

**ELABORACIÓN DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA**

**Autor:**

**NATHALIA ANDREA CARVAJAL GIRALDO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2020**

**ELABORACIÓN DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA**

**Práctica empresarial para optar al título de:**

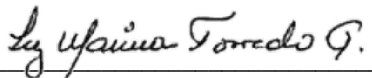
**INGENIERA CIVIL**

**Autor:**

**NATHALIA ANDREA CARVAJAL GIRALDO**

**Director de trabajo de grado:**

**LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

Firma: 

**Coordinador Empresarial:**

**JUAN ALEJO OSORIO MONTOYA - INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2020**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

## DEDICATORIA

A Dios, quien me ha guiado por el camino que hoy me permite culminar esta etapa.

A mi familia, quien ha sido mi motivación para luchar por mis sueños sin desfallecer, mi apoyo en cada circunstancia y por hacer de mi la persona que soy.

## **AGRADECIMIENTOS**

A EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN (EPM), por confiar en mi para este proyecto, en especial al Equipo de Seguridad de Presas por brindarme la oportunidad de culminar mi formación profesional con esta práctica tan enriquecedora. Estaré siempre agradecida por todo el aprendizaje adquirido en estos seis meses, en los que siempre tuvieron la mejor disposición a enseñarme e instruirme en diferentes ámbitos. Mi primera experiencia profesional no hubiese sido mejor de no haber podido ser parte del grupo EPM y de contar con tan excelentes profesionales.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS.....	2
2.1.	Objetivo General .....	2
2.2.	Objetivos específicos .....	2
3.	EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN (EPM) .....	3
3.1.	Organigrama .....	4
3.2.	División de la Unidad de hidrometría y calidad generación .....	5
3.2.1.	Equipo de Pronóstico, estudio y Calidad de Información (PECI) .....	5
3.2.2.	Equipo de Instrumentación.....	5
3.2.3.	Equipo de Seguridad de Presas.....	5
3.3.	Generación de energía .....	8
3.3.1.	Presas .....	8
4.	ANTECEDENTES.....	11
5.	PRESENTACIÓN DEL MANUAL DE CARACTERÍSTICAS BÁSICAS, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA.....	13
5.1.	Descripción del proyecto.....	13
5.2.	Estudio de evaluación (1998).....	14
5.3.	Nivel de riesgo de la presa.....	15
5.4.	Organización de la operación .....	15
5.4.1.	Roles y Responsabilidades .....	15
	MANUAL DE CARACTERÍSTICAS BÁSICAS, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA .....	17
6.	GENERALIDADES .....	17
7.	CONDICIONES DEL SITIO .....	22
7.1.	Geología y Geotecnia .....	22
7.2.	Hidrología.....	23
7.3.	Sismología .....	23
8.	REVISIÓN DE CRITERIOS Y ANÁLISIS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO.....	25
8.1.	Criterios básicos de diseño .....	25
8.2.	Análisis Geotécnico.....	26
8.2.1.	Estabilidad al deslizamiento (Condición estática).....	26

8.2.2.	Diseño sísmico (Estabilidad dinámica).....	28
8.3.	Hidrológicos e Hidráulicos.....	29
8.3.1.	Desviación del río.....	29
8.3.2.	Vertedero.....	29
8.3.3.	Borde libre.....	32
8.4.	Estructurales.....	33
8.4.1.	Vertedero.....	33
8.4.2.	Obras de desviación.....	34
8.5.	Instrumentación.....	34
9.	CAPACITACIÓN APLICATIVO DE SEGURIDAD DE PRESAS.....	35
9.1.	Gestión de la Instrumentación.....	35
9.2.	Gestión de las deficiencias.....	37
10.	INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL Y ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PARA LA PRESA SANTA RITA.....	38
10.1.	Instrumentación geotécnica y sísmica.....	38
10.2.	Actividades de mantenimiento rutinario.....	42
11.	Gestión del Riesgo.....	44
11.1.	Plan de gestión de riesgos de desastres (PGRD).....	44
11.1.1.	Sistema de notificación.....	45
11.2.	Alertas tempranas, vertimientos y operación.....	45
11.3.	Plan de emergencia por eventual rompimiento de la presa.....	46
11.3.1.	Plan de acción durante emergencias por inundación aguas abajo de la presa Santa Rita (PADE)	46
12.	COMPORTAMIENTO HIDRÍCO Y UMBRALES DE OPERACIÓN DEL EMBALSE EL PEÑOL – GUATAPÉ.....	48
12.1.	Información hidroclimatológica para la operación.....	48
12.2.	Características del embalse.....	49
12.3.	Niveles de referencia y volúmenes característicos del embalse.....	50
12.4.	Registros periódicos de niveles.....	52
12.5.	Aportes al embalse.....	54
12.6.	Operación del vertedero.....	56
12.6.1.	Caudal máximo de vertimiento históricos.....	57

12.6.2. Caudales de descarga turbinada Guatapé.....	57
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS AL desarrollo DEL MANUAL.....	58
13. REVISIÓN DE REGISTROS DE PUNTO DE CONTROL Y PROPUESTA DE EXCEL PARA PRESENTACIÓN.....	58
14. CONCLUSIONES.....	61
15. Referencias.....	63
16. ANEXOS.....	65
<i>Anexo 1. Manual de características básicas Operación y Mantenimiento de la Presa Santa Rita .....</i>	<i>65</i>



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de las presas a cargo de EPM. ....	10
Tabla 2. Antecedentes.....	11
Tabla 3. Matriz de clasificación de riesgo para la presa Santa Rita. ....	15
Tabla 4. Resumen de datos técnicos de la Presa Santa Rita.....	19
Tabla 5. Pesos unitarios empleados en el estudio de estabilidad. ....	26
Tabla 6. Característica de los materiales de la presa principal. ....	27
Tabla 7. Caracterización de los materiales para las presas auxiliares. ....	27
Tabla 8. Relación de instrumentación Presa Principal. ....	38
Tabla 9. Relación de instrumentación Presa Auxiliar I. ....	38
Tabla 10. Registro de instrumentación Presa Auxiliar II. ....	39
Tabla 11. Relación de Instrumentación Asociada a las zonas bajas.....	39
Tabla 12. Relación de instrumentación cerca al vertedero.....	40
Tabla 13. Registro de actividades de mantenimiento rutinario. ....	42
Tabla 14. Señales operativas Central Hidroeléctrica de Guatapé. ....	44
Tabla 15. Alertas ante caudales excepcionales de la presa Santa Rita. ....	46
Tabla 16. Relación de estaciones presentes para la Cuenca de El Peñol-Guatapé. ....	48
Tabla 17. Características básicas de la cuenca del embalse Guatapé. ....	49
Tabla 18. Niveles de referencia del embalse.....	50
Tabla 19. Volúmenes característicos del embalse según batimetría 2016. [24].....	51
Tabla 20. Registro de la tasa de variación máxima y mínima para periodo de llenado del embalse.....	51
Tabla 21. Velocidad máxima de variación del embalse (Descenso y Ascenso).....	51
Tabla 22. Registro de caudales históricos para el embalse El Peñol - Guatapé. ....	54
Tabla 23. Factor de conversión (MW/m <sup>3</sup> /s) considerando el Volumen útil del embalse (mM <sup>3</sup> ).....	56
Tabla 24. Registro de caudales históricos de descarga por el vertedero. <sup>19</sup> .....	57
Tabla 25. Registro de caudales históricos turbinados de descarga para Guatapé.....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logo EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. ....	3
Figura 2. Estructura Administrativa General EPM. ....	4
Figura 3. Estructura Administrativa Gestión de Negocios EPM. ....	4
Figura 4. Estructura administrativa Generación de energía EPM. ....	4
Figura 5. Metodología de seguimiento para la operación de las presas. ....	6
Figura 6. Programa de seguridad de presas. ....	7
Figura 7. Localización de las grandes presas de EPM. ....	10
Figura 8. Presentación de la portada del Manual de características básicas, operación y mantenimiento de la Presa Santa Rita. ....	13
Figura 9. Organización de la Operación Región central. ....	16
Figura 10. Localización general del embalse El Peñol - Guatapé. ....	17
Figura 11. Vista presa Santa Rita. ....	18
Figura 12. Vertedero de la presa Santa Rita en operación. ....	19
Figura 13. Vista en planta de la presa Santa Rita. ....	21
Figura 14. Localización de las zonas bajas para la conformación del embalse El Peñol – Guatapé. ....	21
Figura 15. Variación mensual interanual de la precipitación en la cuenca del río Nare. ....	23
Figura 16. Fallas localizadas en la zona de la presa. ....	24
Figura 17. Vertedero de la Presa Santa Rita en operación. ....	30
Figura 18. Canal de descarga del vertedero de la Presa Santa Rita. ....	30
Figura 19. Curva de calibración del vertedero en diseño. ....	32
Figura 20. Página principal del aplicativo de Seguridad de Presas. ....	35
Figura 21. Generación de reportes de deficiencia en el aplicativo. ....	36
Figura 22. Administración de instrumento y campos de consulta. ....	36
Figura 23. Relación de Instrumentación Santa Rita. ....	41
Figura 24. Localización de las estaciones hidrometeorológicas. ....	49
Figura 25. Curva cota-área-volumen útil del embalse Peñol-Guatapé en las dos últimas batimetrías. ....	50
Figura 26. Registro promedio mensual multianual de niveles en el embalse El Peñol - Guatapé. ....	52
Figura 27. Registro promedio mensual multianual de precipitaciones sobre el embalse El Peñol-Guatapé. Fuente: HYDSTRA. ....	53
Figura 28. Probabilidad de variación en los niveles del embalse. ....	54

Figura 29 .Registro promedio mensual multianual para los aportes al embalse .....	55
Figura 30. Curva de calibración del vertedero actualizada.....	56
Figura 31. Formato de registro y control de topografía.....	58
Figura 32. Gráficos de presentación de los desplazamientos de los puntos de control. ....	59
Figura 33.Propuesta de presentación de topografía dinámica para la Presa Quebradona.....	60

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ELABORACIÓN DE MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA

**AUTOR(ES):** NATHALIA ANDREA CARVAJAL GIRALDO

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

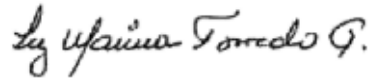
## RESUMEN

En el presente documento se detallan las actividades asociadas a la elaboración del manual, descripciones de factores de diseño, construcción y operación; así mismo, actividades ajenas que se desarrollaron durante el periodo de práctica con el objetivo de optimizar procesos e implementar mejoras. El manual de la presa Santa Rita tiene como objetivo la recopilación de información abarcando diferentes aspectos generales y esenciales plasmados en documentos de estructura técnica, el mismo recopila para cada una de las etapas desde su diseño, desarrollo y operación; considerando así los criterios principales de diseño, características básicas, consideraciones de construcción, actualización de estudios, asociados a garantizar la seguridad operacional y las actuaciones considerando los planes de emergencia existentes asociados a esta; finalmente, con el objetivo de plasmar todo lo relacionado con la operación segura del embalse el Peñol-Guatapé y el mantenimiento y control de la presa Santa Rita. Finalmente, se logra cumplir con los objetivos planteados durante el desarrollo de la práctica, en el cumplimiento de estos se alcanzó gran aprendizaje y emplearon los conceptos y criterios desarrollados en la academia; el desarrollo de esta se llevó a cabo durante la pandemia ocasionada por el COVID-19 sin embargo la misma no alteró el desarrollo y cumplimiento de actividades.

## PALABRAS CLAVE:

Presas, Embalse, Instrumentación, Seguridad

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** PREPARATION OF A MANUAL FOR THE OPERATION AND MAINTENANCE OF SANTA RITA DAM

**AUTHOR(S):** NATHALIA ANDREA CARVAJAL GIRALDO

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

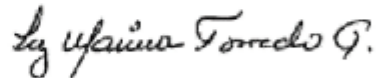
## ABSTRACT

This document details the activities associated with the preparation of the manual, descriptions of design, construction and operation factors; likewise, alternative activities that are developed during the period of practice with the aim of optimizing processes and implementing improvements. The Santa Rita dam manual aims to collect information covering different general and essential aspects reflected in technical structure documents, it compiles for each of the stages from its design, development and operation; thus considering the main design criteria, basic characteristics, construction considerations, updating studies, associated with ensuring operational safety and actions considering the existing emergency plans associated with it; finally, with the aim of capturing everything related to the safe operation of the El Peñol-Guatapé reservoir and the maintenance and control of the Santa Rita dam. Finally, it will be possible to meet the objectives set during the development of the practice, in the fulfillment of these, great learning was achieved and the concepts and criteria developed in the academy were used; The development of this was carried out during the pandemic caused by COVID-19, however, it did not alter the development and fulfillment of activities.

## KEYWORDS:

Dam, Reservoir, Instrumentation, Security.

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK



## 1. INTRODUCCIÓN

La práctica profesional es una experiencia que brinda la oportunidad del acercamiento al ámbito laboral por parte de los estudiantes, se ponen en práctica cada uno de los conocimientos adquiridos durante la formación profesional y permite crear un contexto más amplio de cada uno de esos conocimientos aplicados a una realidad en la cual entran a jugar un papel muy importante los factores externos que muchas veces no se consideran dentro de los conceptos adquiridos.

Por consiguiente, el presente documento comprende los resultados y cada uno de los factores involucrados en el desarrollo de la práctica profesional de nombre “ELABORACIÓN DE MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA PRESA SANTA RITA”, la cual se desarrolló en la empresa de nombre EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN (EPM).

El siguiente proyecto se desarrolla bajo la modalidad de práctica empresarial en el departamento de Antioquia con la finalidad de elaborar un manual de mantenimiento y operación que permita un correcto control del funcionamiento y mantenimiento óptimo para la presa Santa Rita, todo lo anterior a partir de información recopilada previamente.

La construcción de una presa induce importantes modificaciones al ambiente lo que trae consigo importantes cambios en toda un área de influencia, por consiguiente, estas están sometidas a múltiples agentes externos que ponen en riesgo su correcta operación o en amenaza el área de influencia es por esto que deben establecerse mecanismos que controlen y disminuyan el riesgo de cualquier eventualidad. [1]

Por ende, se pretende elaborar un manual que contenga información previamente recopilada desde los planos de diseño y construcción hasta la instrumentación y definición de umbrales de control para para la presa Santa Rita buscando el control y la correcta operación de esta. Finalmente, se tiene como finalidad cumplir con los objetivos planteados en el tiempo que lo requiera el cumplimiento de estos por un término de seis (6) meses.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Elaborar un manual de características básicas, operación y mantenimiento de la presa Santa Rita, a través de información recopilada, buscando implementar mejoras de seguridad operacional asociadas con la documentación de los procesos.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Revisar la información recopilada de los informes de diseño, construcción, estudios de actualización y obras de rehabilitación de la presa Santa Rita.
- Describir la instrumentación aplicada para el control y seguimiento de la operación de la presa Santa Rita.
- Identificar los umbrales de alerta de la instrumentación de la presa Santa Rita.

### 3. EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN (EPM)

La empresa en la cual se desarrolló la práctica tiene por nombre EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P. la cual es una empresa de propiedad del municipio Medellín creada en 1955. Así mismo, es una empresa representativa en Colombia prestadora de servicios públicos domiciliarios (energía eléctrica, gas por red, agua y saneamiento), caracterizada por una responsabilidad social y ambiental representativa lo que ha dado origen a proyectos de energía renovable buscando la sostenibilidad en cada una de sus actuaciones.



Figura 1. Logo EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN.  
Fuente: EPM <https://www.epm.com.co/site/>

La transparencia, la experiencia y la capacidad técnica son los rasgos más característicos de la empresa, dando solidez a cada uno de los proyectos que se llevan a cabo consolidando todos sus esfuerzos basados en una responsabilidad social y ambiental de toda la organización. En sus inicios solo prestaba servicios para el municipio de Medellín, ciudad de la cual es protagonista del desarrollo social, y en la actualidad cuenta con proyectos internacionales. [2]

La generación de energía es fundamental e insustituible para el desarrollo de cada una de las actividades diarias, en el campo comercial, residencial e industrial, está en cada uno de estos ámbitos. Siendo la energía fuente de productividad y competitividad, así mismo, brinda seguridad y confort generando de esto un servicio indispensable y de gran fuerte para el desarrollo. Esta organización, tiene consigo múltiples proyectos que se enfocan en el aprovechamiento de los recursos renovables para la generación de esta, y es una empresa que se ha caracterizado por el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en el país.

En cada uno de los desarrollos de estos proyectos tienen participación diversas áreas y dependencias de la organización, en la Figura 2 se presenta el esquema general de la organización, la cual se divide en unidades presentadas en la Figura 3 y finalmente en la Figura 4 se presenta la unidad de generación de energía para la cual se va a desarrollar la práctica específicamente en la unidad e Hidrometría y Calidad generación de Energía la cual se encuentra señalada dentro de la cual se garantiza la operación segura de cada uno de estos proyectos de generación, factor fundamental para el aprovechamiento de estos recursos y de los factores externos e impactos que trae consigo la implementación de este tipo de energías en el ecosistema.



### 3.1. Organigrama

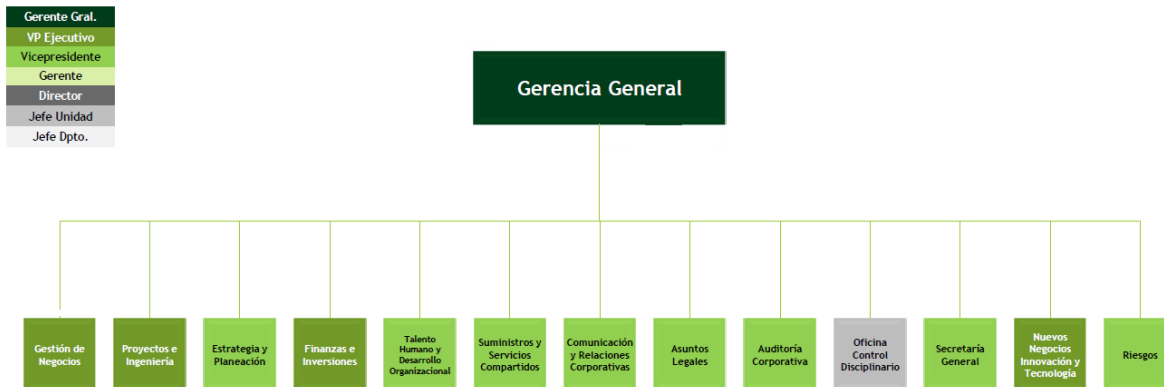


Figura 2. Estructura Administrativa General EPM.  
Fuente: Tomado de EPM [25]



Figura 3. Estructura Administrativa Gestión de Negocios EPM.  
Fuente: Tomado de EPM [25]

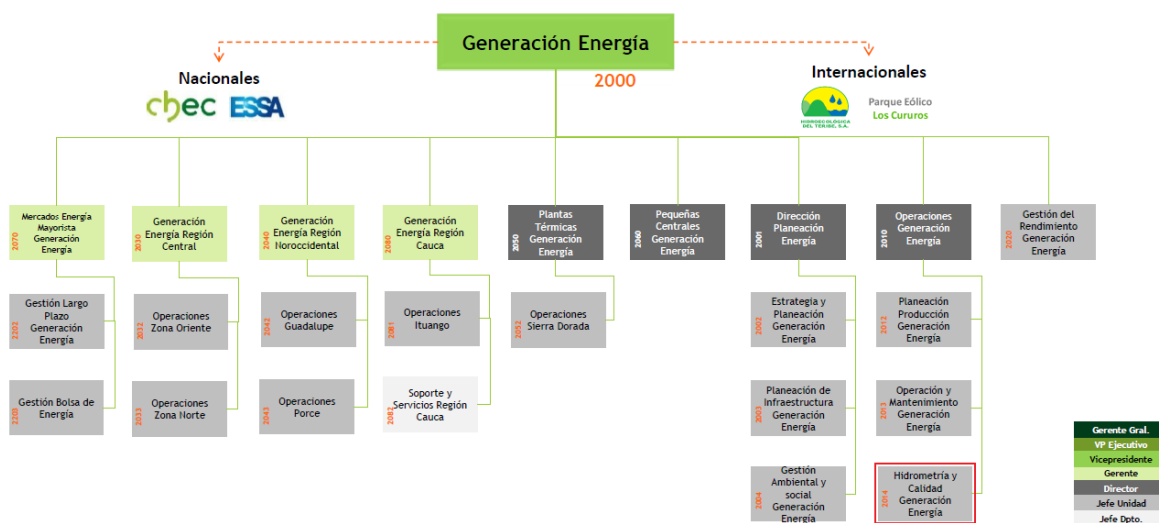


Figura 4. Estructura administrativa Generación de energía EPM.  
Fuente: Tomado de EPM [25]

### **3.2. División de la Unidad de hidrometría y calidad generación**

Dentro de la unidad de hidrometría y calidad generación de energía se encuentran varios equipos en los cuales se categorizan las actividades y se gestiona toda la información de la seguridad operacional, tales como:

#### **3.2.1. Equipo de Pronóstico, estudio y Calidad de Información (PECI)**

Este grupo se encarga de la gestión de la información de la red hidrometeorológica, se encarga de la generación de los planes de calidad los cuales consisten en la recolección de la información mediante visitas de mantenimiento, dentro de las cuales se realizan informes basados en las inspecciones, la gestión de esta se realiza, actualizando la información procesada en software HYSRA, así mismo la gestión de aforos y curvas de calibración de los cuales se generan informes y se realiza un seguimiento constante, para finalmente generar un suministro de información que permita definir requerimientos, analizar y acatar las correcciones para finalmente generar una información optima y confiable. [3]

#### **3.2.2. Equipo de Instrumentación**

El equipo de instrumentación es el encargado de la gestión, operación y mantenimiento para cada uno de los instrumentos que se disponen en cada una de las presas, con el fin de tener un monitoreo general de cada uno de los factores externos que interactúan en el comportamiento de la presa. Este equipo permite obtener la información actualizada y brindar la confiabilidad de cada una de las lecturas en los instrumentos. Estos instrumentos son: piezómetros, pozos, vertederos, puntos de control, inclinómetros, medidores de asentamientos, extensómetros, medidores de junta, péndulos, celdas de presión, termómetros, acelerógrafos, sismógrafos, entre otros complementarios

#### **3.2.3. Equipo de Seguridad de Presas**

Este equipo se encarga de la prevención, detección y reacción oportuna para todas las deficiencias de cada una de las presas requiriendo la información y el apoyo suministrado de los dos equipos previamente mencionados. Con el fin de garantizar la operación y disponibilidad de agua, cumplir las normativas detalladas en cuanto a riesgos, garantizar la protección de las personas, el medio ambiente y la infraestructura.

