS y puzolanas o escoria [§]	No se permite
P1	0.45	28	Ninguna			
Q1	0.42	31	Ninguna			

Fuente: Reglamento de diseño y construcción sísmo resistente (NSR-10).

Con base en la información obtenida en campo, documentos y demás que intuitivamente se pueden considerar, se establece que, para las obras de infraestructura de cada uno de los embalses, las condiciones de exposición son similares, y con base a los criterios definidos en la tabla C.23-C.4.2.1 de la NSR-10, se puede definir los siguientes parámetros:

- Categoría de exposición F (ciclos de congelamiento deshielo), con severidad severa, se asigna como clase de exposición **F2**.
- Categoría de exposición S (exposición a sulfatos), con severidad No aplicable, se asigna como clase de exposición **S0**.

- Categoría de exposición P (Requisitos de permeabilidad), para este tipo de obras es requerida, se asigna como clase de exposición **P1**.
- Categoría de exposición Q (exposición a químicos corrosivos), con severidad No aplicable, se asigna como clase de exposición **Q0**.

Por lo anterior, y con base en los requisitos para la calidad del concreto, expuestas en la tabla C.23-C.4.3.1 de la NSR-10, el grado de clase y exposición más exigente es **P1**, la cual demanda la mayor calidad y resistencia mínima a la compresión del concreto de las evaluadas para las condiciones de exposición a que se pueden ver expuestas las obras de infraestructura de cada uno de los embalses, por lo tanto, la resistencia mínima a la compresión del concreto para este tipo de obras será ($f'c=28\text{MPa}$). Este será el parámetro mínimo para evaluar la calidad del concreto hallado en las obras de infraestructura existentes.

Respecto a la protección del concreto para el refuerzo, las normas vigentes especifican unos valores de recubrimiento mínimos de concreto. Dicho esto, en el capítulo C.7.7 de la NSR-10, se recomiendan los siguientes recubrimientos en mm, según la clase de exposición:

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él, 75mm.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:
 - Barras N°6 a N°10, 50mm.
 - Barras N°5 o menores, 40mm.

En general estos son los dos posibles casos de exposición en las que se pueden agrupar las obras de infraestructura del presente proyecto, por lo tanto, se puede adoptar como criterio de aceptación, que los recubrimientos encontrados en el sitio, tengan valores de recubrimiento iguales o superiores a 50mm, en promedio, para los casos del concreto expuesto a la intemperie.

Para el caso de las estructuras en contacto permanente con el agua, la tabla C.23-C.7.7.1 de la NSR-10, establece como valor de recubrimiento mínimo 50mm, para concretos construidos "in situ", por lo tanto, el criterio de aceptación de recubrimiento con valores iguales o superiores a 50mm es adecuado.

Respecto al acero de refuerzo, según la normatividad vigente (NSR-10 capítulo C.3.5), exige que este debe ser conformado por barras de refuerzo corrugado. El refuerzo liso solo podrá utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de repartición y temperatura.

Actualmente en el territorio colombiano, solo se permite acero corrugado fabricado la norma NTC 2289, esta cubre las barras corrugadas de acero de baja aleación, destinadas a aplicaciones donde se requieren propiedades controladas de tracción, de soldabilidad,

o de ambas. La norma exige que dichas barras sean marcadas con la letra W para definir el tipo de acero.

No se permite el uso de barras corrugadas fabricadas bajo la norma NTC 248, estas barras generalmente están marcadas con una letra S para definir el tipo de acero.

En general la resistencia a la fluencia de los aceros para el refuerzo del concreto es de $f_y=420$ MPa.



2 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

A partir de las actividades llevadas a cabo durante la visita efectuada a cada uno de los embalses objeto del presente diagnóstico, se presenta el inventario de las obras de infraestructura, sujetas al estudio patológico y de diagnóstico.

2.1 Embalse del Sisga

A partir de la visita técnica de reconocimiento mencionada en el numeral anterior, y con base en la recopilación de información existente, se definieron en campo las obras de infraestructura, las cuales serán objeto al estudio patológico y de diagnóstico, con el fin de constatar su estado actual.