Considerando que consecuencia debido al fallo de estas estructuras no es cuantificable de manera precisa considerando que dependen de las capacidades de almacenamiento y de las perdidas aguas abajo, el control que se realiza es en cuando a las condiciones de la estructura los cuales pueden ser valorados e identificados disminuyendo así el riesgo de un evento y mitigando el riesgo.

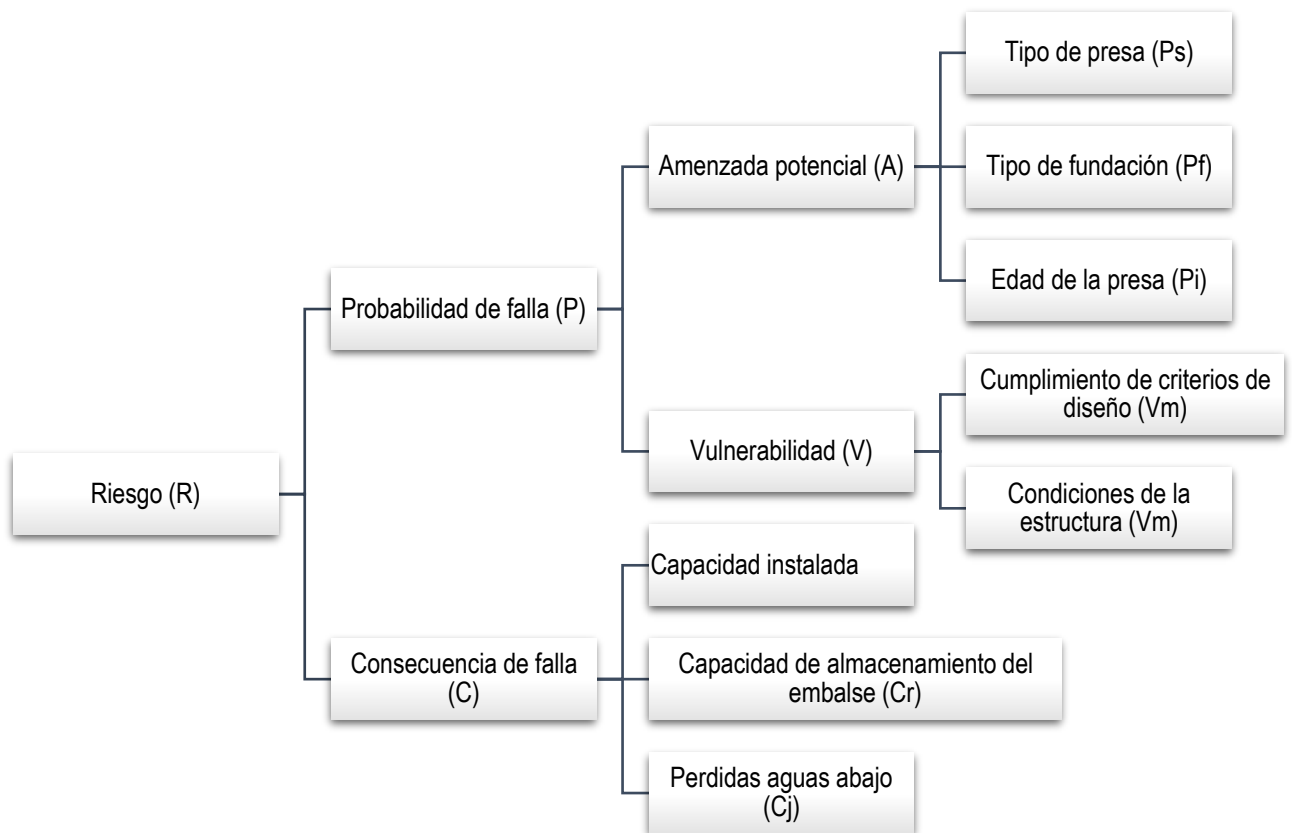


Figura 5. Metodología de seguimiento para la operación de las presas.  
Fuente: Seguridad de Presas [26]

Considerando lo esquematizado en la Figura 5 la cual es adoptada de la metodología CENIC de Brasil, las presas se categorizan según el riesgo considerando que la consecuencia de falla de estas estructuras es muy alta la gestión de la operación de la misma se mide en base a las condiciones de la estructura, la cual se gestiona a través del grupo de seguridad de presas en conjunto con los grupos de instrumentación y PECl.

### 3.2.3.1. Programa de Seguridad de presas (Ciclo PHVA)

Dentro del programa de gestión de la seguridad de presas, se plantearon 5 actividades con el fin de dar seguimiento, verificación y actuar frente a los requerimientos para la operación óptima y eficiente de cada una de las presas que gestiona la empresa. La secuencia y relación de cada una de ellas está enmarcada en la Figura 6.



Figura 6. Programa de seguridad de presas.  
Fuente: Generalidades, Seguridad de Presas [26]

## 1. Inspecciones técnicas

- **Rutinarias:** En estas inspecciones se requiere el apoyo del personal de campo, ya que se realizan de manera semanal, consiste en un recorrido general por la presa, la revisión de una lista de chequeo y lectura de la instrumentación activa, un registro fotográfico para finalmente generar un reporte de anomalías si corresponde el cual de una alerta al personal de oficina para solucionar la gestión.
- **Periódicas:** Se realizan dos veces al año, las cuales consisten en un recorrido sistemático detallado por parte del ingeniero, se diligencia una lista de verificación, se emite un informe anual con las recomendaciones y la gestión de las dos visitas realizadas en este.
- **Intermedias:** Estas inspecciones son realizadas por expertos internacionales los cuales emiten recomendaciones considerando la operación y visualización de anomalías encontradas.
- **Extraordinarias:** Cuando hay una amenaza como un sismo, vertimiento u otro tipo de evento que afecte la correcta operación de la presa se realizan este tipo de inspecciones para verificar la afectación y emitir recomendaciones.

2. **Gestión de instrumentación:** Esta actividad va enfocada a la correcta gestión, operación y mantenimiento para cada una de las presas.
3. **Gestión de deficiencias y conservación de las presas:** En esta actividad se realizan recomendaciones a los dueños de las centrales considerando la operación de la presa, buscando corregir las deficiencias de manera oportuna.
4. **Estudios de evaluación y obras de actualización:** En estos estudios se realiza la evaluación general de la operación de la presa y de cada uno de sus componentes considerando algunas recomendaciones y obras de actualización abarcando los criterios de seguridad y las experiencias recopiladas en el estado del arte.
5. **Planes de emergencia:** Los planes de emergencia se deben plantear considerando una eventualidad que ponga en riesgo las poblaciones aledañas, buscando mitigar la pérdida de vidas humanas, propiedades, infraestructura y afectaciones al medio ambiente en caso de falla de la presa.
  - Plan Interno de emergencia (PIDE): En este plan se plantean las acciones por los funcionarios de EPM en caso de presentarse eventos que afecten con la rotura de la presa. Pueden ser de tipo leve, moderado o crítico.
  - Plan de acción durante emergencia (PADE): Este plan permite orientar acciones de la población aguas abajo para guiar emergencias derivadas de una eventual rotura de la presa. Estas acciones van ligadas a un sistema de alerta y alarma, generación de rutas de evaluación, sitios de concentración, atención de emergencia y cadena de llamadas para guiar la actuación.

### 3.3. Generación de energía

Basado en el aprovechamiento de los recursos renovables y la generación de energía a partir de ellos, EPM suministra energía eléctrica actualmente a Medellín, su área metropolitana y los municipios de Antioquia. Considerando los principales enfoques alrededor del negocio: [4]

- **Generación:** Mediante la generación de energías a través de una central, generar la producción de ya sea energía hidráulica, eólica o térmica.
- **Distribución:** Transporte de la energía a través de las redes hasta el consumidor.
- **Comercialización:** Venta de energía la cual está enfocada al cliente final y al mercado mayorista.

#### 3.3.1. Presas

Una presa, es una obra que tiene como objetivo la contención del agua proveniente del cauce natural de un río, el cual eleva su nivel y crea consigo un embalse que abastece el sistema. Estas estructuras involucran en su

ejecución y operación múltiples disciplinas, requiriendo de estas un alto nivel técnico y profesional. La construcción de una presa abarca e implica el estudio de las condiciones geológicas, hidrologías y sísmicas de la zona. Algunas consideraciones planteadas en la construcción de las presas de tierra son [5]

- El empleo de suelos originarios de préstamos en las cercanías, esto mediante perforaciones y estudios de suelos buscando la selección de un suelo menos plástico y húmedo de los perfiles de la excavación. Realizando controles de humedad con el fin de disminuir las presiones intersticiales durante la construcción.
- Disminución de excavaciones para la fundación, considerando el costo y el tiempo se consideran suelos de características geotecnicas cercanas a las del terraplén. Mediante tratamientos de drenaje y de control de infiltraciones o retiro de materiales arcillosos.
- Medidas de drenaje, teniendo el control del nivel freático, buscando disipar la presión de poros para finalmente prevenir infiltraciones en cimentación.
- Pendientes suaves en taludes laterales con el fin de mejorar su comportamiento en la condición de sismo.
- Sección homogénea, mediante la incorporación de suelos de propiedades optimas en las condiciones más críticas.

La construcción de una presa en tierra comprende los parámetros involucrados ya mencionados, dentro de los más importantes es la construcción del relleno que debe realizarse en el periodo seco del año de 3 a 4 meses y el aumento de presión de poros que se genera como consecuencia de la rápida construcción. En esta etapa, se requiere la participación de un gran equipo de trabajo y de múltiples disciplinas.

En la Figura 7 se evidencia la localización de las 12 grandes presas de EPM, estas tienen como propósito la generación de energía y/o abastecimiento de agua según se relaciona en la Tabla 1.

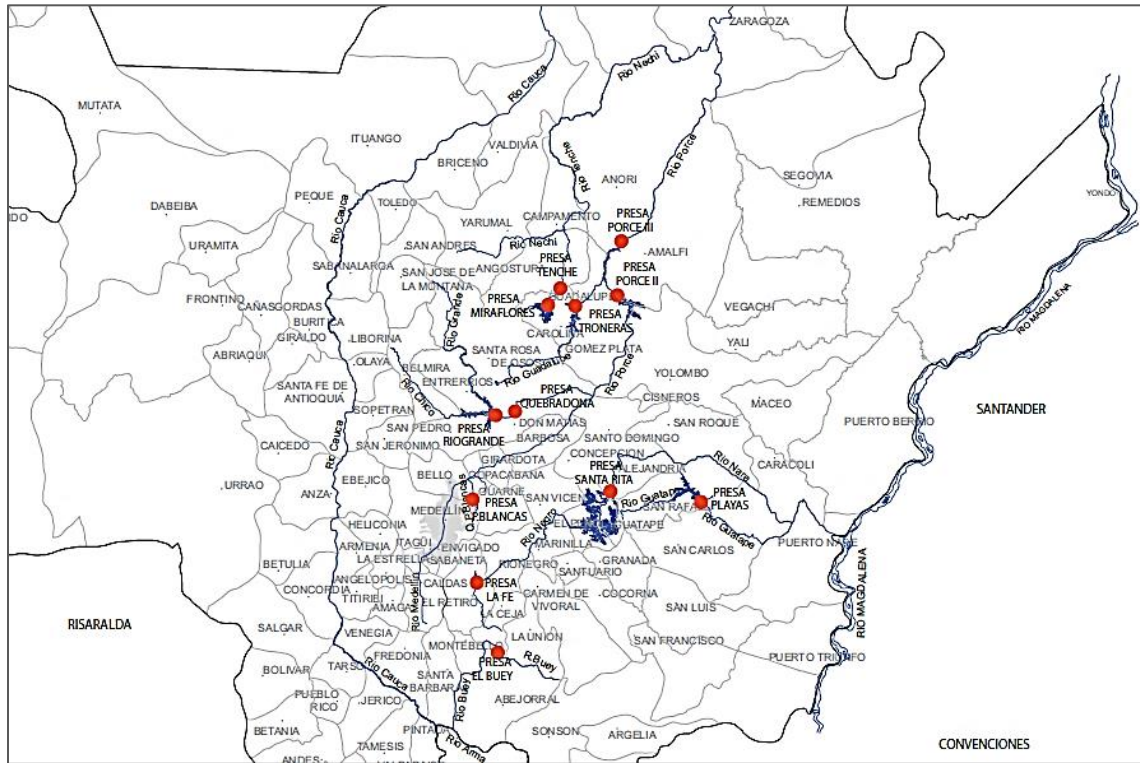


Figura 7. Localización de las grandes presas de EPM.

Fuente. Ingeniería de presas en EPM. [5]

Tabla 1. Detalle de las presas a cargo de EPM.

PRESAS	ALTURA [m]	PROPÓSITO
Piedras Blancas	27	Abastecimiento de agua
Quebradona	27	Generación de energía
Troneras	40	Generación de energía
Miraflores	55	Generación de energía
La Fe	34	Abastecimiento de agua
Santa Rita	51,5	Generación de energía
El Buey	23	Abastecimiento de agua
Desviación río Nechí - río Pajarito	10,5	Generación de energía
Desviación río Pajarito - río Dolores	9	Generación de energía
Desviación río Dolores - río Concepción	9	Generación de energía
Playas	65	Generación de energía
Riógrande II	65	Generación de energía Y Abastecimiento de agua

Fuente. Adaptado de [5]

#### 4. ANTECEDENTES

Basado en documentos técnicos, artículos de investigación, trabajos de grado y conferencias, en la Tabla 2 se presenta un resumen de algunos trabajos realizados desde diferentes ámbitos para la elaboración del manual y la descripción de los lineamientos con base en el comportamiento operacional de las presas.

Tabla 2. Antecedentes.

Título	Autores	Resumen	Tipo de documento
Innovación aplicada al control de grandes represas	Fabián Restelli	Evidencia una metodología buscando cumplir a entera satisfacción del mejoramiento de todos los procesos involucrados en la operación, a través de la metodología de análisis factorial busca a través de métodos estadísticos analizar cada una de las variables involucradas sin exigir sus causas y controles para finalmente explicar dichas interrelaciones. [6]	Conferencia
La regulación y el control de la seguridad de presas en la Argentina	Sebastián Martín Juncal	Brinda una orientación sobre las necesidades emergentes básicas para el control de las grandes obras hidráulicas como lo son las presas, así mismo analiza la clasificación de estas mencionado los requerimientos de control adecuados y la carencia de una normativa que aborde la seguridad de las presas, haciendo un enfoque en la necesidad de un esquema rutinario, repetitivo y redundante de trabajo, en el que la información suministrada en campo juega un papel fundamental. [7]	Artículo técnico
Guía para la generación de planes de mantenimiento	José Wilmer Majin Erazo, Hernán Darío Gómez Chicue, Juan Fernando Flores Marulanda	Presenta el diseño, desarrollo e implementación de un documento que tiene como finalidad ser guía para generar planes y/o programas de mantenimiento basado en la filosofía TPM, considerando conceptos y enfoques de la norma ISO 9001:2008 y algunos modelos. Permitiendo determinar el diagnóstico, descripción, medición y seguimiento del proceso. [8]	Artículo técnico
Análisis del sistema de Monitoreo para el control de estabilidad	Ruth Isabel Cabrera Boñón	Realiza una evaluación al sistema de monitoreo requerido para implementarse en el control y monitoreo geotécnico. Por consiguiente, evalúa el control considerando factores geotécnicos,	Trabajo de grado



de la presa de Relaves U. M.		cálculos de estabilidad y parámetros de diseño ya que estos están involucrados durante la etapa operativa, en esta requiere el control y monitoreo considerando diversos parámetros fundamentales para disminuir el nivel de riesgo. Finalmente, plantea la necesidad de un sistema de monitoreo de la estabilidad para llevar el control de esta. [9]	
Plan de Mantenimiento predictivo mediante ensayos No destructivos en Aducciones de Agua Superficial para la Represa Tuni Condoriri a planta de El Alto.	Pablo Castelú Ticona	Identificar un programa de mantenimiento predictivo con el fin de realizar un control de manera rápida a la problemática y seguimiento a la presa y a las líneas de aducción evitando perdidas y garantizando su optima operación. Finalmente, estipula unas fichas con el fin de tener claro los cargos implicados para indicar el mantenimiento y cada una de las actividades claves para llevar a cabo el mantenimiento. [10]	Trabajo de grado para Maestría

Fuente. Propia

## 5. PRESENTACIÓN DEL MANUAL DE CARACTERÍSTICAS BÁSICAS, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA

En la Figura 8 se presenta la portada del documento corporativo de nombre “*Manual de Características básicas operación y mantenimiento de la presa Santa Rita*”. El alcance de este manual contempla criterios de diseño y los principales aspectos considerados en el diseño, la construcción, y los estudios de evaluación de la seguridad de la presa incluyendo particularidades tales como geología de la zona, hidrología y sismicidad; adicionalmente incluye las situaciones más relevantes presentadas durante la operación de la presa y actualización de la instrumentación geológica.

El documento también contiene los criterios adoptados para la operación segura del embalse y el mantenimiento de la presa Santa Rita de acuerdo con lineamientos dados por las guías internacionales en temas de seguridad de presas. En el *Anexo 1. Manual de características básicas Operación y Mantenimiento de la Presa Santa Rita* se puede evidenciar en detalle el documento.



Figura 8. Presentación de la portada del Manual de características básicas, operación y mantenimiento de la Presa Santa Rita.

Fuente: Propia

### 5.1. Descripción del proyecto

La Presa Santa Rita está compuesta por tres llenos contiguos y tiene una altura máxima de 59,50 metros y 360 metros de longitud en su corona, la presa auxiliar I cuenta con una longitud de corona de 200 metros y una altura de 32 metros medida con respecto a la fundación en el eje de la presa, y la presa Auxiliar II con una longitud de unos 240 metros en su corona y una altura de 47 metros medida con respecto a la fundación de la presa. [11]

La construcción de la presa se efectuó en dos etapas: la primera se realizó entre los años 1967 y 1970 en donde se alcanzó una altura de la presa principal de 30 metros y la segunda etapa se llevó a cabo entre los años 1973 y 1976, completando el terraplén para una altura total de 59,5 metros [11].

Para llevar a cabo la conformación del embalse, cuyo volumen total a nivel normal (1887 msnm) es de 1236 millones de m<sup>3</sup>, se requirió la construcción de llenos en 11 zonas bajas del embalse, cinco de estos para el cerramiento de este que corresponden a las zonas bajas 2, 4, 9 y 10 y 11 y seis como refuerzo para el control de infiltraciones a lo largo de divisiones delgadas que corresponden a las zonas bajas 1, 3, 5, 6,7 y 8.

Durante la primera etapa del proyecto, el vertedero de crecientes era de tipo Morning Glory con descarga de los caudales a través de un túnel de 4,30 metros de diámetro y 700 metros de longitud que descargaba al cauce del río Nare. El nivel normal del embalse estaba en la cota 1856,50 metros. En la segunda etapa se terminó la conformación de los tres llenos mayores (presa principal, presa auxiliares I y II) y la construcción de los 11 llenos de refuerzo elevando así la cota de la presa a 1891,5 metros. Bajo estas condiciones el vertedero Morning Glory quedó inoperante, por lo que se construyó un vertedero de tipo abierto excavado en roca y revestido en concreto [12].

En la mayor parte de la conformación del terraplén se emplearon materiales de tipo limo arenosos (ML) y roca descompuesta constituida principalmente por arena limosa (SM) provenientes ambos de la cuarzodiorita. No obstante, el diseño está basado en el concepto de que este debe modificarse para adaptarse a los materiales disponibles en la zona.