En la siguiente ilustración se puede observar la planta general de la presa del embalse del Sisga, en donde se encuentran ubicadas las obras de infraestructura que hacen parte del presente inventario de diagnóstico.



Ilustración 5. Planta general de obras Embalse del Sisga.

Fuente: Google Maps 2019.

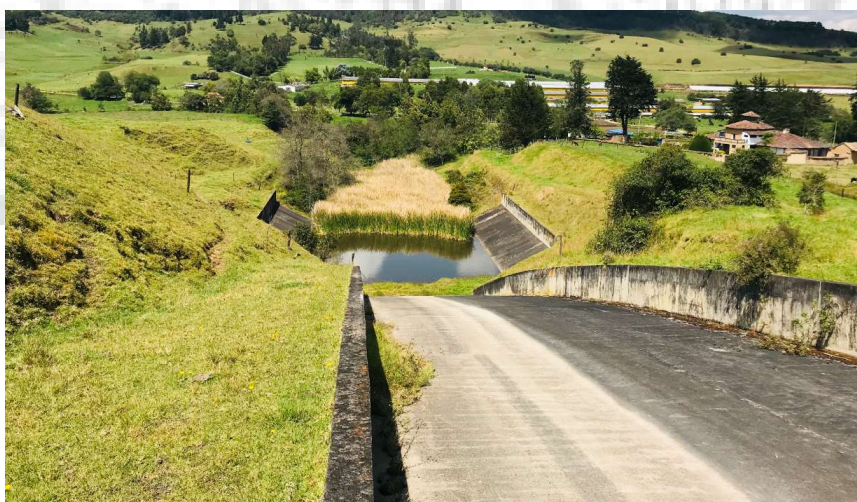
A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las obras ubicadas anteriormente.

2.1.1 Vertedero de excesos

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto, por el cual se produce la descarga del embalse en el caso de que este supere su cota máxima de inundación. Este canal posee una longitud aproximada de 650m en proyección horizontal. Al inicio de dicha estructura se ubica un azud, y al final del mismo se encuentra un tanque de amortiguamiento, con el fin de disipar la energía del fluido y hacer la entrega respectiva. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 1. Vertedero de excesos, aguas arriba (Azud).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 2. Vertedero de excesos, aguas abajo (Tanque de descarga).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

2.1.2 Túnel de descarga

Es una estructura horizontal en concreto embebida en la presa, por la cual se proyecta en su longitud un tubo en acero por el cual se produce la descarga del embalse. Este túnel posee una longitud aproximada de 190m en proyección horizontal. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 3. Túnel de descarga (Portal de salida).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 4. Túnel de descarga (Interior).

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En resumen, las obras de infraestructura del embalse que son parte del estudio son:

- Vertedero de excesos.
- Túnel de descarga.

2.2 Embalse del Neusa

A partir de la visita técnica de reconocimiento mencionada en el numeral anterior, y con base en la recopilación de información existente, se definieron en campo las obras de infraestructura, las cuales serán objeto al estudio patológico y de diagnóstico, con el fin de constatar su estado actual.

En la siguiente ilustración se puede observar la planta general de la presa del embalse del Neusa, en donde se encuentran ubicadas las obras de infraestructura que hacen parte del presente inventario de diagnóstico.