Para la presa principal, el periodo de construcción fue prolongado debido a las lluvias intensas durante su construcción, las demoras del colector principal y en el suministro de materiales rocosos para el espaldón aguas abajo. No obstante, el avance lento en su construcción favoreció la disminución de las presiones intersticiales generadas durante la colocación del lleno [13]. La construcción de la presa auxiliar II se realizó de manera lenta, no solo por los factores ya mencionados sino por la exagerada demora en la preparación de la fundación en la pata aguas abajo [13].

## **5.2. Estudio de evaluación (1998)**

LAS EMPRESAS contrataron con INTEGRAL un estudio consistente en la revisión del estado de seguridad de la presa Santa Rita. Para llevar a cabo este estudio se consideró, además del comportamiento que se había observado durante el mantenimiento del proyecto, a lo largo del cual se presentaron indicios de la necesidad de algunas condiciones del lleno y de la fundación que, desde su construcción presentaban alguna incertidumbre, así como los siguientes aspectos importantes [11]:

- La reglamentación y prácticas a nivel internacional, considerando que las áreas de ingeniería relacionadas con el comportamiento de las presas están en constante evolución y se retroalimentan del estudio de fallas y deficiencias ocurridas en todo el mundo.
- Las presas representan condiciones especiales con respecto a otro tipo de estructuras, especialmente porque sus diseños no siguen reglas únicas, los criterios aceptados internacionalmente están en constante evolución y en gran medida se basan en la experiencia de los ingenieros en diferentes proyectos.

- Un estudio llevado a cabo en 1991 por INTEGRAL para las firmas corredoras de seguros Seyco y Seguridad, sobre riesgos sísmicos en las centrales de Guadalupe y Guatapé y la ciudad de Medellín, indicó la posible existencia de deficiencias en el comportamiento dinámico de las presas auxiliares I y II de Santa Rita.

También se realizó una visita a los portales de salida de los túneles de descarga y la casa de máquinas, obras en las que la evaluación se hizo con base en la inspección visual. En este estudio se prestó atención especial al análisis de la amenaza sísmica y con el comportamiento de la presa ante sismo, dado que durante el diseño no se realizó un estudio detallado.

### 5.3. Nivel de riesgo de la presa

Los criterios que se consideraron para definir el riesgo de la presa se emplearon teniendo como base las consecuencias aguas debajo de las presas como las consecuencias propias de la empresa. Considerando entonces la particularidad de la presa y aplicando los criterios relacionados en la Tabla 3; definiendo así a la Presa Santa Rita con clasificación del riesgo “Muy alto”.

Tabla 3. Matriz de clasificación de riesgo para la presa Santa Rita.

<b>PRESA</b>	<b>Población en riesgo</b>	<b>Impactos Ambientales y valores culturales</b>	<b>Impactos económicos y la Infraestructura</b>	<b>Capacidad Instalada</b>	<b>Clasificación del Riesgo</b>
Santa Rita	Muy alto	Alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Manual gestión Seguridad de Presas [14]

### 5.4. Organización de la operación

#### 5.4.1. Roles y Responsabilidades

El proceso de generación de energía en la central hidroeléctrica Guatapé, está a cargo de la Gerencia Generación Energía Región Central, la cual tiene como objetivo liderar la definición y ejecución de políticas de operación y mantenimiento de la infraestructura y los equipos de generación de energía de la Región Central, buscando garantizar la producción de energía segura, confiable y eficiente. Este proceso de generación está orientado principalmente a operar y mantener las unidades generadoras de energía eléctrica y todos los equipos e infraestructura, que estén asociados a su correcto funcionamiento de manera sostenible y segura; dentro de la infraestructura que tiene la presa Santa Rita y sus obras anexas. La Jefatura de Unidad de Operaciones Zona Oriente se encarga de las Centrales Playas y Guatapé, dichas centrales hidroeléctricas poseen el mismo equipo de operación, y cada una posee un equipo de mantenimiento como se ilustra en la Figura 9. [14]

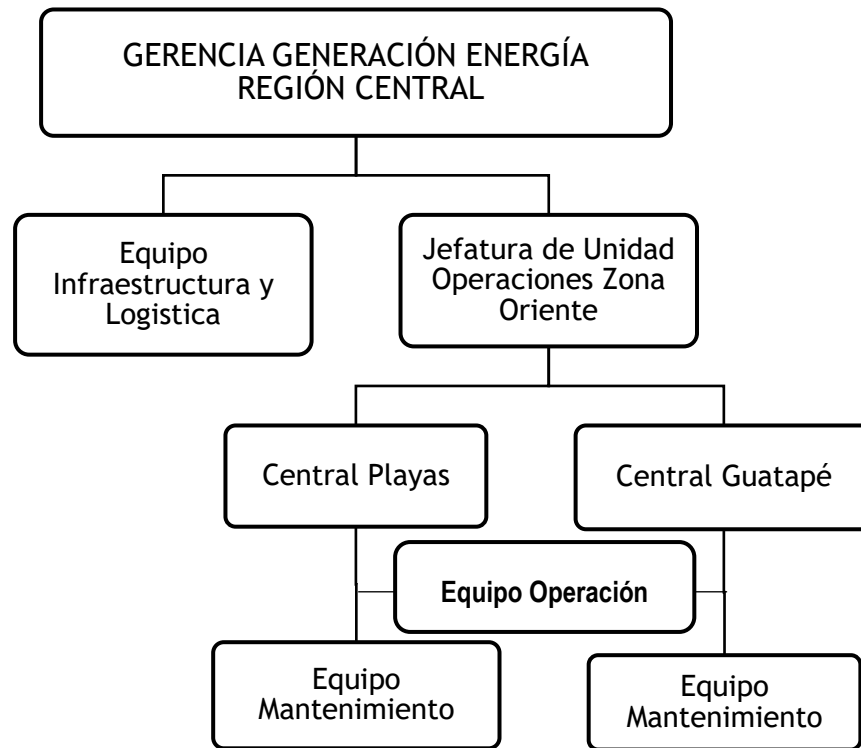


Figura 9. Organización de la Operación Región central  
Fuente: Manual gestión Seguridad de Presas [14]

Unidad de Operaciones Zona Oriente tiene como objetivo hacer seguimiento a los resultados de los procesos y orientar a la definición de planes de mejoramiento, así como la definición de actividades y programas necesarios para los mantenimientos periódicos y mantenimientos que por razones técnicas se consideren en las unidades o activos que los cuales requeridos en las unidades que generan indisponibilidad en la producción.

Equipo Infraestructura y Logística está encargado de la identificación de las necesidades de programación de indisponibilidad que se presentaran en los activos de generación para las actividades relacionadas con las actualizaciones tecnológicas, los cuales tienen un programa de ejecución en curso desde el mediano plazo o que requiere el inicio en el corto plazo. Por ende, están encargados de analizar en las áreas productivas, las principales variables que tienen alta incidencia en el proceso de producción de energía y a partir de esto generar un proyecto de actualización o reposición parcial con el fin de modernizar o hacer reposiciones parciales a los subsistemas.

Para la gestión y control de operación de los activos involucrados en el proceso de generación de energía, se cuenta con la Dirección de Operaciones la cual tiene como objetivo liderar la definición, ejecución y supervisión de los planes de producción, planes de operación y mantenimiento para las regiones y de las proyecciones, acorde con la normatividad del sector y las condiciones comerciales del mercado en el corto plazo. [15]

# MANUAL DE CARACTERÍSTICAS BÁSICAS, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PRESA SANTA RITA

## 6. GENERALIDADES

La presa Santa Rita se encuentra ubicada al oriente del departamento de Antioquia en el municipio de Alejandría, hace parte del aprovechamiento hidroeléctrico que comprende los ríos Nare y Guatapé que descargan al embalse El Peñol presentado en la Figura 10, el cual abarca consigo cuatro centrales: la central de Guatapé que aprovecha las aguas del río Nare y descarga al río Guatapé, aguas arriba de la Central Playas; la Central Jaguas que aprovecha las aguas del río Nare y descarga al embalse Playas; finalmente la central San Carlos que aprovecha las aguas del río Guatapé y reúne las descargas de las centrales anteriores, así como las aguas del río San Carlos; las centrales Jaguas y San Carlos de propiedad de la empresa ISAGEN S.A. [5]

La

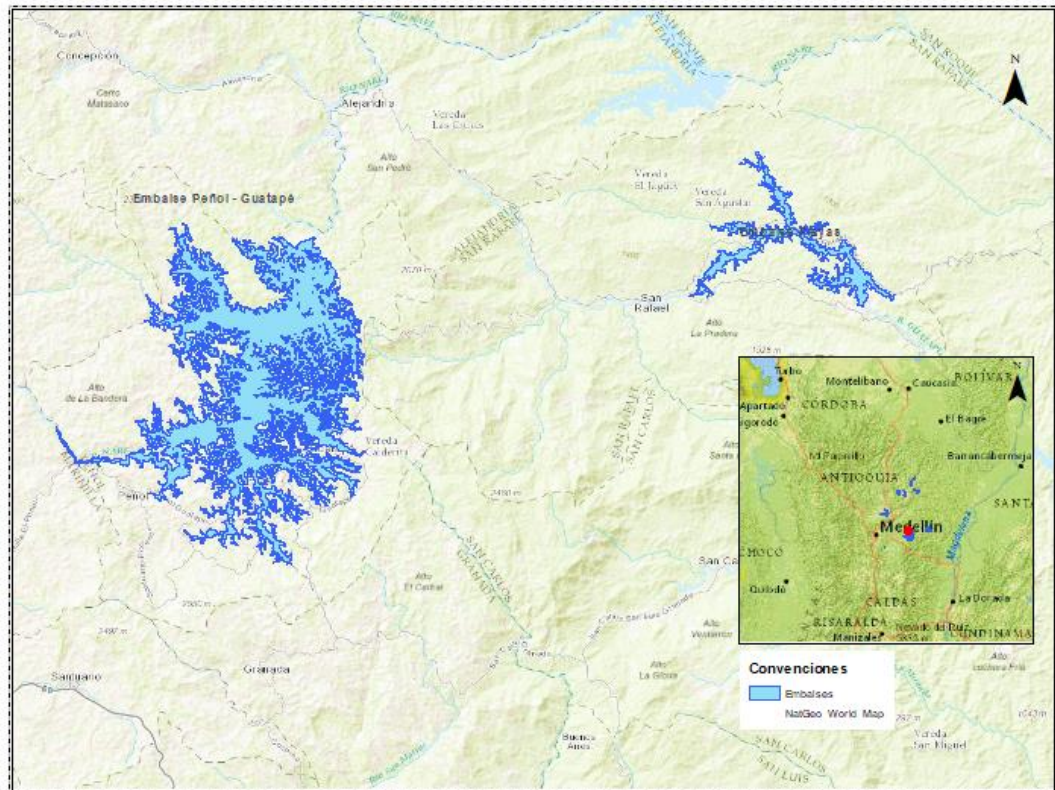


Figura 10. Localización general del embalse El Peñol - Guatapé.

Fuente: Propia

La presa como el desarrollo hidroeléctrico de la central de Guatapé, se realizó en dos etapas; para una capacidad efectiva total de 560 MW relacionada en la instalación en cada de 4 unidades impulsadas por turbinas tipo Pelton de 70 MW cada una. La presa Santa Rita comprende tres llenos contiguos los cuales corresponden a: una presa principal y dos presas auxiliares; la construcción y el diseño de esta fue llevada a cabo en dos etapas. La primera etapa, se desarrolló en los años 1967 y 1970 se alcanzó una altura de 30 metros la presa principal



y en la segunda etapa llevada a cabo en los años 1973 y 1976 se terminó la construcción de la presa principal con una altura total de 59,5 metros. [11]



Figura 11. Vista presa Santa Rita.  
Fuente: Ingeniería de presas EPM [5]



Figura 12. Vertedero de la presa Santa Rita en operación.  
Fuente: Ingeniería de presas EPM [5]

En la Tabla 4 se presentan los datos técnicos de la presa Santa Rita.

Tabla 4. Resumen de datos técnicos de la Presa Santa Rita.

<b>Datos generales</b>	
Propósito	Generación de energía
Período de construcción	Primera etapa: 1967 a 1969 Segunda etapa: 1973 a 1976 Actualización: 2004 a 2005
Diseñador	Integral S.A. (Colombia)
Constructor	<b>Primera etapa:</b> Impreber (Italia) e Impresit del Pacifico S.A. (Perú) <b>Segunda etapa:</b> Entrecanales y Távora S.A. (España) y Grandicón Ltda. (Colombia)



<b>PRESA</b>	
Tipo de presa <sup>2</sup>	De tierra compactada y zonificada (limo y roca descompuesta)
Altura de presa	Presa principal: 59,5 m Presa Aux I: 32 m. Presa Aux II: 47 m
Nivel de la cresta	1 891,50 msnm
Longitud de la cresta	Presa Principal: 360 m Presa Aux I: 230 m. Presa Aux II: 220 m
Ancho de la cresta	10 m
Borde libre normal	4,5 m
Volumen	Presa principal: 3 386 000 m <sup>3</sup> Presa Aux I y II: 2 823 000 m <sup>3</sup>
<b>VERTEDERO</b>	
Tipo de vertedero	Canal abierto, sin compuertas
Capacidad del vertedero	1 090 m <sup>3</sup> /s
Longitud del vertedero	160 m
Ancho en el azud	80 m
Nivel de vertimiento	1 887 msnm

Fuente: Adaptado de Ingeniería de Presas [5]

Finalmente, se realizó la construcción de once llenos en las zonas bajas con el fin de lograr la conformación del embalse buscando el cerramiento de las líneas de vertiente que comprenden los ríos Guatapé y Nare Figura 14, cinco llenos para cerramiento y seis como lleno de refuerzo para realizar el control de infiltraciones. El embalse El Peñol-Guatapé se reconoce como un embalse de “regulación anual” considerando su alta capacidad de almacenamiento de energía el cual permite almacenar energía durante un año. [16]



Figura 13. Vista en planta de la presa Santa Rita.  
Fuente: Software ArcGIS

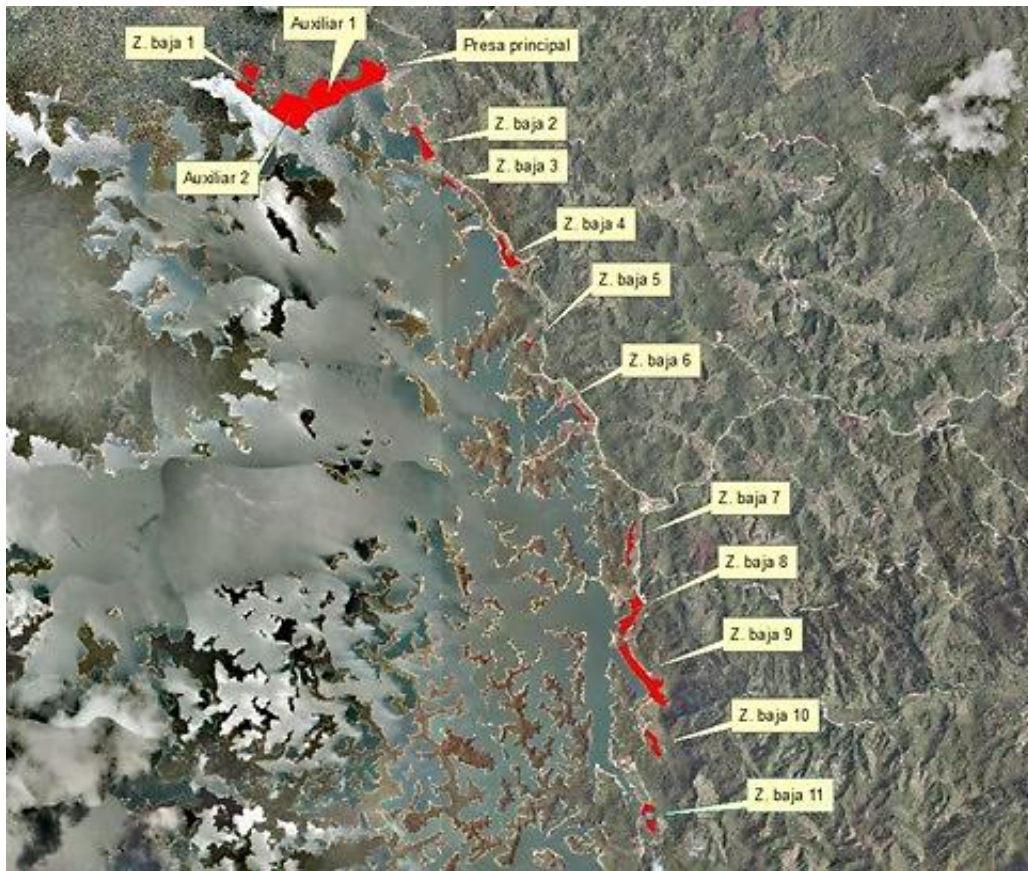


Figura 14. Localización de las zonas bajas para la conformación del embalse El Peñol – Guatapé.  
Fuente: Software ArcGIS

## 7. CONDICIONES DEL SITIO

La descripción de la presa abarcando aspectos con relación a su geología y geotecnia, hidrología y condición sísmica están basadas en información de diseño y estudios de evaluación los cuales contienen actualizaciones de estudios.

### 7.1. Geología y Geotecnia

El proyecto se encuentra situado sobre la formación del Batolito Antioqueño, el cual está compuesto por suelos residuales proveniente de las rocas subyacentes. En el sitio de la presa se localizan rocas como cuarzodiorita y gabro, así como los afloramientos los cuales se encuentran alrededor del lecho del río Nare; en otros sitios se evidencia la presencia de diques intrusivos formados por granito grueso, con espesores aproximados hasta de 1 metro. [5]

La presa principal está localizada en un sector en el cual el río Nare presentaba un trazado relativamente angosto, constituido por planicies aluviales discontinuas. En el desarrollo de la segunda etapa del proyecto, la presa principal se fundó sobre el talud aguas debajo de la presa de la etapa I y sobre suelo residual, posterior al retiro de varias bolsas de arcilla encontradas durante su excavación.

La presa auxiliar II presenta un talud sobre el embalse conformado por suelos residuales del Batolito y protegido con un lleno de refuerzo, mientras que la parte posterior está respaldada por todo el material que compone el cuerpo de la presa. El cuerpo principal se encontraba saturado, evidenciado por diferentes brotes de agua a lo largo de su extensión y que aparentemente tenían como origen infiltraciones provenientes de la delgada cuchilla que conforma el estribo izquierdo de la presa y se extiende hasta la zona baja 1, que son producto tanto de sus estructuras heredadas debido a su proximidad a la falla de Santa Gertrudis Sur, como de la naturaleza permeable de los suelos. [12] Los suelos presentes en esta corresponden a las zonas IC al IIA de la cuarzodiorita.

El vertedero está localizado sobre el flanco derecho del valle, el cual hace parte del tren de colinas que confirma la divisoria entre el área del embalse y el sector de aguas abajo del río Nare. [12] Para su construcción, se realizó un corte en forma de cajón, quedando la entrega del río sobre un escarpe rocoso.

El vertedero está compuesto en los primeros 150 metros del canal de aducción por suelos residuales derivados principalmente de la descomposición de la roca básica gabro, de gradación fina, blandos y de alto contenido de humedad. El canal del vertedero está compuesto por suelos residuales derivados de la roca cuarzodiorita, parte de esta excavación se realizó previamente en la primera etapa y los suelos que se evidenciaron presentaban una contextura dura y mayormente heterogéneos, con limos, bolas de roca y formaciones de roca blanda. No obstante, en el transcurso de la excavación se encontró que los perfiles de roca generalmente estaban a un nivel superior al estimado lo que trajo como resultado el aumento en la elevación de la rasante de la estructura. [13]

## 7.2. Hidrología

La presa Santa Rita recibe las aguas de la cuenca del río Nare que abastece al embalse Peñol-Guatapé, con un área de drenaje hasta el sitio de la presa de 1250 km<sup>2</sup>. El régimen pluviométrico anual en esta cuenca se caracteriza por ser moderado debido al paso del frente intertropical de convergencia. Por tanto, se presentan dos épocas húmedas en el año, ciclo bimodal, la primera cubre los meses de abril y mayo y la segunda los meses de agosto a noviembre; de diciembre a marzo es una época de menor precipitación y junio y julio son meses intermedios en los cuales se presenta una transición de relativa baja precipitación entre los dos periodos húmedos. La variación mensual interanual del régimen pluviométrico se ilustra en la Figura 15.