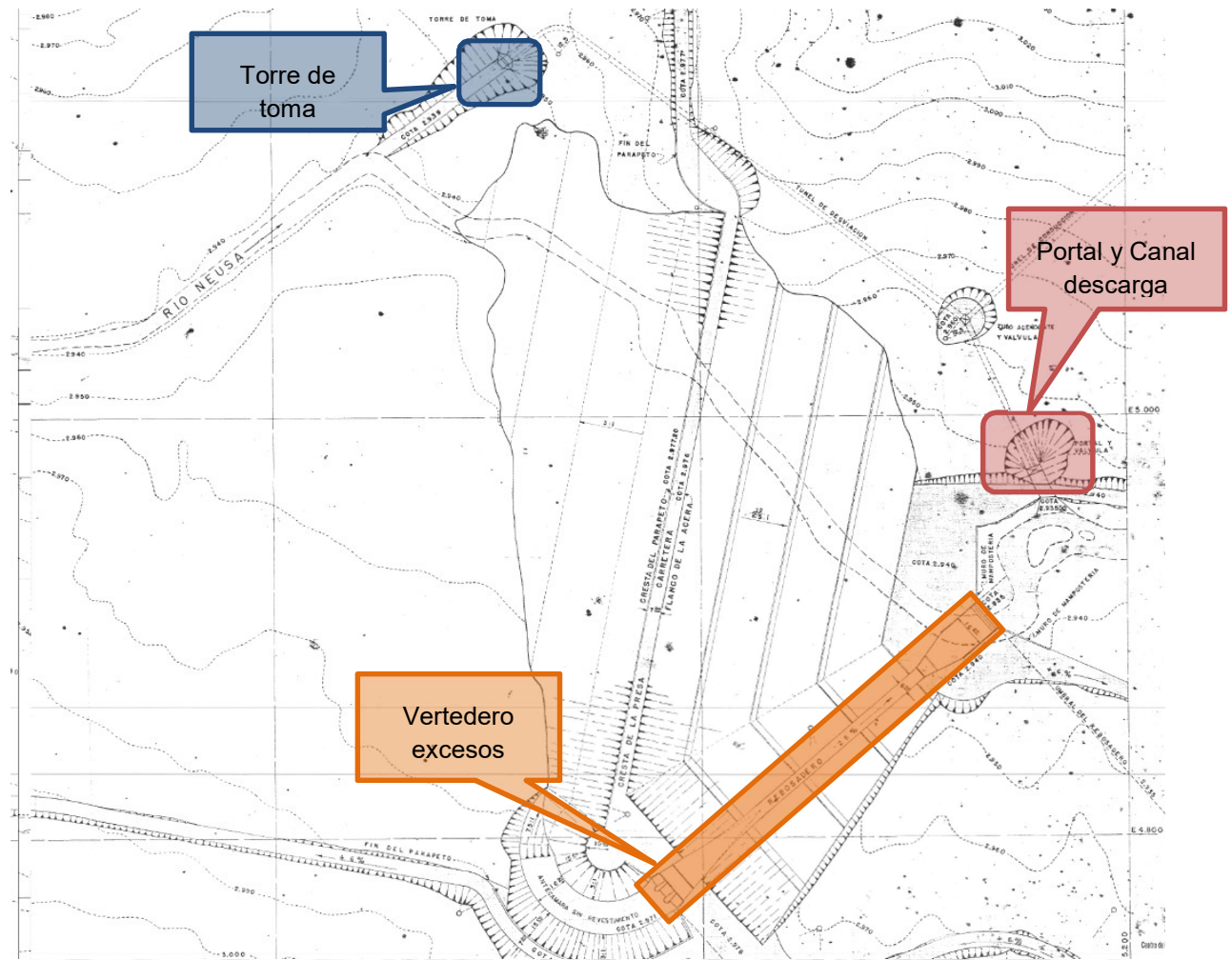


Ilustración 6. Planta general de obras Embalse del Neusa.
Fuente: Centro de documentación ambiental CAR.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las obras definidas anteriormente.

2.2.1 Torre de toma

Es una estructura vertical en concreto, en la cual se ubica la compuerta de apertura y cierre del embalse, además se encuentran ubicados, en su parte superior, una serie de equipos y sensores de control, medición y verificación de los niveles del espejo de agua, por parte de la Corporación y empresas de servicios públicos. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 5. Torre de toma.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

2.2.2 Portal y canal de descarga

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto, en cuya trayectoria se proyecta un tubo en acero, a través del cual se produce la descarga del embalse. En la parte final y superior del canal, se ubica una caseta donde se alojan los controles del mando de los equipos de descarga. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 6. Canal de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 7. Canal tubo descarga (interior).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

2.2.3 Vertedero de excesos

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto, por el cual se produce la descarga de excesos del embalse en el caso de que este supere su cota máxima de inundación. Este canal posee una longitud aproximada de 200m en proyección horizontal. Al inicio de dicha estructura se ubica un sistema de compuertas de retención y salida de agua, y al final se encuentran dispositivos en concreto, con el fin de disipar y controlar la energía del fluido para hacer la entrega respectiva al tanque de amortiguamiento. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 8. Canal y vertedero de excesos.

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 9. Vertedero de excesos, vista aguas abajo.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 10. Vista del vertedero de excesos, aguas arriba.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En resumen, las obras de infraestructura del embalse que son parte del estudio son:

- Torre de toma.
- Portal y canal de descarga.
- Vertedero de excesos.



2.3.1 Vertedero de excesos

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto, por el cual se produce la descarga del embalse en el caso de que este supere su cota máxima de inundación. Este canal posee una longitud aproximada de 130m en proyección horizontal. Al inicio de dicha estructura se ubica el vertedero de excesos en sí, y al final se ubica el tanque de amortiguación, el canal presenta escalonamientos en su trayectoria, con el fin de disipar la energía del fluido y hacer la entrega respectiva. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 11. Vertedero de excesos.

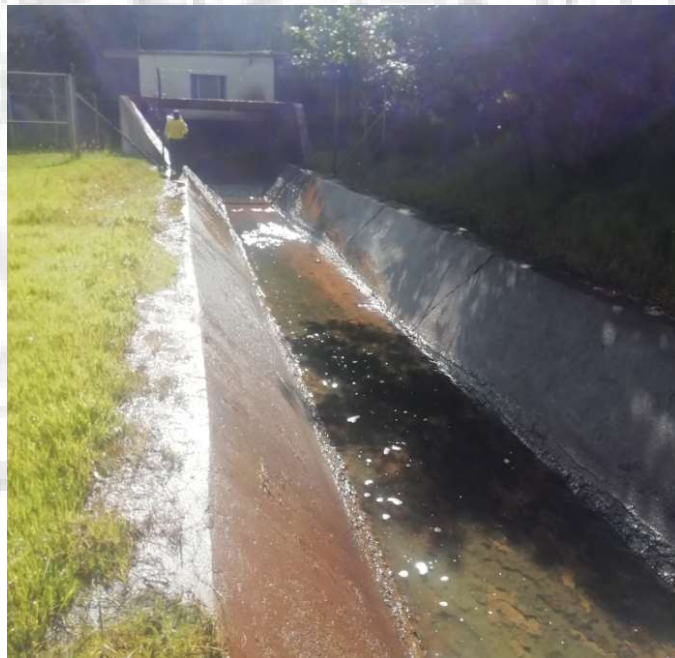
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

2.3.2 Canal de descarga

Es una estructura horizontal en concreto tipo canal abierto de sección trapezoidal, el cual sirve de conducción del agua proveniente del tubo de descarga hacia la entrega del cauce. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 12. Canal de descarga.
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.



Fotografía. 13. Canal de descarga (interior).
Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

2.3.3 Túnel de descarga

Es una estructura horizontal en concreto embebida en la presa del embalse, por la cual se proyecta en su longitud un tubo en acero, desde el cual se produce la descarga del embalse. Este túnel posee una longitud aproximada de 70m en proyección horizontal. A continuación, se presentan fotografías tomadas en el sitio para su ilustración.



Fotografía. 14. Túnel de descarga (interior).

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

En resumen, las obras de infraestructura del embalse que son parte del estudio son:

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

2.4 Programa de actividades

A partir de la definición de las obras de infraestructura de cada embalse, las cuales están sujetas al estudio de diagnóstico, se presenta a continuación la metodología y programa de actividades, con el fin de determinar el estado actual de las obras y definir el programa de ensayos patológicos y de diagnóstico. La etapa de diagnóstico se llevará a cabo, siguiendo estos tres hitos:

1. Etapa de inspección visual y levantamiento de daños sobre cada estructura: Esta etapa se conoce también como peritaje estructural, y es la calificación a modo cualitativo que se le otorga a la estructura, con base en su estado.
2. Etapa de ensayos: Conforme al estado de la estructura y a la propuesta del programa de ensayos, se asigna la cantidad y ubicación de los mismos, con el fin de poder determinar la calidad y cantidad de los materiales constitutivos de las obras de infraestructura de cada embalse. Debido a la cantidad limitada de ensayos propuestos, estos se distribuirán con base en la calidad de la estructura, su importancia y relevancia dentro de la operación de cada embalse. De esta manera se espera tener un rango suficiente de datos para inferir el estado y calidad global de la obra en cuestión.
3. Etapa de diagnóstico: En esta etapa, con base en la información recolectada entre la etapa 1 y 2, se realizará un análisis entre el mapeo de daños, comportamiento de la estructura y definición general de la calidad y cantidad de los materiales constitutivos de la misma, que conduzca a obtener un diagnóstico general de la obra. En los casos que sea posible, se realizará un análisis de capacidad y seguridad estructural, contrastándola con los requerimientos para una estructura de este tipo, bajo la luz de las normas de diseño y construcción vigente en el país.

2.5 Metodología del estudio

Para el estudio de diagnóstico de estructuras de concreto reforzado, se procederá a efectuar las siguientes actividades:

- 1 Análisis de la información existente e insumos para adelantar el estudio de diagnóstico de las estructuras: Para este caso la información e insumos mínimos requeridos será, el levantamiento topográfico detallado de las estructuras tales como canales de descarga, túneles de descarga, canales de vertedero de excesos, etc. Esta información debe contar con planimetría y altimetría. Definición de parámetros geotécnicos y sísmicos del sector.
- 2 Inspección visual y levantamiento de las lesiones que afectan las obras de infraestructura de cada embalse.

- 3 Ensayos a los materiales estructurales que conforman cada una de las estructuras en concreto reforzado que componen la infraestructura a diagnosticar, previamente definida. El programa de ensayos a llevarse a cabo se pueden definir en dos clases, los primeros son ensayos destructivos, los cuales son pruebas en los que se requiere la extracción de muestras de material estructural (probetas) y se ensayan en un laboratorio de materiales debidamente acreditado y certificado; los segundos tipos de ensayos son denominados NO destructivos, los cuales son realizados con equipos especializados y con los cuales se puede determinar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales estructurales “in situ”.
- 4 Modelación matemática de la estructura en condiciones actuales, con lo cual se verificará que la misma cumple con las condiciones mínimas de comportamiento y deformaciones requeridos por las normas de diseño y construcción sismo resistente para este tipo de estructuras. En el caso de que sea esto posible.
- 5 Planteamiento y propuesta de intervención, en caso de que sea necesario.

Con las anteriores actividades se procederá a realizar un estudio de diagnóstico estructural, tal y como lo establece el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, que rige en el país desde el 15 de diciembre de 2010.

2.6 Programa de ensayos para diagnostico

Para adelantar el estudio de diagnóstico de estructuras de concreto reforzado, se ha establecido un número y tipos de ensayos, estos se pueden clasificar en dos modalidades, ensayos destructivos y ensayos NO destructivos. Para este caso la Corporación estableció dichos parámetros, por lo tanto, se ejecuta el plan de ensayos por ellos propuesto.

Para el presente estudio se definió dos tipos de ensayos para determinar la calidad y resistencia del concreto, el primero es la extracción y ensayo de núcleos de concreto, este ensayo se cataloga como una prueba destructiva, y el segundo ensayo propuesto es el ensayo de esclerometría, esta prueba se cataloga como no destructiva, y permite inferir la calidad y homogeneidad del concreto de la obra, sin necesidad de obtener una muestra o probeta propiamente dicha.

Para determinar la cantidad de acero de refuerzo que contiene las obras de concreto reforzado, se ha propuesto la prueba de detección del mismo con base en la utilización de la herramienta adecuada, este ensayo también se cataloga como un ensayo no destructivo.

2.6.1 Propuesta para el programa de ensayos

Con base en la propuesta de la entidad, se estableció una cantidad y tipología de ensayos a saber:

- 1 ESCLEROMETRO: Cantidad 30.
- 2 EXTRACCIÓN Y ENSAYO DE NUCLEOS DE CONCRETO: Cantidad 30.
- 3 DETECCIÓN DE ACERO DE REFUERZO: Cantidad 21.

Tabla 3. Programa de ensayos propuesto.