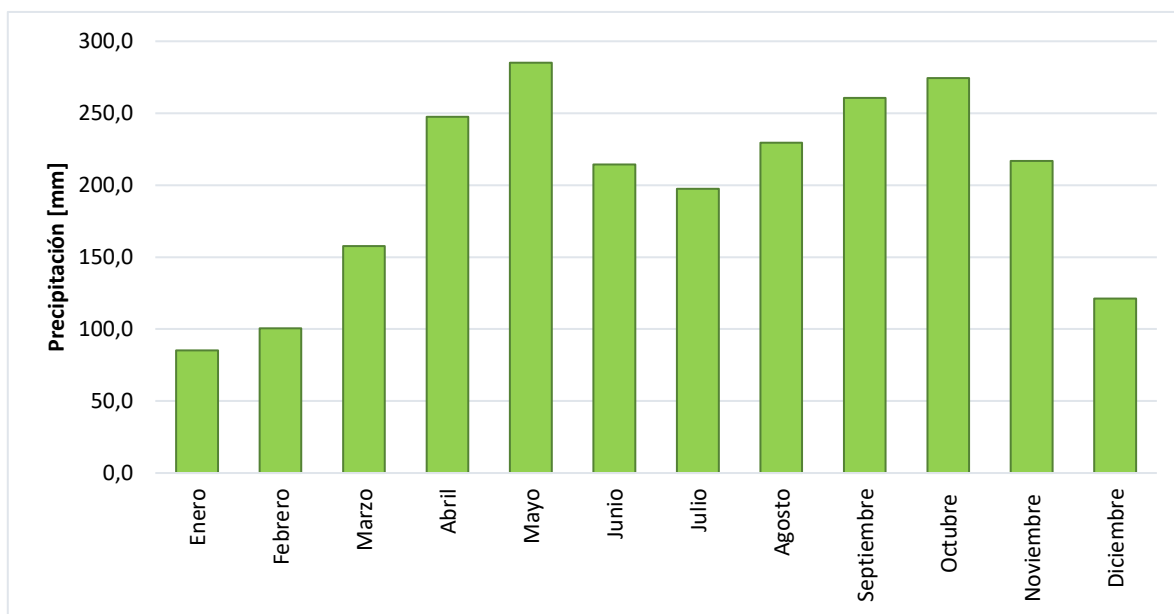


Figura 15. Variación mensual interanual de la precipitación en la cuenca del río Nare.

## 7.3. Sismología

La presa Santa Rita hace parte del altiplano de Rionegro y las fallas aledañas al sitio del proyecto se pueden identificar en la Figura 16. Así mismo, forma parte de una topografía fuerte, profundamente disectada, con pendientes empinadas. [17]. El área del proyecto está localizada como una zona de amenaza sísmica intermedia según el estudio general del riesgo sísmico colombiano de 1984, con un coeficiente de aceleración pico efectiva ( $A_a$ ) de 0,20.

Su diseño tuvo como base que su ubicación abarcaba una zona de amenaza sísmica intermedia y que esta condición podría representar el evento más peligroso durante la vida útil de la presa, sin embargo dentro del diseño no se consideró un estudio dinámico por lo que fue orientado a tomar consideraciones para prevenir y optimizar el comportamiento de la presa frente a este evento, eventos tales como taludes suaves, borde libre



conservativo, contrapesos altos, cortina de drenaje ancha y un manto extenso de drenaje sobre la fundación del talud aguas abajo. [5]

En el estudio de evaluación realizado en 1998 se incluyó por primera vez un estudio de amenaza sísmica realizado en 1991. Los estudios previos a ese indicaron que el aporte de la aceleración en el sitio de la presa es atribuible a la zona de Benioff asociada al fenómeno de subducción de la placa de Nazca bajo la placa suramericana, con aportes parciales de la falla Cauca – Romeral y la falla Palestina. Dentro de este estudio se determinó el comportamiento de las fallas cercanas a las obras, que son la falla Miraflores y las fallas del noroeste del Batolito Antioqueño.

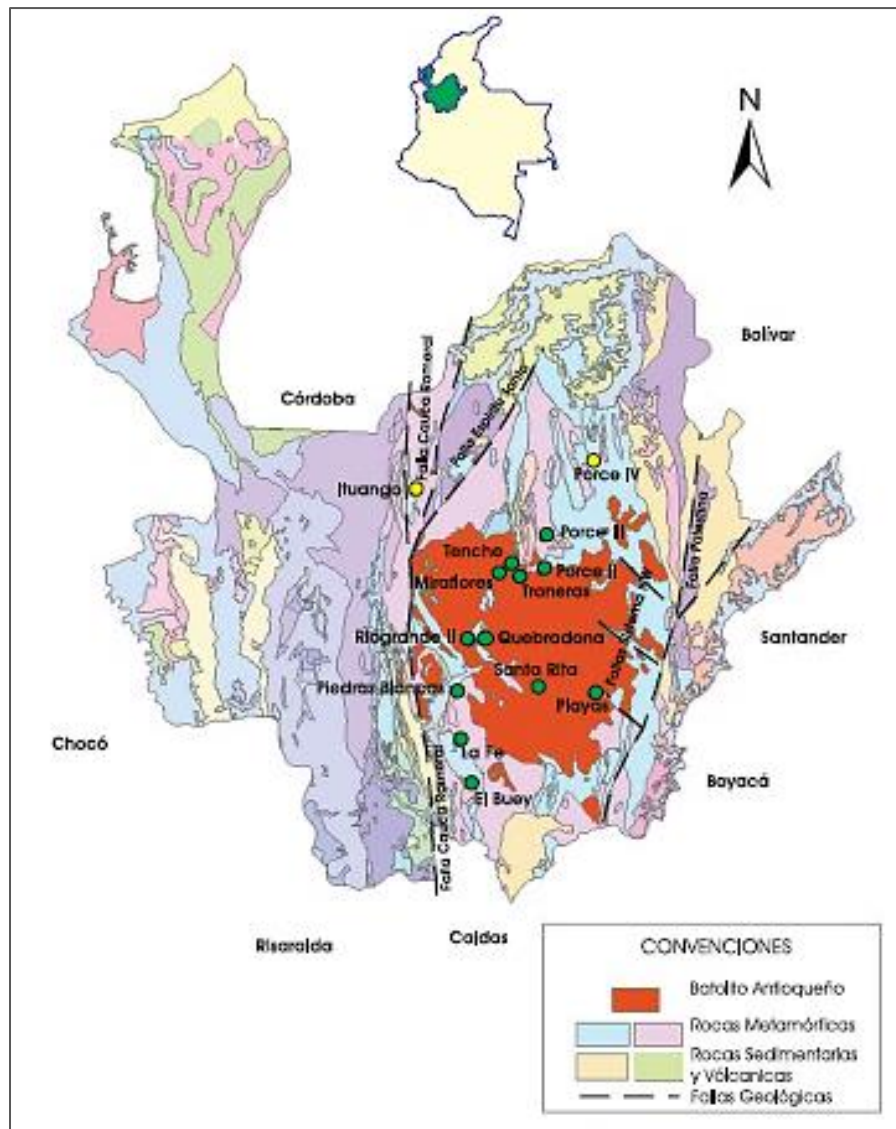


Figura 16. Fallas localizadas en la zona de la presa.  
Fuente: Ingeniería de Presas de EPM [5]

## 8. REVISIÓN DE CRITERIOS Y ANÁLISIS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO

Los principales factores considerados para el diseño fueron el régimen de crecientes del río, el clima, la geología regional del sitio escogido, la morfología del sitio, las características geológicas de la fundación y los estribos, la localización, la cantidad y características de los materiales de construcción y las zonas bajas en los bordes del embalse.

### 8.1. Criterios básicos de diseño

Con base en el propósito de generación de energía su ubicación se atribuye al trazado sinuoso del río Nare en el sitio, el cual tenía consigo algunos recodos. En este sector, el curso del río Nare era relativamente angosto con unas profundidades muy variables, constituidas por planicies aluviales discontinuas, las que formaban en conjunto con las colinas, el relieve predominante de la zona cubierta por el embalse. En este relieve de colinas quedaron entibadas las presas, el cuerpo de la presa principal se localizó ocupando el valle del río Nare y las dos presas auxiliares cerraron caminos abarcados por depresiones del terreno que limitaban las colinas del lado, localizadas en el flanco izquierdo que conforma la divisoria entre la zona del embalse y la subcuenca de la quebrada Santa Gertrudis. [18] y [13]

Para la selección del tipo de presa se consideraron los siguientes criterios:

- La composición de la presa Santa Rita sería en tierra, roca meteorizada y roca sana, siendo esta la opción más apropiada y económica.
- Considerando la magnitud y distribución de lluvias en la región, se dispuso la construcción del terraplén durante las estaciones secas (diciembre a marzo), para la colocación de terraplenes en gran escala empleando los materiales disponibles en el sitio.
- Se definió la localización y la construcción de cinco llenos de refuerzo en las zonas débiles, cuyo fin se basó el reforzamiento de los taludes en las zonas cercanas a la divisoria de aguas entre las hoyas de los ríos Nare y Guatapé, para aumentar la longitud de las líneas de percolación y una zona baja por donde derramaría el embalse y seis llenos como refuerzo para el control de infiltraciones.
- Alto contenido de humedad de los materiales para los llenos, generalmente de 2% a 10% por encima del óptimo según el procedimiento Proctor estándar y variaciones muy amplias en el contenido de humedad de los materiales de préstamo.
- Incertidumbres en las excavaciones profundas para fundaciones en suelos residuales debido a posibles planos estructuralmente débiles y a juntas permeables.
- Proporcionar que una parte sustancial del vertedero se fundara en roca para mejorar las condiciones frente a sismo intenso.
- En caso de sismo intenso se consideraron características que favorecerían el comportamiento de la presa frente a esta eventualidad, tales como: taludes suaves, cortina vertical de drenaje ancha, corona ancha para la represa, borde libre conservativo, contrapesos altos, rechazo de materiales, evitar el bloqueo del

canal del vertedero y un sistema inferior de drenaje sobre la fundación de la represa en el lado aguas abajo.

- La fundación está compuesta sobre una gruesa capa de suelo residual sobre la cual se plantea el diseño de tratamientos consistentes en la limpieza y posterior lleno de zonas de falla mediante tratamientos como: diseño de brecha de contraflujo, inyecciones de consolidación, lleno de la brecha e instalación de drenajes.

El criterio más importante es el de la economía, por lo tanto, el diseño de la presa se basó fundamentalmente en el concepto en que este debe modificarse para que se acomode a los materiales disponibles, en vez de especificar los materiales para que se acomoden al diseño.

## 8.2. Análisis Geotécnico

Desde el análisis geotécnico se realizaron diseños considerando la estabilidad al deslizamiento en condición estática y la consideración de diseño sísmico.

### 8.2.1. Estabilidad al deslizamiento (Condición estática)

#### Primera y Segunda etapa [18]

La estabilidad de los taludes se analizó por el método normal de fajas verticales sin considerar las fuerzas laterales entre ellas. No obstante, por el método de Bishop modificado se realizaron los análisis de los círculos de falla más críticos. La condición de estabilidad por el método de corto plazo se aplicó únicamente a círculos de falla más bien superficiales y durante el periodo de construcción cuando un deslizamiento sería de menores consecuencias.

Para realizar el estudio de estabilidad en el caso de construcción, la cual representó la condición más crítica dentro de las condiciones planteadas debido a las altas presiones intersticiales que se generan en esta situación, considerando los materiales y tiempos de construcción disponibles. Para este análisis, se emplearon seis secciones en la presa principal y para los casos de operación normal y bajada rápida solamente una sección. Para el caso de construcción se asumió la construcción únicamente durante las estaciones secas.

Los pesos unitarios empleados en el análisis de estabilidad para los diferentes materiales se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Pesos unitarios empleados en el estudio de estabilidad.

Material	Peso Unitario [kN/m <sup>3</sup> ]
Limo, roca descompuesta y contrapesos húmedos	19,62
Limo, roca descompuesta y contrapesos saturados	20,6
Materiales aluviales	21,09
Mezclas de roca y fragmentos de roca	21,58

Fuente: Informe de diseño presa Santa Rita Etapa II [18]

Los resultados considerando el factor de seguridad obtenido representan valores bajos, sin embargo, no se realizaron modificaciones en los taludes de los llenos, pero se optó por el control contino durante la etapa de construcción manteniendo las características de los materiales de fundación y llenos, así como las presiones intersticiales generadas realmente y con tales datos generar medidas que resulten pertinentes en cada situación.

### Actualización de estudios

Se seleccionaron 6 secciones representativas para realizar el análisis estático en la estructura, tres de ellas están situados en la presa principal, una en la presa auxiliar I y dos en la presa auxiliar II. Los parámetros empleados para el estudio de estabilidad de la presa principal se relacionan en la Tabla 6. [11]

Tabla 6. Característica de los materiales de la presa principal.

Descripción	C' [kN/m <sup>2</sup> ]	φ'
Lleno Etapa II Presa principal	19,62	32,00°
Lleno de Roca presa principal	9,81	33,00°
Enrocada presa principal	0,00	35,00°
Terraplén Etapa I	73,58	31,26°
Contrapeso Presa Principal	0,00	30,00°
Transición		
Filtro	0,00	35,00°
Suelo Residual In Situ Presa Principal	22,56	30,60°
Roca Meteorizada	98,10	35,00°
Roca Sana	98,10	40,00°

Fuente: Informe final actualización de estudios de geología y geotecnia [12]

Los parámetros utilizados para el análisis estático en las presas auxiliares se relacionan en la Tabla 7.

Tabla 7. Caracterización de los materiales para las presas auxiliares.

Descripción	C' [kN/m <sup>2</sup> ]	φ'
Lleno Etapa II Presas auxiliares	41,20	30,81°
Terraplén Etapa I	73,58	31,26°
Contrapeso Etapa II Presas Auxiliares	32,37	30,86°
Transición		
Filtro	0,00	35,00°
Suelo Residual In Situ Presa Auxiliar I	73,58	24,22°
Suelo Residual In Situ Presa Auxiliar II	3,92	40,80°
Roca Meteorizada	98,10	35,00°



<b>Roca Sana</b>	98,10	40,00°
------------------	-------	--------

Fuente: Informe final actualización de estudios de geología y geotecnia [12]

Para cada una de las secciones se realizaron análisis de estabilidad por deslizamiento, análisis de flujo, de esfuerzos y deformaciones. Se realizaron análisis empleando el método de Bishop por medio del programa STABL/G, permitiendo analizar múltiples superficies de falla de manera aleatoria y considerando las condiciones de agua y propiedades de los materiales.

En todos los casos analizados para la condición estática las secciones muestran un comportamiento estable considerando los factores de seguridad superiores a los mínimos admisibles.

### **8.2.2. Diseño sísmico (Estabilidad dinámica)**

Considerados estudios relativos del comportamiento de una represa frente a las condiciones de sismo, como también en información disponible del comportamiento de esta se definieron características que se consideran consistentes con un tratamiento racional que optimizarían el comportamiento de la presa en esta condición, las medidas adoptadas dentro del diseño fueron:

- Implementación de taludes suaves para el terraplén, esperando que el factor de seguridad para la condición en sismo alcance aproximadamente un valor de 1,5.
- Cortina de drenaje ancha, adicional a las funciones de drenaje esta cortina proporciona un excelente respaldo frente a la erosión a través de grietas transversales que pueda ocurrir en la represa por asentamientos diferenciales en el terraplén y en la fundación por el efecto sísmico.
- Considerando el comportamiento y las vibraciones que en caso de sismo a las que está sometida la corona de la represa, se plantea la implementación de una corona ancha considerando también que esta condición daría mejor seguridad ante la presencia de una brecha completa a través de la represa. El ancho de la corona considerado en el diseño es de 10 metros.
- Para evitar que las olas provenientes de un evento sísmico sobrepases la cresta de la represa, se plantea la consideración de un borde libre conservativo.
- Implementación de contrapesos altos, considerando el aumento en la estabilidad de la fundación que estos proporcionan y de los taludes del terraplén durante la consideración de sismo. Estos serían compuestos principalmente por desperdicios de descapotés, limpieza de fundaciones y otras operaciones.
- Rechazo de materiales, considerando la no presencia de materiales susceptibles a licuación durante un evento sísmico.
- Evitar el bloqueo del canal del vertedero, considerando la excavación tan profunda para el canal del vertedero debe llegarse a un equilibrio buscando la seguridad y economía del diseño.
- Sistema inferior de drenaje aguas abajo construido sobre la fundación con el fin de tener un control en el nivel freático y, por ende, la disminución de las presiones intersticiales buscando una menor pérdida de resistencia a la cizalladura.

## **Actualización de estudios [12]**

Se realizó el análisis mediante el método pseudo estático para los diferentes sismos de diseño. Para cada sismo se empleó un coeficiente sísmico igual a la aceleración máxima esperada en roca, de forma que para el sismo básico de operación (SBO) se empleó una aceleración de 0,14 g, el sismo máximo probable (SMP) y sismo máximo creíble (SMC) de 0,31 g.

Los factores de seguridad resultantes evidencian que las secciones analizadas de las presas en condiciones pseudo estáticas no presentan problemas de estabilidad, los valores relacionados inferiores a la unidad corresponden a los sismos máximo probable (SMP) y sismo máximo creíble (SMC) e indican no necesariamente el fallo sino desplazamientos o movimientos posibles.

## **8.3. Hidrológicos e Hidráulicos**

### **8.3.1. Desviación del río**

Para el diseño de las obras de desviación de la presa en la primera etapa se adoptó la máxima creciente registrada, teniendo en cuenta la corta duración del periodo de desviación, estimada en un mes.

### **8.3.2. Vertedero**

- **Primera etapa**

#### **Creciente de diseño [18]**

Se supuso que la condición más crítica para el diseño de la presa en la primera etapa sería la ocurrencia de una creciente súbita ocasionada por una lluvia intensa sobre el inferior del río Nare con intervalo de recurrencia de 10 años, superpuesta a un caudal base alto del río producido por lluvias antecedentes sobre el valle superior. El valor promedio de lluvia efectiva sería de 80 mm y el caudal pico correspondiente de 712 m<sup>3</sup>/seg. El caudal medio diario probable para un periodo de recurrencia de 10 años con un caudal de 173 m<sup>3</sup>/seg. Teniendo como resultado un caudal pico de 885 m<sup>3</sup>/seg.

- **Segunda etapa**

#### **Localización del eje del vertedero y su fundación [18]**

El canal del vertedero fue excavado en tierra por encima de la roca en una profundidad de 40 metros en su parte más alta y en roca unos 20 metros hasta la fundación. Está dividido en dos partes principales: el canal de aproximación con una longitud aproximada de 150 metros y un ancho variable entre 90 y 80 metros, protegido con roca y posteriormente el canal que corresponde al vertedero, revestido en concreto y que a su vez este se divide en dos partes: canal de aducción de 32,73 metros de longitud y 80 metros de ancho, un canal de talón de 80 metros de ancho y 6,50 de largo, un canal de descarga de 214 metros de longitud y un deflector de chorro de 30,86 metros de ancho y 15,70 metros de longitud.

El restante estaba compuesto por suelos residuales derivados de la roca cuarzodiorita. Parte de la excavación del vertedero se realizó en la primera etapa y los suelos encontrados presentaban una textura dura y muy heterogéneos, con limos, bolas de roca y formaciones de roca blanca. Así mismo, durante la excavación se evidencio que la presencia de roca estaba a un nivel superior al estimado por lo cual se elevó el nivel de la rasante de la estructura. En la Figura 17 y Figura 18 se evidencia el vertedero asociado a la Presa Santa Rita en operación.



Figura 17. Vertedero de la Presa Santa Rita en operación.  
Fuente: <https://mapio.net/pic/p-8290739/>



Figura 18. Canal de descarga del vertedero de la Presa Santa Rita.  
Fuente: <https://mapio.net/pic/p-16281287/>

### **Creciente de diseño para el vertedero [18]**

Para el diseño del vertedero se consideró una creciente producida por una PMP de 9 horas de duración con un caudal pico de 4440 m<sup>3</sup>/seg y que causaría un flujo máximo de 1090 m<sup>3</sup>/seg a través del canal del vertedero. El coeficiente de fricción "n" adoptado para el canal de concreto fue de 0,013.

### **Azud [18]**

Se determinó la altura de la represa para cada uno de estos anchos considerando un estudio de evaluación de la creciente de diseño por el vertedero y se estudió el costo del proyecto para cada uno de los anchos. No obstante, teniendo en consideración los factores tales como la dificultad de construcción del terraplén, el volumen útil de los materiales provenientes de una mejor utilización de la excavación del vertedero, características de los bordes del embalse y borde libre disponible, se definió un valor de ancho de 80 metros y una altura de la cresta para la represa a la cota 181,50 metros.

### **Canal de aproximación [18]**

Cuenta con una longitud aproximada de 150 metros y un ancho variable entre 90 y 80 metros, protegido con roca. Está conformado por suelos residuales derivados principalmente de la descomposición del gabro, de gradación fina, blandos y alto contenido de humedad.

### **Canal de descarga [18]**

El ancho del canal de descarga es de 30 metros, este ancho se determinó considerando diferentes pendientes y anchos y considerando los requisitos hidráulicos, de excavación y de seguridad necesarios. El perfil de la lámina de agua para un caudal de 1.090 m<sup>3</sup>/seg, considerando el efecto de entrapamiento de aire y la velocidad promedio de flujo.