PROGRAMA DE ENSAYOS DIAGNOSTICO ESTRUCTURAS				
	OBRA	TIPO DE ENSAYO		
		EXTRACCIÓN Y FALLA DE NUCLEOS	ESCLEROMETRIA	FERROSCAN
EMBALSE NEUSA	Vertedero de excesos	6	6	4
	Canal de descarga	2	2	2
	Torre de Toma	0	2	0
EMBALSE EL HATO	Vertedero de excesos	6	4	4
	Túnel de descarga	2	4	2
	Canal de descarga	0	2	0
EMBALSE SISGA	Vertedero de excesos	10	6	7
	Túnel de descarga	4	4	2
TOTAL ENSAYOS		30	30	21

Fuente: Consorcio Embalses CAR, 2020.

El programa de ensayos, se estableció de acuerdo a la magnitud de la obra y su relevancia dentro de la operación de cada embalse.

En el ANEXO 06 “Planos de localización de ensayos”, se presenta la ubicación geográfica de los ensayos que se adelantarán sobre cada una de las estructuras objeto del presente diagnóstico, sobre cada uno de los embalses.

2.7 AUSCULTACIÓN Y PROGRAMA DE ENSAYOS

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 cada uno de los embalses, a continuación, se presenta el programa de ensayos llevados a cabo sobre el material constitutivo, y sus respectivos resultados. En el ANEXO 06 “Planos de localización de ensayos”, se presentan los planos con la ubicación general de los ensayos practicados a las obras de infraestructura.

2.8 Consideraciones para el programa de ensayos.

Durante las primeras semanas del mes de enero de 2020, se llevó a cabo la ejecución del programa de ensayos, conforme a la cantidad y especificación de los mismos consignados en el anexo N°6 del contrato, y se determinó con base en la fase de inspección visual la disposición y localización de los mismos, teniendo en cuenta la magnitud de la obra y su relevancia dentro de la operación de cada embalse.

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 consignados en el numeral 5.4.14 “Obligaciones del contratista” y el anexo 8 “Estudios técnicos – Estructuras en concreto reforzado” del pliego de condiciones del contrato.

2.9 Tipología de ensayos del componente experimental.

El programa de ensayos a llevarse a cabo sobre cada una de las obras de infraestructura de los embalses, se pueden definir en dos clases, los primeros son ensayos destructivos, los cuales son pruebas en los que se requiere la extracción de muestras de material estructural (probetas) y se ensayan en un laboratorio de materiales debidamente acreditado y certificado; los segundos tipos de ensayos son denominados NO destructivos, los cuales son realizados con equipos especializados y con los cuales se puede determinar algunas de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales estructurales in situ. En el caso del presente contrato, se especificaron previamente, según el anexo N°6 del mismo, el tipo y la cantidad de ensayos que se deben llevar a cabo sobre las obras de infraestructura. Al buen juicio y criterio del ingeniero especialista, esta cantidad y tipo de ensayo fue distribuida en cada una de las obras, teniendo en cuenta su magnitud y relevancia dentro de la operación del cada uno de los embalses.

El programa de ensayo que se presenta más adelante, tuvo algunas variaciones respecto al presentado en la programación inicial planteada, ya que en campo surgieron consideraciones adicionales, y con el fin de involucrar algunas estructuras que no se había contemplado desde un inicio realizar ensayos.

A continuación, se enumeran el tipo y la cantidad mínima de los ensayos llevados a cabo durante el diagnóstico estructural del proyecto, conforme a lo consignado en el anexo N°6 del contrato:

- ESCLEROMETRO: Cantidad 30.
- EXTRACCIÓN Y ENSAYO DE NUCLEOS DE CONCRETO: Cantidad 30.
- FERROSCAN: Cantidad 21*.

Tabla 4. Programa de ensayos ejecutado.