### **Deflector [18]**

Debido a que el nivel del agua a la salida del vertedero es un factor importante para el diseño del deflector, se intentó determinar el diseño óptimo para las crecientes de diseño. Para ellos se registraron niveles del río en el tramo correspondiente a la salida del vertedero con la cual fue necesario realizar una extrapolación por el método de extensión logarítmica a causa de que las descargas medidas en el río representaban un valor muy bajo en comparación a la creciente de diseño. Finalmente, se definió un ancho de 30,86 metros y un largo de 55 metros.

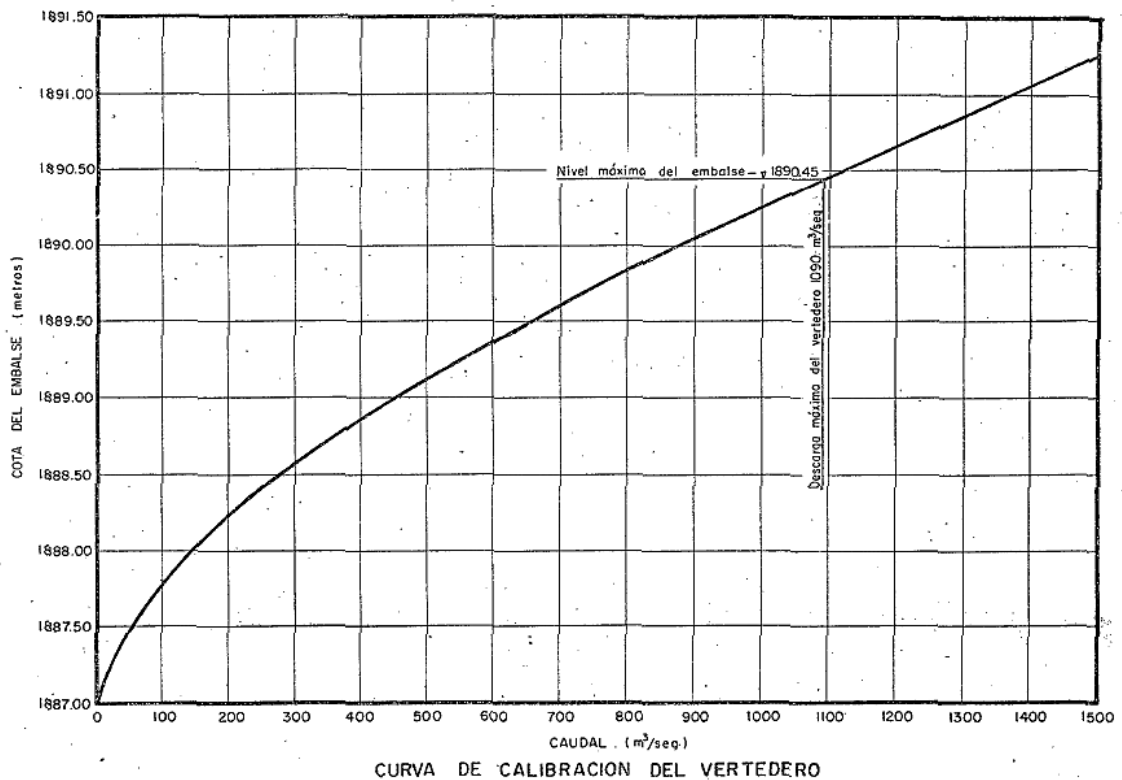


Figura 19. Curva de calibración del vertedero en diseño.  
Fuente: Informe de diseño presa Santa Rita Etapa II [18]

### 8.3.3. Borde libre

Para la estimación del borde libre de diseño se consideraron los siguientes factores determinantes: la altura de la onda en el embalse, el avance de la onda sobre el talud considerando los efectos frente a sismo, así como asentamiento de la presa y la fundación de la presa debido a la consolidación. Para comprobar las condiciones del borde libre del embalse se consideró que una creciente produciría una descarga de 500 m³/seg a través del canal del vertedero y tendría un intervalo de ocurrencia de más de 10000 años. [18]

El borde libre neto para la presa Santa Rita se determinó basado en los cálculos de oleajes producidos por los vientos, considerando el criterio de un borde mínimo libre permisible de 0,92 metros para la creciente producida por la precipitación de diseño de 9 horas de duración adoptando así el criterio de que el borde libre mínimo fuera 1,0 metro. En cuanto al borde libre total, se consideró especialmente el comportamiento de las ondas producidas por eventos sísmicos. La posible disminución del borde libre a causa de los asentamientos de la fundación y del terraplén se compensó por medio de la contraflecha de la cresta de la represa y por tal motivo no se incluyó el cálculo de este. [18]

Considerando el efecto sísmico en la zona y que el nivel del agua del embalse puede elevarse como consecuencia de deslizamientos sobre este, dando lugar a la formación de grandes olas u ondulaciones en el agua y además la cresta de la represa podría sufrir asentamientos resulto pertinente la adopción de un borde libre conservativo.

Para el diseño se seleccionó un borde libre neto de 1,0 metro y un borde libre total de 4,50 metros.

#### **Actualización de estudios [11]**

Para el análisis del borde libre optado en el diseño de la presa se consideraron dos criterios de los cuales se adopta el mayor.

El borde libre normal, el cual mide entre el nivel normal del embalse (cota 1887 correspondiente a la cresta del vertedero) y la cresta de la presa sin considerar la contraflecha este criterio considera el rebosamiento súbito por asentamientos o daños ocurridos en un sismo excepcional. Se estima como un 5% de la altura estructural de la presa más 1,5 metros, lo que equivale a 4,2 metros de borde libre respecto al nivel normal (cresta del vertedero) para Santa Rita en la etapa II.

Considerando la protección a un rebosamiento por la creciente excepcional, se consideró un borde libre mínimo generado a consecuencia del incremento en el nivel a causa de la creciente de diseño (CMP), además de considerar el efecto de oleaje. Considerando entonces la disposición de un borde libre de 0,91 metros al transitar la creciente máxima probable, el cual resultó menor a los establecido en los diseños. El borde libre cumple con lo establecido en los criterios de diseño.

### **8.4. Estructurales**

#### **8.4.1. Vertedero**

Se contemplan los criterios para el vertedero de la etapa I y el vertedero de la etapa II.

##### **Vertedero Etapa I**

El vertedero contaba con un pozo vertical de 34,7 metros y un túnel de 700 metros de longitud que descargaba al cauce del río Nare [19].

##### **Vertedero Etapa II**

El canal fue excavado en tierra por encima de la roca en una profundidad de 40 metros en su parte más alta y en roca unos 20 metros hasta la fundación. No obstante, los canales de aducción y descarga están revestidos con losas de 0,20 metros de espesor fundadas en roca y de 0,30 metros fundados en roca meteorizada. La fundación en roca meteorizada se presentó en dos zonas de fallas que se presentaron en el canal de aducción parte derecha y en el canal de descarga. Las losas del canal de descarga se fijaron a la roca por medio de barras de anclaje de diámetro 1 pulgada y las del deflector con barras de anclaje de diámetro  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

El deflector entrega a un canal de evacuación de 30,86 metros de ancho y 55 metros de largo cuya superficie, exceptuando los primeros 7 metros que fueron cubiertos en hormigón ciclópeo, no tienen ningún tratamiento especial y vierte directamente al talud.

A pesar de que la roca descubierta era cuarzodiorita dura, se evidenció relativamente fracturada y con continuas inclusiones de materiales inadecuados. [13]

#### **8.4.2. Obras de desviación**

Para la primera etapa se empleó un conducto de 4,0 metros de diámetro interior y 150 metros de longitud y un vertedero del tipo de embudo con su túnel de descarga. Para la segunda etapa, este vertedero de tipo embudo se emplearía como túnel de desviación durante la construcción. [20]

#### **8.5. Instrumentación**

Con el fin de evaluar el comportamiento de las diferentes estructuras, durante la construcción de la Presa Santa Rita, las zonas bajas y llenos de protección y refuerzo se planteó la instalación de tres sistemas de medida para controlar el comportamiento de los terraplenes durante la construcción y operación, estos sistemas son: [21]

1. Sistema de piezómetros, se instalaron 55 piezómetros, con el objetivo de medir las presiones hidrostáticas internas en los terraplenes. Este sistema se complementó por 28 pozos de observación del nivel freático en los contrafuertes de los llenos y a lo largo de la línea divisoria de la hoya del embalse. Con el objetivo de medir las presiones de poros durante la construcción del terraplén debido al aumento de estas en esta condición y la disipación y control durante la operación.
2. Sistema de medida de asentamientos, para controlar el asentamiento del terraplén y su consolidación se instalaron varias crucetas para medida de asentamiento durante la construcción y operación.
3. Sistema de medidores de infiltraciones a través de los terraplenes, con el fin de medir las infiltraciones a través de la presa y su fundación se instalaron en la pata de la presa principal, pata de la presa auxiliar I y el tercero en la pata de la Zona baja No. 4.

## 9. CAPACITACIÓN APLICATIVO DE SEGURIDAD DE PRESAS

Con el fin de poder obtener información instrumentación correspondiente a la Presa Santa Rita, visualizar su comportamiento y poder obtener información actualizada de los instrumentos implementados y activos en el control de la operación se realizó una capacitación de inducción para el manejo y visualización del detalle para cada uno de los instrumentos empleados en la presa. Así mismo, se realizó una descripción de cada una de las funcionalidades que presenta el aplicativo y las inconsistencias o configuraciones que están en proceso de optimización. En la Figura 20 se evidencia la página de inicio para el acceso al aplicativo.



**Seguridad de Presas**  
Dirección Operaciones Generación Energía

**epm**  
Nathalia Andrea Carvajal Giraldo  
EPM(ncarvaj)

Inicio Maestros Instrumentación Inspecciones Alertas Plan de Emergencia Riesgos Génesis Tareas Salida segura

➔ Bienvenido(a) a Seguridad de presas

Este sistema facilita el seguimiento al comportamiento de presas, taludes y cavernas, con el fin de conservar en buen estado éstas estructuras y atender oportunamente situaciones de emergencia. Lo anterior contribuye a garantizar la disponibilidad de agua para los sistemas de generación de energía y acueducto, proteger la población, infraestructura y medio ambiente ubicados aguas abajo.

**Alertas por estructura**

Tipo alerta	Tipo estructura	Estructura	Fecha	Descripción	Ver detalle
Alerta por instrumentación	Talud	Lleno El Misterio	16/09/2020	En la fecha 16/09/2020 la variable...	
Alerta por	Pres	Miraflores	11/09/2020	En la fecha 11/09/2020	

Figura 20. Página principal del aplicativo de Seguridad de Presas.

### 9.1. Gestión de la Instrumentación

En la gestión de instrumentos se permite visualizar cada uno de los registros históricos para la instrumentación aplicada a cada componente de las presas, taludes y cavernas con el fin de observar el seguimiento al comportamiento de estas estructuras, garantizando el óptimo comportamiento frente a situaciones de emergencia. En la Figura 22 se presentan los campos de búsqueda que se pueden realizar para localizar un tipo de instrumento o localizar la instrumentación presente para cada estructura que se quiera analizar de la presa.

Así mismo, en la administración de cada instrumento se permite la creación de estos cada que se realiza la implementación de estos y se gestiona desde los documentos de calibración hasta los detalles técnicos que permiten dar como resultado una lectura de variable considerando el instrumento de medición. Finalmente, a través de este aplicativo se pueden generar informes y graficas que ilustran el comportamiento de cada uno de los instrumentos considerando la ubicación y la variable de medición a identificar.



epm

# Seguridad de Presas

Dirección Operaciones Generación Energía

Nathalia Andrea Carvajal Giraldo  
EPM\ncarvaj

Inicio Maestros ▶ Instrumentación ▶ Inspecciones ▶ Alertas ▶ Plan de Emergencia ▶ Riesgos ▶ Génesis ▶ Tareas ▶ Salida segura

## Administrar instrumento

**Campos de consulta**

Embalse:

Tipo estructura:  Estructura:

Zona:  Tipo instrumento:

Código instrumento:  Activo:

	Tipo estructura	Estructura	Zona	Tipo instrumento	Código instrumento	Activo	Editar	Copiar	Graficar	
									Planta	Sección
<b>El Buey</b>										
<input type="checkbox"/>	Presa	El Buey	Otra	Análisis fisicoquímicos	FQ-E1	No				
<input type="checkbox"/>	Presa	El Buey	Cresta	Punto de control	PC-M2	Sí				

Figura 22. Administración de instrumento y campos de consulta.  
Fuente: Propia

epm®

# Seguridad de Presas

Dirección Operaciones Generación Energía

Nathalia Andrea Carvajal Giraldo  
EPM\ncarvaj

Inicio Maestros ▶ Instrumentación ▶ Inspecciones ▶ Alertas ▶ Plan de Emergencia ▶ Riesgos ▶ Génesis ▶ Tareas ▶ Salida segura

## Generar reporte de deficiencias

**Campos de consulta**

Embalse:  Tipo estructura:

**Lista de estructuras**

\* Estructuras:

>>
>
<
<<

Piedras Blancas - Presa - Piedras Blancas  
 Playas - Presa - Playas  
 Porce II - Presa - Porce II  
 Porce II - Presa - Porce II\_Tierra  
 Porce III - Presa - Porce III  
 Quebradona - Presa - Quebradona  
 Riogrande II - Presa - Riogrande II  
 Tenche - Presa - Tenche  
 Troneras - Presa - Troneras

Estado:  Tipo inspección:

\* Fecha inicial:  \* Fecha final:

Figura 21. Generación de reportes de deficiencia en el aplicativo.  
Fuente: Aplicativo Seguridad de Presas

## **9.2. Gestión de las deficiencias**

Con la finalidad de seguir el ciclo PHVA presentado, el aplicativo cuenta con el registro de deficiencias identificadas en cada una de las inspecciones, con el objetivo de darle control y atención a las mismas e identificar la vulnerabilidad de estas frente a agentes externos.

## 10. INSTRUMENTACIÓN DE CONTROL Y ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PARA LA PRESA SANTA RITA

### 10.1. Instrumentación geotécnica y sísmica

El proyecto de Santa Rita cuenta con diversos instrumentos para el control geotécnico, sísmico y estructural localizados en la presa, estribos, taludes y llenos. El total de instrumentos y su frecuencia de lectura se presenta para la presa principal, auxiliar I y auxiliar II en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 respectivamente.

Tabla 8. Relación de instrumentación Presa Principal.

Tipo de Instrumento	Cantidad	Activos	Inactivos	Frecuencia
Medidor de Infiltración	1	1	0	Diario
Piezómetro de tubo abierto	3	3	0	Diario
Punto de control	27	27	0	Anual
Piezómetro hidráulico	45	33	12	Mensual
Pozo de Observación	1	1	0	Diario
Punto de aforo	1	1	0	Diario
Análisis físico- químico	3	3	0	Semestral
Acelerógrafos	2	2	0	Cada 2 meses

Fuente: Propia

Los medidores de infiltración, los piezómetros hidráulicos, el punto de aforo y el pozo de observación presente se encuentran automatizados.

Tabla 9. Relación de instrumentación Presa Auxiliar I.

Tipo de Instrumento	Cantidad	Activos	Inactivos	Frecuencia
Medidor de Infiltración	3	3	0	Diario
Piezómetro de tubo abierto	4	4	0	Diario
Puntos de control	14	14	0	Anual
Análisis físico- químico	1	1	0	Semestral
Acelerógrafos	1	1	0	Bimensual

Fuente: Propia

Los medidores de infiltración y los piezómetros de tubo abierto se encuentran automatizados, no obstante, hay un piezómetro de tubo abierto que no se encuentra automatizado porque da la lectura en seco.

Tabla 10. Registro de instrumentación Presa Auxiliar II.

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Activos</b>	<b>Inactivos</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Inclinómetro</b>	2	2	0	Semestral
<b>Medidor de Asentamiento</b>	3	3	0	Semestral
<b>Medidor de Infiltración</b>	6	4	2	Diario
<b>Piezómetro de tubo abierto</b>	13	13	0	Diario
<b>Punto de control</b>	16	8	8	Anual
<b>Piezómetro Eléctrico</b>	20	19	1	Diario
<b>Pozo de observación</b>	4	4	0	Diario
<b>Acelerógrafos</b>	1	1	0	Bimensual

Fuente: Propia

Los medidores de infiltración, los piezómetros de tubo abierto y los pozos de observación se encuentran automatizados, así mismo los medidores de asentamiento relacionados se encuentran activos, pero únicamente se registra un componente de los tres que en operación normal registra.

Es importante mencionar que la instrumentación localizada en las zonas bajas en el aplicativo de Seguridad de Presas está asociada a la Presa Principal y se relacionan en la Tabla 11.

Tabla 11. Relación de Instrumentación Asociada a las zonas bajas.

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Activos</b>	<b>Inactivos</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Medidor de Infiltración</b>	8	4	4	Diario
<b>Piezómetro de tubo abierto</b>	2	2	0	Diario
<b>Punto de control</b>	8	8	0	Anual
<b>Pozo de Observación</b>	24	21	3	Diario

Fuente: Propia

Los medidores de infiltración y seis de los pozos de observación se encuentran automatizados.

Así mismo, se cuenta con un acelerógrafo en roca situado cerca al vertedero sobre roca el cual tiene como finalidad procesar las señales sísmicas en roca, para contrastar el comportamiento con el comportamiento de la señal en la presa. La instrumentación anteriormente relacionada se puede evidenciar en la Tabla 12.

Tabla 12. Relación de instrumentación cerca al vertedero.

<b>Tipo de Instrumento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Activos</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>Acelerógrafo</b>	1	1	Bimensual

Fuente: Propia

La instrumentación relacionada para cada una de las presas se evidencia en la Figura 23.



Figura 23. Relación de Instrumentación Santa Rita.

## 10.2. Actividades de mantenimiento rutinario

Las actividades de mantenimiento preventivo rutinarias, para prevenir el desarrollo de cualquier deficiencia y para facilitar las inspecciones se enmarcan en la Tabla 13.

Tabla 13. Registro de actividades de mantenimiento rutinario.<sup>1</sup>

Actividades	Descripción	Frecuencia
<b>Mantenimiento de accesos a la instrumentación</b>	Limpieza de caminos a 1 metro de ancho ya sea con rocería o fumigación con herbicida, además de la construcción de escalas para accesos las cuales se pueden construir artesanales (con tablas inmunizadas y varillas) o en concreto.	Trimestral
<b>Mantenimiento y limpieza de medidores de infiltración</b>	Limpieza (mantenimiento) de medidores de infiltración, incluye la rocería de cauces aguas debajo de estos.	Quincenal
<b>Mantenimiento, limpieza y pintura de instrumentación</b>	Labores de pintura: tapas de los instrumentos, casetas de piezómetros hidráulicos, casetas de acelerógrafos, casetas de bodega, cajas de shafts, mojones control topográfico (incluye plateo alrededor), testigos para fotos obligadas, pasamanos, estructura exterior de los pozos de ventilación de las galerías.	La pintura se hace cada año, pero se realiza plateo a los mojones cada 2 o 3 meses.
<b>Mantenimiento y limpieza de estructuras de concreto y demás componentes de la Presa</b>	Retiro de malezas de la cresta, limpieza de sistemas de drenaje y todo el mantenimiento de las casetas de instrumentos, bodegas y demás estructuras de la Presa, igualmente la limpieza (mantenimiento) de los drenajes en los muros de los vertederos de la presa.	Mensual
<b>Reparación y mantenimiento de cunetas</b>	Retiro de material vegetal y derrumbes que se puedan presentar, sellado de grietas que se presenten, reconstrucción de tramos que se requieran y rocería de mínimo un metro a ambos lados donde sea posible, en todas las cunetas de la presa y taludes.	Mensual
<b>Mantenimiento a drenes horizontales</b>	Limpieza de drenes e inserción de una varilla o pesca, para retiro de lodos alojados dentro de estos.	Trimestral

<sup>1</sup> Actividades actualizadas 2020 – José Alirio Hoyos (Tecnólogo encargado de la Presa Santa Rita)

<b>Rocería, mantenimiento y protección de taludes</b>	Corte y retiro de vegetación inapropiada en taludes, además corte de grama y pegado de la misma en escarpes de derrumbes (donde se presente esta situación) y fabricación de trinchos en madera cuando sea necesario.	Bimestral
<b>Limpieza, mantenimiento de brechas para la evacuación de escorrentía</b>	Limpieza y mantenimiento de brechas para evacuación de escorrentía en la presa.	Trimestral



## 11. GESTIÓN DEL RIESGO

### 11.1. Plan de gestión de riesgos de desastres (PGRD)

Desde el proceso producción de energía se generan una serie de señales que son monitoreadas desde el Centro de Control en Medellín (Subestación Colombia), a partir de las cuales se toman decisiones operativas asociadas a la generación de energía. Estas señales son relevantes en la medida que se consideran una entrada para el sistema de modificación de eventos adversos, toda vez que pueden ser clasificadas como alertas, alarmas o condiciones latentes que implican un procedimiento, según el rango en el que se ubiquen. [15]

A nivel operativo, EPM realiza un seguimiento del estado de sus embalses y de la infraestructura de las represas, monitoreando equipos, realizando visitas de evaluación, inspecciones aguas debajo de los embalses y otra serie de medidas, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de su infraestructura. Esto garantiza la operación de manera segura, aun en condiciones de fuerte ola invernal, lo cual brinda tranquilidad y seguridad a las comunidades localizadas aguas debajo de la infraestructura.

La información obtenida de los distintos programas o procesos que monitorean señales operativas se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Señales operativas Central Hidroeléctrica de Guatapé.

Proceso/ Programa	Señal	Ubicación	Aspectos relevantes	Tipo de afectación
<b>Seguridad de Presas</b>	Umbral de magnitud y radio de distancia sismos	Epicentro - Datos de INGEOMINAS	Todo el umbral corresponde a la señal. Se genera la notificación ante la presencia de un dato por encima de cualquier nivel del rango.	Se define posterior a la inspección, por el tipo de afectación resultante.
	Infiltraciones	Instrumentación de la presa	Tiene correlación con el nivel de embalse.	Se define posterior al análisis de datos obtenidos.
	Tasa de descenso de embalse	Instrumentación del embalse	Es con seguimiento posterior, está relacionada con la velocidad de descenso. Implica inspección de seguridad.	Da una señal a la operación para el control del vertimiento.
	Nivel de embalse bajo	Instrumentación en la captación	Cuando está por debajo del nivel mínimo técnico.	Se afecta la operación de túneles para evitar aire en la captación.

<b>Vertimientos</b>	Nivel de embalse alto (vertimientos)	Instrumentación del nivel del embalse	Es una señal que se relaciona con el caudal que se va a verter y dependiendo de este caudal se determina si se emite o no alertas por posibles desbordamientos del río aguas debajo de la presa.	La Unidad Hidrometría Calidad avisa a la Unidad Gestión Ambiental y Social cuando hay alertas y ésta última es quien emite la alerta externamente a Corporaciones, Municipios, etc. Cuando la alerta alcanza umbrales para Naranja o Roja.
---------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	--	--

Fuente: Plan de Gestión de Riesgos de Desastres Central Hidroeléctrica Guatapé [15]

La gestión del riesgo desde la Seguridad Operacional abarca la identificación, evaluación y reducción de los riesgos operacionales, con el objetivo de identificar las amenazas, peligros y factores de riesgo, ya sea desde el componente pasivo de los eventos adversos (inductores) o desde el componente activo (causas), asociados a la vulnerabilidad (predisposición a sufrir daño) y evaluar el riesgo resultante (inherente), con base en desarrollar e implementar acciones de reducción eficaces y adecuadas.

Teniendo como base lo establecido en la Guía Metodológica para la Gestión Integral de Riesgos, EPM hace una valoración los controles existentes a nivel del proceso, tomando como referencia los criterios presentados en la tabla de valoración de controles, con el objetivo de priorizar la gestión considerando el nivel de riesgo de cada escenario. Esta valoración consiste en evaluar los atributos, la eficacia y efectividad de los controles existentes y que se encuentran orientados a disminuir la probabilidad o la consecuencia del riesgo.

#### 11.1.1. Sistema de notificación

En función del tipo de falla que pudiera producir la rotura de la presa Santa Rita, susceptible de desencadenar el evento de inundación aguas debajo de esta, las señales de ocurrencia de dicha falla estarían definidas tanto por la percepción directa de alguna deficiencia en la presa como por el registro de los instrumentos que son monitoreados permanentemente por el personal adscrito a la Unidad de Hidrometría y Calidad y a la Unidad de Operaciones Zona Oriente.

#### 11.2. Alertas tempranas, vertimientos y operación

La metodología empleada en EPM para la estimación de los caudales de alerta de inundaciones aguas debajo de las presas, asociadas a vertimientos o vertimientos más descargas por generación de energía (cuando la descarga por generación cae el mismo río donde cae el vertimiento) se describe a continuación. [22]

Para la estimación de los caudales por inundaciones aguas debajo de la presa se consideran tres criterios:

- El promedio del caudal máximo instantáneo anual registrado a la entrada del embalse, o el registrado aguas abajo de la presa antes del llenado del embalse.

- El caudal a banca llena, el cual se estimó con base en el levantamiento topográfico y la curva de calibración, en la estación localizada aguas abajo del sitio de presa o en su defecto en la estación localizada a la entrada al embalse.
- El caudal correspondiente a un periodo de retorno de 2.33 años.

El caudal de alerta se definió con base en los caudales previamente descritos y teniendo en consideración los vertimientos históricos y vertimientos históricos de inundaciones de los que se tuviese conocimiento. El cual seleccionado se llevó por regresión al sitio de presa y se neutralizo, es decir se le sumó o restó los caudales influidos. Con la calibración del vertedero se definió para el caudal de alerta la correspondiente cota del embalse. [22]

Los caudales señalados con alerta roja son los que producirían inundación aguas debajo de la presa; la alerta naranja y amarilla corresponden al 75% y 50% respectivamente del caudal de alerta roja. En la Tabla 15 se presentan los caudales que generan cada tipo de alerta.

Tabla 15. Alertas ante caudales excepcionales de la presa Santa Rita.

Alerta	Cota (msnm)	Criterio Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Tipo de Caudal
Roja	1888,03	>= 158	Vertimiento
Naranja	1887,86 - 1888,03	Entre 119 y 158	
Amarilla	1887,67 - 1887,86	Entre 79 y 119	

Fuente: Sistema de Alerta Temprana (SAT) [22]

La Unidad de Gestión Ambiental y Social envía las alertas externamente con los mensajes respectivos a la autoridad ambiental (CORNARE), los municipios aguas debajo de la presa (Consejos Municipales de Gestión del Riesgo CMGT de los municipios de San Rafael, y San Carlos) y al Departamento Administrativo del Sistema para la Prevención, Atención y Recuperación de Desastres de Antioquia (DAPARD).

### 11.3. Plan de emergencia por eventual rompimiento de la presa

Para el desarrollo de un plan de emergencia por eventual rompimiento de la presa debe obtenerse la mancha o llanura de inundación, a fin de definir acciones preventivas y de mitigación por eventuales efectos negativos en las poblaciones.

#### 11.3.1. Plan de acción durante emergencias por inundación aguas abajo de la presa Santa Rita (PADE)

##### Descripción general de la llanura de inundación

La inundación que se generaría ante el evento de ruptura de la presa Santa Rita (embalse Peñol-Guatapé), a lo largo del río Nare, en jurisdicción del municipio de Alejandría. Las llanuras de inundación se extienden a lo largo del valle del río, desde el sitio de presa pasando por la vereda San Pedro, luego la cabecera urbana y la

vereda Tocaima, para luego afectar sectores de las veredas El Popo, Remolino, San Miguel y El Respaldo junto al embalse de San Lorenzo. [23]

La Creciente Máxima Probable empleada más adecuada para calcular los parámetros de rotura de determinó comparando los volúmenes obtenidos en los cálculos del estudio realizado por integral y el realizado en el estudio para la obtención de la mancha de inundación. En el caso de Integral en el estudio *Evaluación de la Presa Santa Rita, actualización del estudio hidrológico e hidráulico* (1998) es de aproximadamente 250 Mm<sup>3</sup> y se estimó considerando tres cuencas (Cuenca arriba de la cabecera del embalse, cuenca de la quebrada La Magdalena, Subáreas adyacentes al embalse), mientras que el determinado en el estudio es de 91 Mm<sup>3</sup>. Por tanto, considerando la diferencia de volúmenes, la CMP escogida es la correspondiente al estudio de Integral (3370 m<sup>3</sup>/s) (1998). [23]

## 12. COMPORTAMIENTO HIDRÍCO Y UMBRALES DE OPERACIÓN DEL EMBALSE EL PEÑOL – GUATAPÉ

### 12.1. Información hidroclimatológica para la operación

La cuenca de El Peñol-Guatapé cuenta con estaciones limnigráficas, climatológicas y pluviométricas relacionadas en la Tabla 16.

Tabla 16. Relación de estaciones presentes para la Cuenca de El Peñol-Guatapé.

<b>Nombre Estación</b>	<b>Tipo</b>
<b>BP-9 (Bombeo Piedras)</b>	Limnigráfica
<b>El Carmen</b>	Pluviométrica
<b>Corrientes</b>	Pluviométrica
<b>El Peñol</b>	Climatológica
<b>Santuario</b>	Pluviométrica
<b>Guatapé</b>	Pluviométrica
<b>La Helida</b>	Pluviométrica
<b>La Mosca</b>	Pluviométrica
<b>Las Palmas</b>	Pluviométrica
<b>La Macarena</b>	Pluviométrica
<b>RN-1B (Rebose Pantanillo)</b>	Pluviométrica
<b>RNS-21 (Puente Angostura)</b>	Pluviométrica
<b>San Vicente</b>	Pluviométrica
<b>Santa Rita</b>	Climatológica
<b>Vasconia</b>	Pluviométrica
<b>RN-4A (Río Abajo)</b>	Limnigráfica

Fuente: Propia

La información de cada una de las estaciones relacionadas se registra de manera diaria en un archivo mediante el aplicativo SIDOP en el cual se generan informes diarios de Operación esta información es gestionada por el Equipo de PECL.

En la Figura 24 se presenta la localización de las estaciones anteriormente mencionadas.

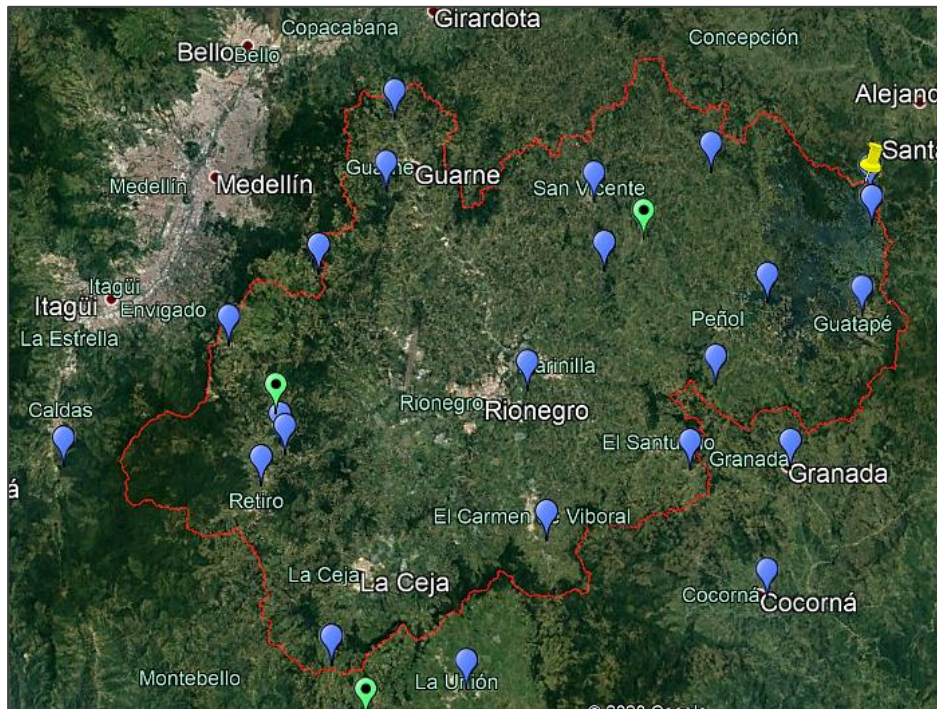


Figura 24. Localización de las estaciones hidrometeorológicas.

Fuente: Google Maps

Las variables registradas con estas estaciones son: caudal en  $m^3/s$ , nivel del embalse en msnm, y otras variables como horas de sol, radiación solar, temperatura, evaporación, humedad, velocidad y dirección del viento, precipitación. Dichos datos son enviados vía satélite a los softwares HYDSTRA y SIDOP , y son procesados y analizados por la Unidad de Hidrometría y Calidad – UHC, para generar un reporte diario a XM sobre las condiciones del proyecto. Dichos datos alimentan los modelos de pronósticos hidrológicos, los cuales son de interés para Unidad Gestión Bolsa de Energía, que, junto con los análisis de mantenimiento de la Dirección de Operaciones Generación Energía, genera las decisiones relacionadas con la operación del embalse.

## 12.2. Características del embalse

Las principales características del embalse se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Características básicas de la cuenca del embalse Guatapé.

<b>Área tributaria</b>	842 $km^2$
<b>Cuenca embalse: Caudal medio</b>	28,08 $m^3/s$
<b>Volumen Útil</b>	1044,02 $Mm^3$

Fuente: Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé [24]

### 12.3. Niveles de referencia y volúmenes característicos del embalse

Los niveles característicos que enmarcan el funcionamiento del embalse, tanto en condiciones normales como en condiciones de emergencia, se describen en la Tabla 18.

Tabla 18. Niveles de referencia del embalse.

Descripción	Cota [msnm]
Nivel máximo de diseño	1890,5
Nivel máximo histórico	1887,95
Nivel normal de operación (vertimiento)	1887
Nivel mínimo histórico	1856,65
Nivel mínimo técnico	1860,0
Nivel mínimo físico	1853,0

Fuente: Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé [24]

Considerando la curva de capacidad del embalse obtenida con la batimetría del año 2016 en la Figura 25 se presenta la curva de los volúmenes característicos y el área del embalse para las dos últimas batimetrías realizadas, así mismo en la Tabla 19 se definen los volúmenes característicos del embalse.

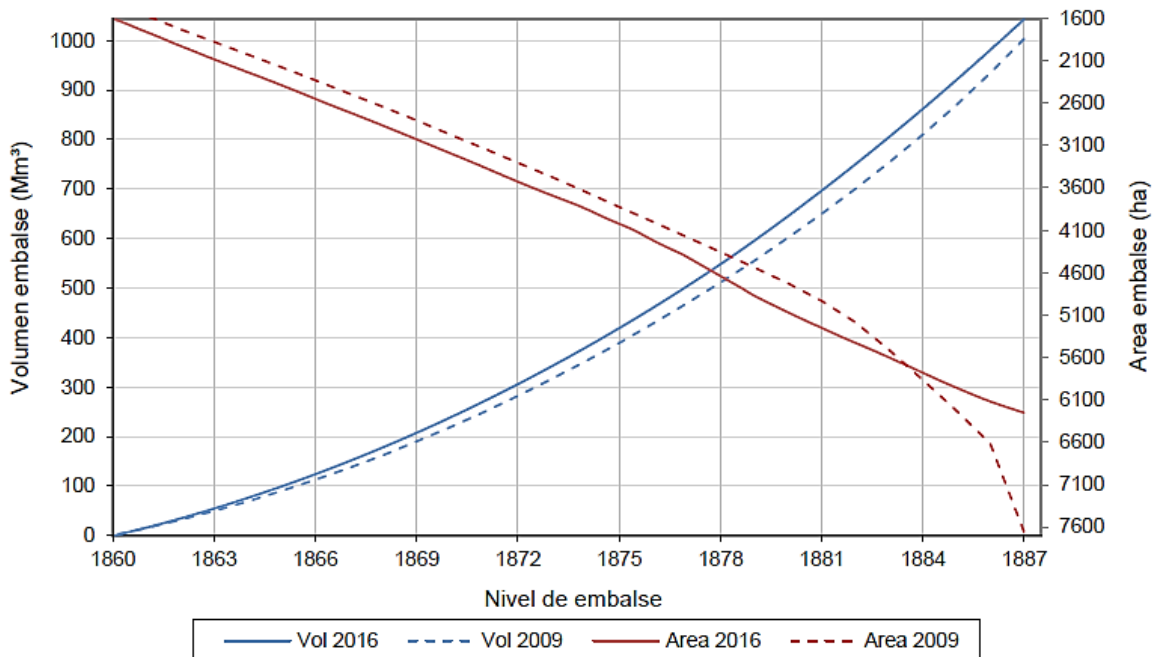


Figura 25. Curva cota-área-volumen útil del embalse Peñol-Guatapé en las dos últimas batimetrías.  
Fuente: Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé [24]

Tabla 19. Volúmenes característicos del embalse según batimetría 2016. [24]

Descripción	Valor [Mm <sup>3</sup> ]
<b>Volumen total</b>	1147,55
<b>Volumen muerto</b>	25,7
<b>Volumen mínimo técnico</b>	77,83
<b>Volumen útil</b>	1044,02
<b>Volumen máximo técnico</b>	1121,85

Fuente: Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé [24]

El registro histórico de la variación de los niveles del embalse se estima considerando una medición diaria de los mismos, la tasa máxima y mínima de variación de los niveles durante el llenado del embalse se presentan en la Tabla 20, los cuales son tomados de una serie de 1977 a 1979 fecha para la culminó la etapa de llenado.

Tabla 20. Registro de la tasa de variación máxima y mínima para periodo de llenado del embalse.

<b>Tasa máxima de ascenso [m/día]</b>	<b>0,60</b>	<b>Fecha: 27/09/1977</b>
<b>Tasa máxima de descenso [m/día]</b>	<b>-0,23</b>	<b>Fecha: 08/05/1978</b>

Fuente: Propia

Así mismo, se relaciona la fecha para cada uno de ellos en la cual la mayor velocidad de ascenso reportada en 1977 corresponde a la culminación de la construcción de la Etapa II que darían por conformado el embalse el Peñol-Guatapé.

No obstante, en la Tabla 21 se detalla la tasa máxima de variación del nivel en ascenso y descenso registrados en una serie de tiempo desde 1979 – 2020, periodo en el cual ha estado en operación el embalse.

Tabla 21. Velocidad máxima de variación del embalse (Descenso y Ascenso).

<b>Tasa máxima de ascenso [m/día]</b>	<b>0,46</b>	<b>Fecha: 06/06/1984</b>
<b>Tasa máxima de descenso [m/día]</b>	<b>-0,28</b>	<b>Fecha: 12/04/1992, 2/06/1997</b>

Fuente: Propia

La fecha del 12 de abril de 1992 reportada como la máxima variación de descenso de los niveles del embalse en la cual se registró un nivel mínimo de 1860,14 msnm, se atribuye a la crisis energética que tuvo Colombia causada por el fenómeno de El Niño.



Dentro de los registros históricos, el embalse cuenta con una tasa promedio de ascenso y descenso de 0,060 m/día.

#### 12.4. Registros periódicos de niveles

La estación localizada en la Torre de Capación Santa Rita II (2308742) registra los niveles de embalse. En la Figura 26 se representan los valores promedio mensuales multianuales registrados por la estación, así mismo la serie analizada comprende a los años 1980 – 2020 para una serie registrada de 40 años.

Con el fin de describir la gestión hídrica del embalse, la Figura 26 representa los valores de precipitación en el embalse registrados por la estación de nombre Santa Rita (2308505). En esta, se presentan los valores promedio mensuales multianuales registrados por la estación para los valores de precipitación de los años 1970 – 2020 para una serie registrada de 50 años.

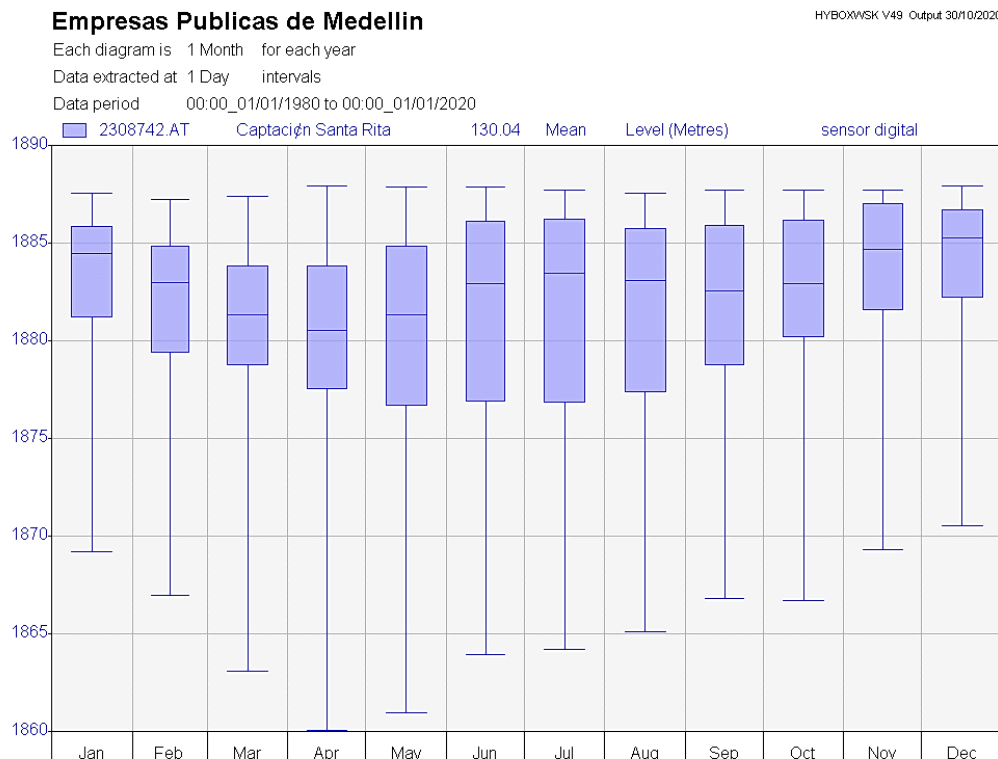


Figura 26. Registro promedio mensual multianual de niveles en el embalse El Peñol - Guatapé.  
 Fuente: HYDSTRA

Por consiguiente, evidenciando el comportamiento promedio de los niveles para cada mes, se tiene el nivel promedio más bajo en el mes de abril, el cual relacionado con la Figura 27 es el punto en el cual se inicia uno de los dos periodos húmedos del año correspondientes a abril y mayo y el segundo periodo se daría en los meses de agosto a noviembre, teniendo una menor precipitación en el mes de diciembre. Así mismo, se evidencia el llenado del embalse en temporadas de invierno y la disminución en el nivel de este para las

temporadas de verano, siendo aprovechado para la generación de energía en la Central Guatapé. La época seca corresponde a diciembre, enero y febrero.