PROGRAMA DE ENSAYOS DIAGNOSTICO ESTRUCTURAS				
	OBRA	TIPO DE ENSAYO		
		EXTRACCIÓN Y FALLA DE NUCLEOS	ESCLEROMETRIA	FERROSCAN
EMBALSE NEUSA	Vertedero de excesos	5	5	5
	Canal de descarga	2	2	2
	Torre de Toma	0	2	0
EMBALSE EL HATO	Vertedero de excesos	5	5	4
	Túnel y canal de descarga	3	5	3
	Casa de máquinas	1	1	1
EMBALSE SISGA	Vertedero de excesos	10	6	5
	Túnel y domo de descarga	3	3	3
	Casa de máquinas	1	1	1
TOTAL ENSAYOS		30	30	24

**Para el caso del FERROSCAN, se realizaron 3 exploraciones adicionales.*

2.9.1 Descripción de los ensayos del componente experimental.

A continuación, se presenta una descripción de la tipología de ensayos a realizar sobre cada una de las obras de infraestructura analizadas. En el ANEXO 07 “Resultados de ensayos de laboratorio”, se presentan los valores obtenidos de cada uno de los ensayos ejecutados.

2.9.1.1 Ensayos destructivos.

Este tipo de pruebas o ensayos sobre el material, requiere de una extracción directa de una muestra o probeta para llevarla al laboratorio y ser ensayada para determinar sus características físicas y mecánicas. Se considera que este tipo de ensayos son directos, es decir que a través del ensayo de laboratorio se obtienen las propiedades a evaluar de manera directa, sin tener que recurrir a correlaciones o artificios.

- **Extracción y ensayo de núcleos de concreto:** Este ensayo permite la evaluación de la resistencia del concreto a partir de especímenes representativos obtenidos por extracción. Esto se realiza cuando se desea estimar la resistencia a la compresión del concreto de una estructura existente. En la zona donde será extraído el núcleo se procede a determinar la ubicación del acero de refuerzo, con el fin de que al momento de la extracción no se interrumpa o atravesie ninguna barra. Al talado se ubica de manera perpendicular a la superficie del elemento extraído. Ya en laboratorio se procede a cortar y perfilar los extremos de la probeta, de manera que se obtenga una relación de 2:1 entre la longitud y el diámetro de la probeta. El espécimen se acondiciona por cinco días antes de que se realice el ensayo de compresión simple, con el cual se obtiene la resistencia a compresión del material. El ensayo de compresión simple para obtener la resistencia a la compresión del concreto, consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros de concreto, ya sean moldeados o extraídos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión resulta del cociente entre la carga aplicada durante el ensayo y el área de la sección transversal de la muestra.

2.9.1.2 Ensayos NO destructivos.

Este tipo de pruebas o ensayos sobre el material, NO requiere de una extracción directa del concreto o espécimen de prueba. La propiedad a determinar se obtiene, a través de ensayos o pruebas directas sobre el material "in situ", y a través de correlaciones con otras pruebas o valores obtenidos, se puede estimar la calidad o propiedades de este. Se considera que este tipo de ensayos son indirectos, es decir, que a través del ensayo realizado se pueden obtener propiedades del material, teniendo que recurrir a correlaciones o artificios.

- **Ensayo de esclerometría:** Este ensayo permite determinar el índice de rebote en el concreto existente, mediante el empleo del dispositivo conocido como esclerómetro o martillo de rebote; determinación que sirve para evaluar la uniformidad superficial del concreto en el sitio. Este método, dentro de sus limitaciones, se puede emplear para evaluar comparativamente la resistencia del concreto y no debe ser utilizado como una alternativa para determinar la resistencia a la compresión del concreto.

El procedimiento de ensayo es bastante sencillo, antes de ello se debe preparar la superficie del elemento a probar, eliminando pintura, polvo o cualquier elemento no propio del concreto, esto se realiza a través de una piedra abrasiva hasta lograr una superficie limpia y lisa. Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto, y se ejerce una pequeña presión para permitir que el embolo del dispositivo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima longitud, eliminando la presión sobre el martillo, cuidado siempre la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie de concreto. Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura en la ventana de la escala graduada, registrando el índice o valor de rebote.

Se deben eliminar las lecturas que difieran del promedio en más de cinco unidades y se determina un promedio final de las lecturas. Si más de tres lecturas difieren en seis unidades del promedio, se deben descartar.

- **Detección de refuerzo a través de FERROSCAN:** Este ensayo permite determinar la profundidad, el espaciamiento y diámetro de las barras del acero de refuerzo en el concreto, a través de un escáner electromagnético. El análisis se efectúa in situ en tiempo real.