Así mismo, la Figura 26 evidencia un comportamiento bimodal, en donde se presenta una mínima variación con relación a los niveles altos para cada mes, siendo más representativa esta relación en el segundo semestre del año; para los niveles más bajos esta variación es mucho más amplia en cada uno de los meses siendo más característica en los meses de sequía.

No obstante, en la Figura 27 se evidencia una baja variabilidad en la precipitación para cada uno de los meses.

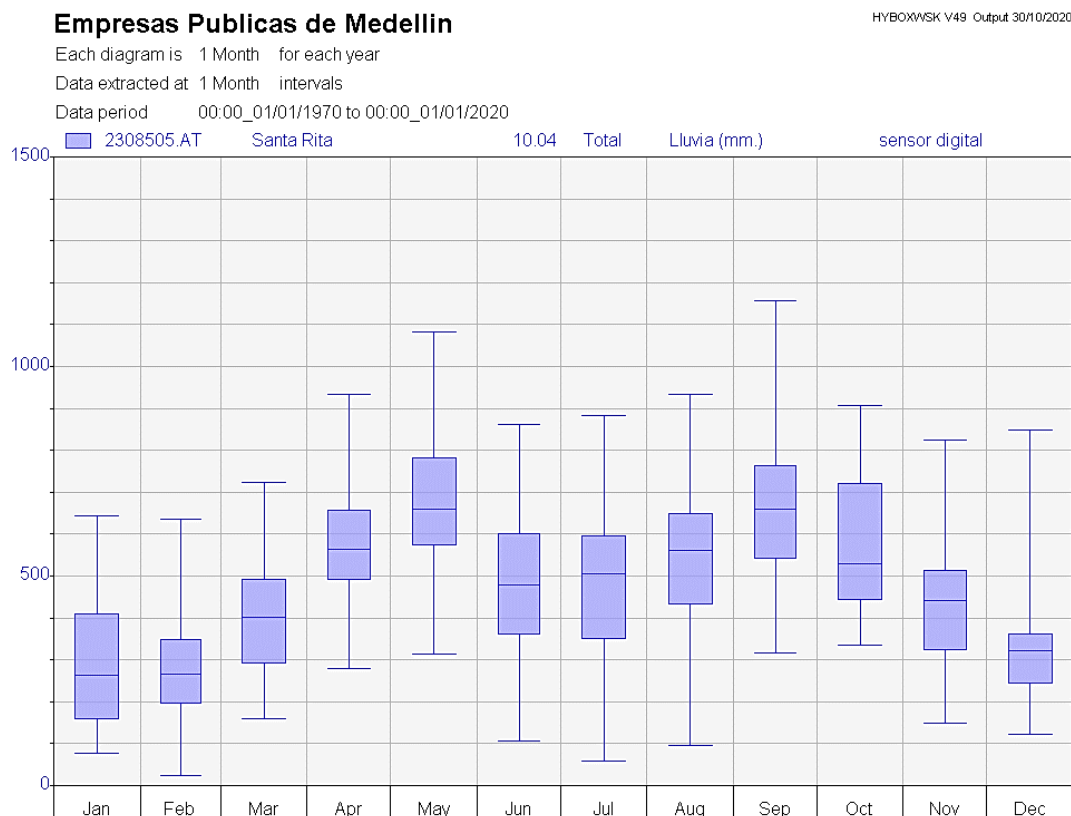


Figura 27. Registro promedio mensual multianual de precipitaciones sobre el embalse El Peñol-Guatapé.  
 Fuente: HYDSTRA

Los niveles del embalse y los registros de precipitación no cuentan con una tendencia definida, considerando que en los niveles iniciales (de precipitación baja) se tiene el embalse en los niveles más altos, los cuales son aprovechados para la generación de energía, y los periodos de niveles más bajos (de precipitaciones altas) corresponden al abastecimiento del embalse, esto se atribuye a la capacidad del embalse la cual permite regular todo un año completo de lluvias superando así el comportamiento estacionario anual.

Así mismo, en la Figura 28 representa la probabilidad de variación de los niveles del embalse considerando los registros históricos. Esta misma, indica que la probabilidad de variación del embalse para niveles muy bajos es

alta y sus cambios son grandes, mientras que para niveles altos su probabilidad de variación es muy baja y sus cambios son mínimos. El nivel promedio del embalse es de 1882,4 msnm.

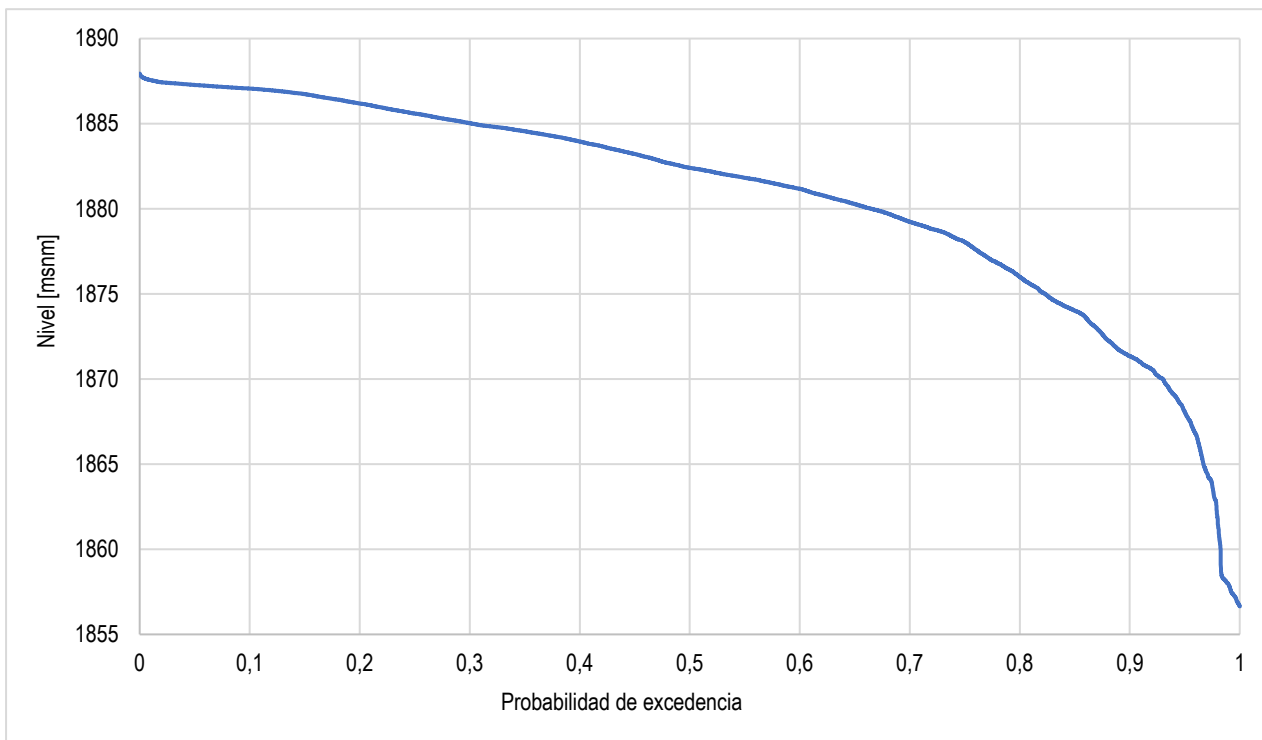


Figura 28. Probabilidad de variación en los niveles del embalse.  
Fuente: Propia

### 12.5. Aportes al embalse

Los aportes al embalse del Peñol-Guatapé son medidos por la estación RN-4A (2308709) la cual se encuentra ubicada en la cola del embalse. Los caudales máximos, mínimos y el promedio de caudal de aporte considerando los registros analizados que comprende los años 1981 – 2019 para una serie registrada de 38 años se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Registro de caudales históricos para el embalse El Peñol - Guatapé.

Detalle	Valor [m <sup>3</sup> /s]	Fecha de registro
Caudal Mínimo de aporte	2,09	15/09/2019

<b>Caudal Promedio de aporte</b>	27,00	-
<b>Caudal Máximo de aporte</b>	224,53	23/04/2011

Fuente: Propia

En la Figura 29 se representa el registro promedio mensual multianual para los aportes al embalse, en una serie de tiempo desde 1954 al 2010, el mismo evidencia una relación directa en el comportamiento de las precipitaciones presentando sus máximos aportes en los meses de mayo y octubre, temporada para la cual en la Figura 27 se evidencian registros de altas precipitaciones. Así mismo, para los meses de menor precipitación se evidencian los menores aportes correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo. El caudal promedio de aporte diario basado en el registro histórico medido por la estación RN-4A tiene como registro un valor de 27,0 m<sup>3</sup>/s.

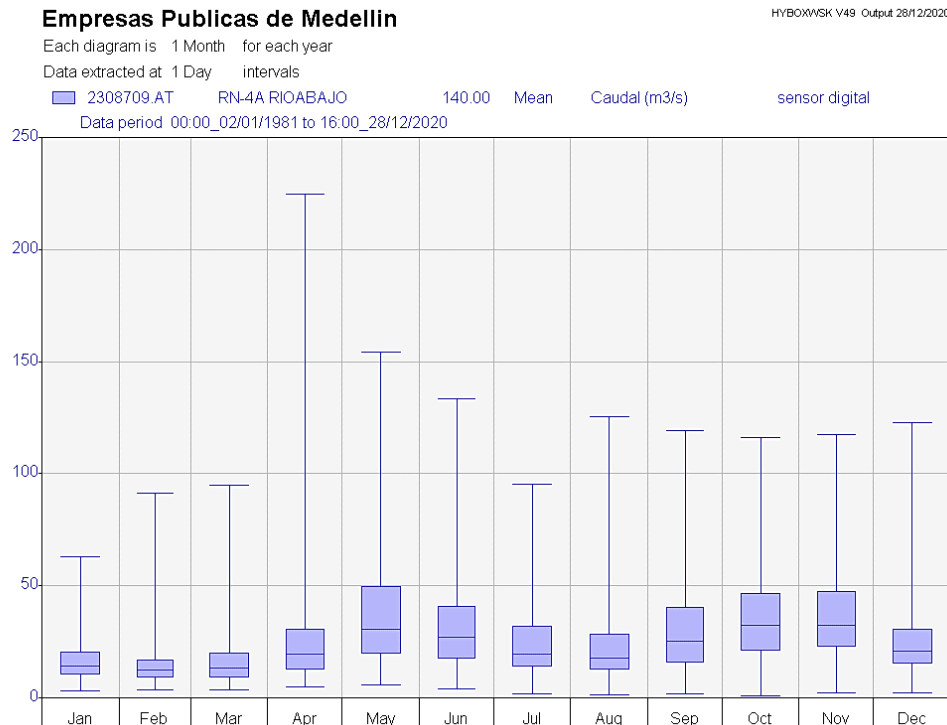


Figura 29 .Registro promedio mensual multianual para los aportes al embalse  
 Fuente: HYDSTRA

El factor de conversión es la relación entre la potencia eléctrica generada neta y la unidad de caudal necesaria para generar esa potencia para una cabeza hidráulica determinada expresándose en MW/m<sup>3</sup>/s. Para la Central de Guatapé, el cálculo del factor de conversión se determinó empleando la Ecuación 1.

Ecuación 1.

$$F_c = 0,0495725573 (Cota) - 86,2971228551$$

En la Tabla 23 se presenta una relación entre la capacidad de almacenamiento y los factores de conversión.

Tabla 23. Factor de conversión (MW/m<sup>3</sup>/s) considerando el Volumen útil del embalse (mM<sup>3</sup>).

Porcentaje del volumen útil	Volumen Útil [Mm <sup>3</sup> ]	Cota [msnm]	Factor de Conversión [MW /m <sup>3</sup> /s]
0%	0	1860	5,9078337
25%	260,86	1870,66	6,4362772
50%	522,2	1877,41	6,7708919
75%	783,29	1882,59	7,0276778
100%	1044,02	1887	7,2462928

Fuente: Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé [24]

### 12.6. Operación del vertedero

El vertedero de la presa Santa Rita es de tipo canal abierto sin compuertas, esta estructura es la encargada del control de crecientes, en la Figura 30. evidencia la curva de capacidad de descarga del vertedero asociada al nivel de embalse en el que se encuentre.

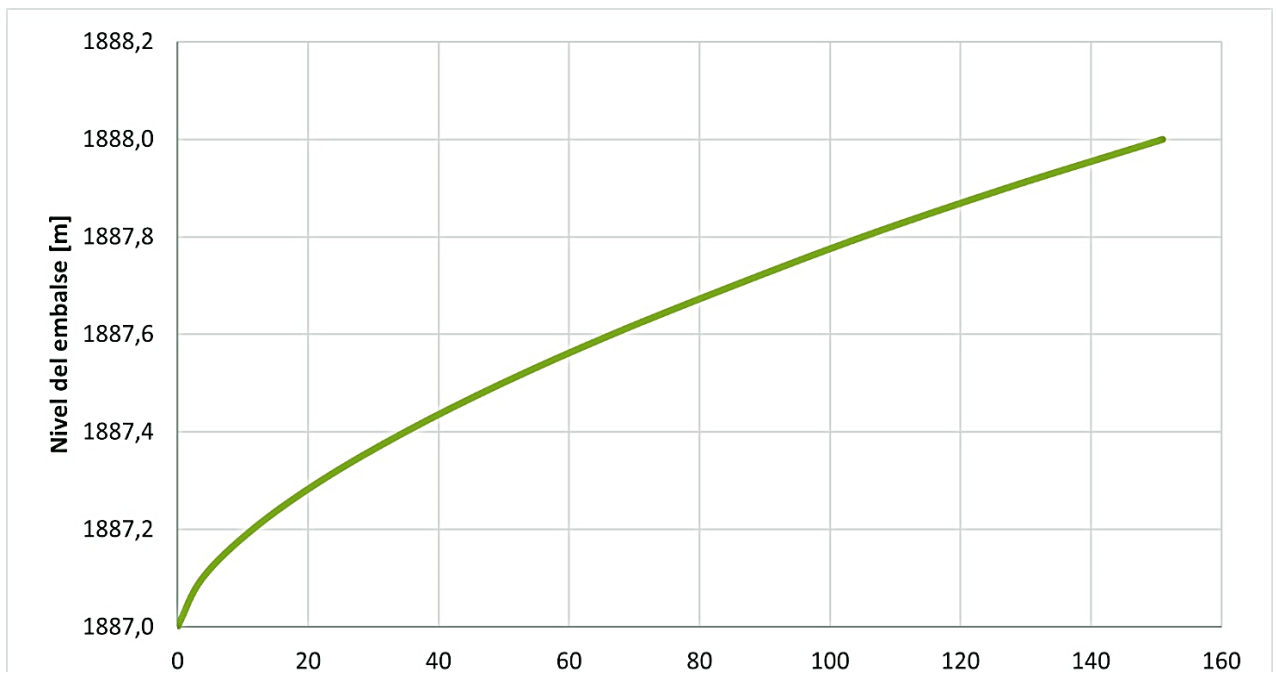


Figura 30. Curva de calibración del vertedero actualizada.

Fuente: SIDOP

### 12.6.1. Caudal máximo de vertimiento históricos

En la Tabla 24 se evidencia el registro del caudal máximo histórico descargado por el vertedero de la presa Santa Rita y la fecha con relación al evento, los registros que tienen por objeto la medición de este caudal tienen una frecuencia diaria.

Tabla 24. Registro de caudales históricos de descarga por el vertedero.<sup>19</sup>

Detalle	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Fecha
Máximo	137,22	28 de abril de 2011

Fuente: Propia

El número de vertimientos en total durante la operación para el vertedero de la Presa Santa Rita es de 1775 desde su inicio de registro en el año 1978 hasta el 2019. Es decir, el 12% de los días desde su operación ha registrado vertimientos diarios; con un caudal promedio diario de 22,64 m<sup>3</sup>/s. Así mismo, registra un máximo de días de vertimiento continuo de 166, registrados desde 28 de junio al 26 de noviembre de 1996.

En los registros históricos se evidencia un máximo número de vertimientos en el año 1989 con un caudal total anual descargado de 4843,98 m<sup>3</sup>/s distribuidos en mayor proporción en los meses de septiembre, octubre y enero. En el 57 % del tiempo en operación no se presentaron registros de vertimientos anuales, no obstante, la mayor concentración de este porcentaje se evidencia en los años 1978 – 1987, años posteriores a la culminación las obras de construcción de la Etapa II.

### 12.6.2. Caudales de descarga turbinada Guatapé

En la Tabla 25 se presenta el registro de caudal máximo histórico y el caudal promedio de descargado por la central de Guatapé.

Tabla 25. Registro de caudales históricos turbinados de descarga para Guatapé.

Detalle	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Fecha
Máximo	82,98	16 de abril de 2019
Promedio	46,33	-

Fuente: Propia

Dentro de los registros históricos diarios se tiene que el 66% del tiempo de registro (1999 – 2019) se generan descargas turbinadas por parte de la central al río Guatapé. Así mismo, el registro de estos caudales de descarga turbinada se encuentra en el programa HYDSTRA con una frecuencia de medición diaria, el registro y procesamiento de esta información está a cargo del Equipo de PECl.

## ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS AL DESARROLLO DEL MANUAL

### 13. REVISIÓN DE REGISTROS DE PUNTO DE CONTROL Y PROPUESTA DE EXCEL PARA PRESENTACIÓN

Se realizó la revisión para cada uno de los registros de los puntos de control y se adicionaron los dos últimos registros realizados en los meses de julio y octubre respectivamente; este control se realiza de manera trimestral con la finalidad de tener un comportamiento más preciso del estado de las estructuras. Así mismo, se unificaron los formatos para cada uno de los registros y se realizó la revisión a detalle de cada una de las fórmulas empleadas en los cálculos de desplazamientos con relación al eje de la presa.

En la Figura 31 se evidencia el formato unificado de registro de puntos de topografía para cada una de las presas, el mismo permite ingresar a través de los controles los valores de las coordenadas este y norte y la cota registrados en campo de los puntos de control. Así mismo, relaciona estos desplazamientos teniendo como referencia el eje de la presa con la finalidad de tener un comportamiento más representativo visualmente en los gráficos como se presenta en la Figura 32.

<b>EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN</b> DIRECCIÓN DE OPERACIONES - ÁREA HIDROMETRÍA E INSTRUMENTACIÓN SEGURIDAD DE PRESAS										Azimut del eje de la presa <b>212.7</b>				
<b>PRESA TRONERAS</b>										Recalcular coordenadas (Botón)				
<b>REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS EN LOS PUNTOS DE CONTROL SUPERFICIAL MT-1 @ MT-25</b>														
<b>MT-1</b>										<b>MT-1</b>				
FECHA	DESPLAZAMIENTOS NORTE - ESTE			DESPLAZAMIENTOS NORTE - ESTE			DESPLAZAMIENTOS NORTE - ESTE			DESPLAZAMIENTOS REFERENCIADOS AL EJE DE LA PRESA				
	Coordenada	Desplazamiento parcial (cm)	Desplazamiento acumulado (cm)	Coordenada	Desplazamiento parcial (cm)	Desplazamiento acumulado (cm)	Cota	Desplazamiento parcial (cm)	Desplazamiento acumulado (cm)	Desplazamiento parcial paralelo (cm)	Desplazamiento parcial perpendicular (cm)	Desplazamiento acumulado paralelo (cm)	Desplazamiento acumulado perpendicular (cm)	Resultado (cm)
17-dic-93	1241494,329	0,0	0,0	870191,887	0,0	0,0	1775,286		0,0					
30-jun-94	1241494,329	0,0	0,0	870191,887	0,0	0,0	1775,276	-1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
16-nov-94	1241494,320	-0,8	-0,8	870191,880	-0,7	-0,7	1775,281	0,5	-0,5	0,7	-0,6	0,7	-0,6	-0,39
4-may-95	1241494,327	0,7	-0,1	870191,886	0,6	-0,1	1775,276	-0,5	-1,0	-0,6	0,5	0,1	-0,1	0,12
19-feb-96	1241494,331	0,4	0,3	870191,887	0,1	0,0	1775,259	-1,7	-2,7	-0,3	0,1	-0,3	0,0	0,25
17-mar-98	1241494,329	-0,2	0,1	870191,876	-1,1	-1,1	1775,254	-0,5	-3,2	0,2	-0,9	-0,1	-0,9	0,93
6-abr-99	1241494,328	-0,1	0,0	870191,900	2,4	1,3	1775,248	-0,6	-3,8	0,1	2,0	0,0	1,1	1,09
3-ago-00	1241494,330	0,2	0,2	870191,893	-0,7	0,6	1775,247	-0,1	-3,9	-0,2	-0,6	-0,2	0,5	0,53
28-ago-01	1241494,331	0,1	0,3	870191,895	0,2	0,8	1775,231	-1,6	-5,5	-0,1	0,2	-0,3	0,7	0,72
15-may-02	1241494,333	0,2	0,5	870191,866	-2,9	-2,1	1775,242	1,1	-4,4	-0,2	-2,4	-0,4	-1,8	1,82
9-ago-03	1241494,335	0,2	0,7	870191,849	-1,7	-3,8	1775,254	1,2	-3,2	-0,2	-1,4	-0,6	-3,2	3,25
24-mar-04	1241494,315	-2,0	-1,3	870191,890	4,1	0,3	1775,211	-4,3	-7,5	1,7	3,5	1,1	0,3	1,12
15-feb-05	1241494,311	-0,4	-1,7	870191,888	-0,2	0,1	1775,257	4,6	-2,9	0,3	-0,2	1,4	0,1	1,43
6-mar-06	1241494,316	0,7	-1,0	870191,871	-1,7	-1,6	1775,227	-2,0	-5,9	-0,6	-1,4	0,8	-1,3	1,59
29-mar-07	1241494,325	0,7	-0,3	870191,877	0,6	-1,0	1775,197	-2,0	-7,9	-0,6	0,5	0,3	-0,8	0,88
9-jul-08	1241494,321	-0,4	-0,7	870191,870	-0,6	-1,6	1775,193	-0,4	-8,3	0,3	-0,5	0,6	-1,4	1,47
3-ago-11	1241494,317	-0,4	-1,1	870191,863	-0,8	-2,4	1775,186	-0,7	-10,0	0,4	-0,7	0,9	-2,0	2,23
4-ago-12	1241494,310	-0,8	-1,9	870191,889	2,6	0,2	1775,187	0,1	-9,9	0,6	2,2	1,6	0,2	1,57
18-jun-13	1241494,321	1,2	-0,7	870191,861	-2,8	-2,6	1775,169	-1,8	-11,7	-1,0	-2,3	0,6	-2,2	2,24
3-jul-14	1241494,315	-0,7	-1,4	870191,873	1,2	-1,4	1775,170	0,1	-11,6	0,5	1,0	1,1	-1,2	1,62
23-jun-15	1241494,315	0,0	-1,4	870191,873	0,0	-1,4	1775,217	4,7	-6,9	0,0	0,0	1,1	-1,2	1,62
1-nov-16	1241494,296	-1,9	-3,2	870191,885	1,2	-0,16	1775,203	-1,4	-8,3	1,6	1,0	2,7	-0,1	2,71
13-jun-17	1241494,340	4,4	1,2	870191,863	-2,2	-2,4	1775,202	-0,1	-8,4	-3,7	-1,9	-1,0	-2,0	2,23
10-abr-18	1241494,315	-2,5	-1,3	870191,872	0,9	-1,5	1775,199	-0,3	-8,7	2,1	0,8	1,1	-1,2	1,66
9-abr-19	1241494,323	0,8	-0,5	870191,865	-0,7	-2,2	1775,200	0,1	-8,6	-0,7	-0,6	0,4	-1,8	1,87
12-jul-20	1241494,323	0,0	-0,5	870191,865	0,0	-2,2	1775,200	0,0	-8,6	0,0	0,0	0,4	-1,8	1,87
21-feb-20	1241494,332	0,9	0,4	870191,861	-0,4	-2,6	1775,196	-0,4	-9,0	-0,8	-0,3	-0,3	-2,2	2,18
									-9,00					
										21-oct-20		-0,33	-2,16	2,18

Figura 31. Formato de registro y control de topografía.

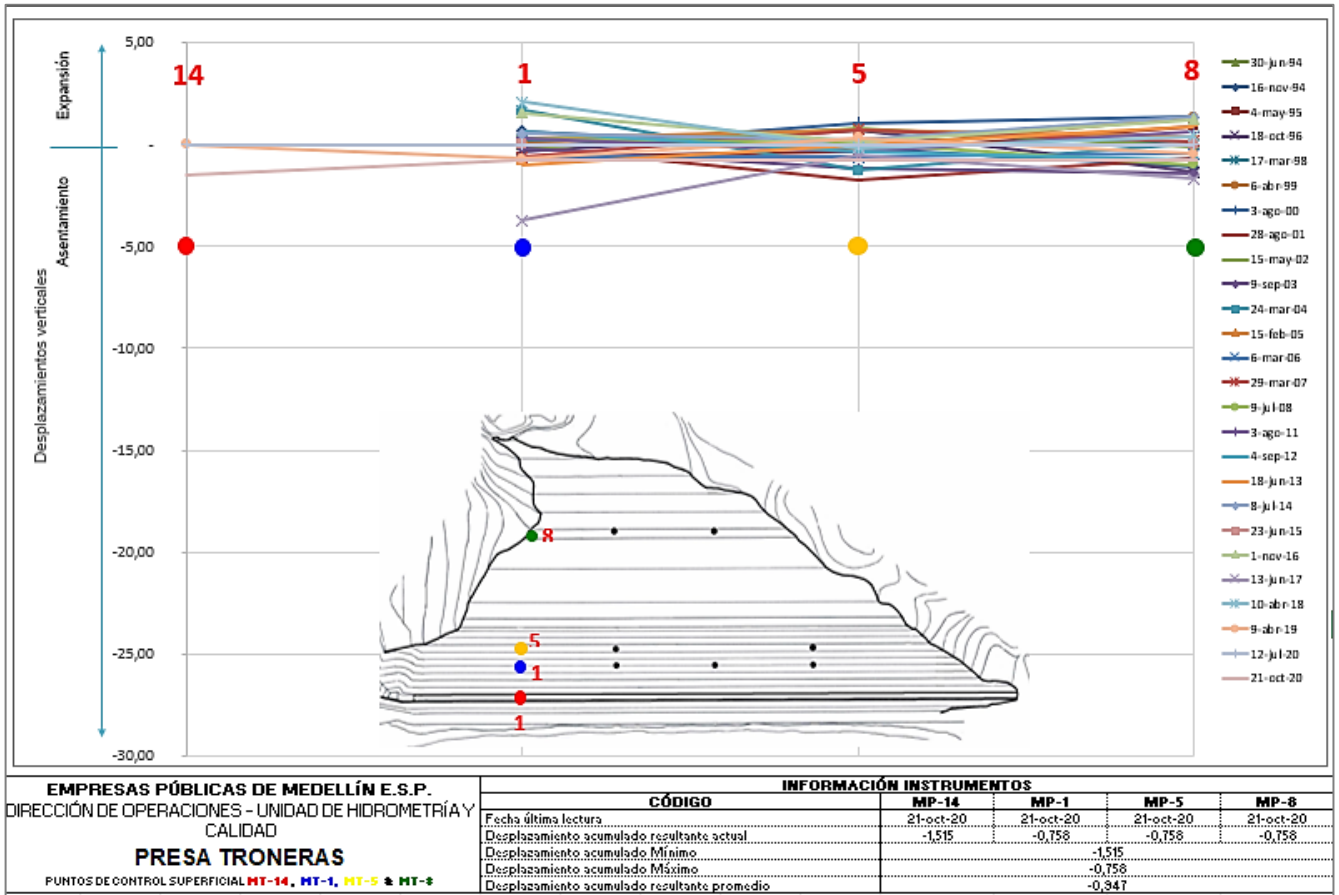


Figura 32. Gráficos de presentación de los desplazamientos de los puntos de control.

Con la finalidad de tener una mejor comprensión y hacer más dinámica la presentación de los resultados de los controles topográficos se realizó la propuesta de implementación de una hoja de Excel automatizada y dinámica que permitiera interactuar en las diferentes secciones de la presa, y los desplazamientos perpendiculares y paralelos para los puntos de control localizados en la presa.

En la Figura 33 se puede evidenciar la propuesta presentada realizada para la presa Quebradona, esta cuenta con una gráfica dinámica que varía considerando la sección que se elija, así mismo permite la selección de fecha para ver los registros acumulados según el rango de fecha seleccionada. Finalmente, cada punto de control varía considerando la selección y cuenta con hipervínculo que lleva directamente al registro de este punto de control previamente presentado en la Figura 31.

Con la finalidad de tener una mejor comprensión y hacer más dinámica la presentación de los resultados de los controles topográficos se realizó la propuesta de implementación de una hoja de Excel automatizada y dinámica que permitiera interactuar en las diferentes secciones de la presa, y los desplazamientos perpendiculares y paralelos para los puntos de control localizados en la presa.



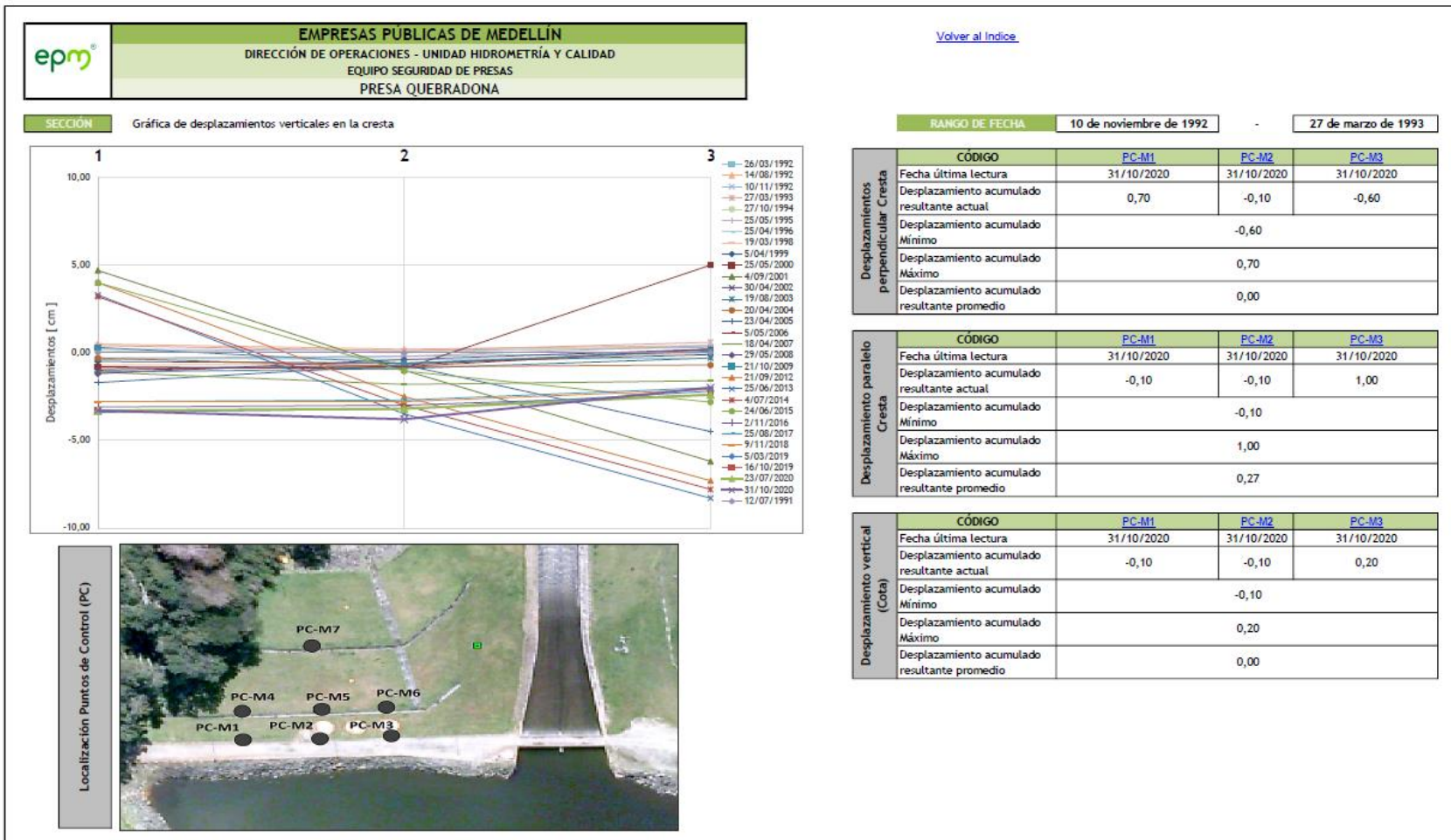


Figura 33. Propuesta de presentación de topografía dinámica para la Presa Quebradona.

## 14. CONCLUSIONES

- En el campo de las presas es indispensable garantizar la seguridad operacional teniendo presente que el fallo ocasionaría daños de gran magnitud en las poblaciones aguas abajo; en EPM la seguridad se garantiza por medio del Equipo de Seguridad de Presas el cual realiza inspecciones técnicas empleando controles en cada uno de los factores externos asociados a la presa o involucrados en la operación. Cada uno de estos factores son registrados en función disminuir la vulnerabilidad, esto debido a que el riesgo determinado por la misma es tan grande que el factor que resulta controlable hace referencia a la vulnerabilidad y los factores asociados a reducirla.
- El registro de cada una de las etapas asociadas al ciclo de vida de la presa tiene como objetivo la revisión y recopilación de varios documentos, buscando en ellos detalles técnicos que permitan comprender, garantizar y que, por ende, estén asociadas a los factores involucrados en la operación segura y/o factores que formen parte de la constitución u obras anexas. El documento realizado permitió obtener un contexto general de la presa Santa Rita, el cual tiene como contenido los factores de diseño de la segunda etapa, factores involucrados en la construcción, la actualización de estudios y las obras realizadas producto de estos estudios culminados en el 2005.
- El embalse tiene un papel fundamental que se ve reflejado en el comportamiento de la estructura interna de la presa, considerando que determina la condición de operación sobre todo en presas de materiales fino granulares; esta influencia se evidencia en los registros de instrumentación, en los cuales, los medidores de infiltración y los piezómetros principalmente deben responder a la variación del nivel del embalse para reflejar el buen comportamiento del sistema de drenaje en la presa y el flujo del agua en la misma.
- De la instrumentación la variable más representativa en las presas de tierra son las presiones registradas por los piezómetros, los cuales se instalan en el cuerpo de esta con el objetivo de registrar el comportamiento interno de las presiones ocasionadas por el flujo de agua. Así mismo, este registro permite obtener una descripción del comportamiento de las presiones en el cuerpo de la presa que en complemento con el registro de los medidores de infiltraciones permiten detectar problemas de presiones intersticiales que ponen en riesgo la operación segura de la presa.
- Los umbrales pueden ser cualitativos y cuantitativos, los umbrales cualitativos hacen alusión a los que son identificados (en el programa del equipo de Seguridad de Presas) en las revisiones de inspección rutinaria, periódica y extraordinaria; estos mismos permiten identificar falencias tales como la presencia de humedades visibles, daños en estructuras de descarga, alta presencia de vegetación la cual no permite obtener una visible completa del sitio, entre otros y su identificación está en función de la experiencia y el sentido común. Los umbrales cuantitativos están basados en niveles estadísticos y en análisis determinísticos considerando los criterios de diseño y análisis geotécnicos involucrados.
- Cuando se instala la instrumentación en la presa y los componentes asociados a esta, es indispensable la carta de calibración, la cual permite determinar la ecuación a utilizar para el registro de la variable de medición. Así mismo, es necesario el acta de instalación y la lectura inicial registrada en el momento de la instalación, en la cual la variable de registro se toma como cero. Finalmente, el acta de verificación la cual es entregada por el instalador.

- En la lectura de la instrumentación los valores registrados no reflejan un resultado decisivo, sin embargo, es la tendencia de estos la que determina las alertas y la probabilidad de un problema a resolver. Lo anterior, teniendo presente que la instrumentación automatizada puede presentar registros anómalos que podrían estar reflejando un factor no determinante para su análisis.
- La empresa cuenta con excelentes prácticas que se destacan en el sector y se diferencia por su estructura organizacional y calidez humana. El personal del equipo de Seguridad de Presas está capacitado para garantizar la operación de las presas a cargo. Con relación a esto, la empresa ofrece a través de métodos digitales plataformas de capacitación como “Universidad EPM” la cual permite realizar diversos cursos fomentando el constante aprendizaje y crecimiento profesional e institucional; durante el desarrollo de la práctica se realizaron cursos en la plataforma mencionada orientados a la estructura organizacional y procesos en relación con esta.
- El desarrollo de la práctica profesional se llevó a cabo de manera virtual, considerando las circunstancias de salud pública asociada al COVID-19. Sin embargo, esto no fue impedimento para el cumplimiento y control de actividades, ya que el equipo contaba con personal de campo que realizaba las inspecciones rutinarias y se realizaba la visita a las presas que presentaran un requerimiento de atención por parte del personal de oficina. Así mismo, se realizaron Grupos primarios cada quince días en los que se registraba el control de las actividades dispuestas y las deficiencias o factores a acatar. Por último, es de resaltar el compromiso y la disposición de cada uno de los integrantes de la unidad por dar solución a dudas, peticiones y sugerencias de cualquier ámbito brindando orientación de estas.

## 15. REFERENCIAS

- [1] Marín, Sergio ; Medina, Yuri, *Plan nacional de presas y embalses a nivel nacional*, Organización para rehabilitación y mantenimiento de embalses, 2018.
- [2] EPM, «Nuestra Empresa,» Medellín, sf.
- [3] Unidad Hidrometría y Calidad Generación Energía, «Generalidades Red Hidrometeorológica,» Medellín, Sf.
- [4] EPM, «Generación de energía eléctrica,» Sf. [En línea]. Available: [https://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/clientes-y-usuarios/nuestros-servicios/energia/generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa#Beneficios-energ-a-EPM-221](https://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/clientes-y-usuarios/nuestros-servicios/energia/generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa#Beneficios-energ-a-EPM-221).
- [5] EPM, *Ingeniería de Presas en Empresas Públicas de Medellín*, Medellín , 2008.
- [6] F. Restelli, «Innovación aplicada al control de grandes represas,» de *XIII Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica*, Argentina , 2017.
- [7] S. J. Martín, «La regulación y el control de la seguridad de presas en la Argentina,» *EA*, vol. 3, nº 2, p. 35, 2019.
- [8] J. Majin, D. Gomez y J. F. Florez, «Guía para la generación de planes de mantenimiento,» *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, nº 33, p. 150, 2019.
- [9] R. I. B. Cabrera, «Análisis del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de la presa,» Universidad Nacional De Cajamarca, Perú, 2018.
- [10] P. T. Castelú, «Plan de Mantenimiento predictivo mediante ensayos No destructivos en Aducciones de Agua Superficial para la Represa Tuní Condoriri a planta de El Alto.,» Universidad Mayor de San Andrés , Bolivia, 2018.
- [11] Integral LTDA., «ETAPA I INFORME FINAL GENERAL,» Medellín, 1999.
- [12] INTEGRAL LTDA, «Informe final actualización del estudio geológico y de geotecnia,» Medellín, 1998.
- [13] Integral LTDA., «Informe de Construcción Santa Rita Etapa II,» Medellín, 1979.
- [14] EPM, *Manual gestión Seguridad de Presas*, 2018.
- [15] EPM, *Plan de Gestión de Riesgos de Desastres Central Hidroeléctrica Guatapé*, 2019.
- [16] EPM, «Evaluación de los registros de los instrumentos de auscultación Geotécnica de la presa Santa Rita,» Medellín , 1995.
- [17] Integral LTDA, «Actualización del estudio de sismología,» 1998, 1997.
- [18] Integral LTDA, *Informe de diseño presa Santa Rita Etapa II*, Medellín, 1973.
- [19] EPM, «Evaluación de los registros de los instrumentos de auscultación geotécnica de la presa Santa Rita,» Medellín, 1995.
- [20] EPM, «Desarrollo Hidroeléctrico del Río Nare Central de Guatapé,» Medellín , sf.
- [21] Integral LTDA, «Manual de operación y mantenimiento,» Medellín , 1979.
- [22] EPM, *Sistema de Alerta Temprana (SAT)*, 2019.
- [23] EPM; DC; DAPARD, *Plan de acción durante emergencia por inundación aguas abajo de la Presa Santa Rita*, 2004.

- [24] EPM, Análisis de la información batimétrica del embalse Peñol-Guatapé, Medellín, 2016.
- [25] EPM, «Estructura administrativa,» Medellín , 2020.
- [26] Seguridad de Presas, «Generalidades,» Medellín, Sf.
- [27] EPM, Plan de Gestión de Riesgos de Desastres Central Hidroeléctrica Guatapé, 2019.

## **16. ANEXOS**

*Anexo 1. Manual de características básicas Operación y Mantenimiento de la Presa Santa Rita*