



**Continuidad de la puesta a punto del sistema de información de  
instrumentación geotécnica de las presas y obras civiles principales de las  
centrales hidroeléctricas pertenecientes a ISAGEN SA ESP**

Juan Pablo Pulgarín Sánchez

Informe de práctica académica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Edwin Fabián García Aristizábal, Ph.D

Universidad de Antioquia

Escuela Ambiental

Ingeniería Civil

Medellín

2022

Cita	Pulgarín Sánchez [1]
<b>Referencia</b>	[1] J. P. Pulgarín Sánchez, “Continuidad de la puesta a punto del sistema de información de la instrumentación geotécnica de las presas y obras civiles principales de las centrales hidroeléctricas pertenecientes a ISAGEN SA ESP”, [Semestre de Industria], Ingeniería Civil, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	7
2	Introducción	8
3	Objetivos	9
3.1	Objetivo general	9
3.2	Objetivos específicos	9
4	Marco teórico	10
4.1	¿Qué es un programa de gestión de la seguridad de las presas?	11
4.2	Clasificación de presas	13
4.2.1	Presas de tierra	13
4.2.1.1	Presas homogéneas	14
4.2.1.2	Presas zonificadas	14
4.2.2	Presas de gravedad	15
4.2.2.1	Presas de concreto compactado con rodillo (CCR)	15
4.3	Instrumentación	16
4.3.1	Inclinómetros	16
5	Metodología	18
5.1	Etapa preliminar	18
5.2	Etapa 1	19
5.3	Etapa 2	21
5.4	Etapa 3	25
5.5	Etapa 4	29
6	Análisis y Resultados	30
6.1	Etapa 1	30
6.2	Etapa 2	30

6.2.1	Procesamiento de la información	30
6.2.2	Creación de sensores de instrumentación	31
6.2.3	Nueva alternativa para continuar con la actualización	32
6.2.4	Hallazgos después de la carga de información	33
6.3	Etapa 3	35
7	Conclusiones	37
8	Referencias	38

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fecha 1 datos inclinómetros.	22
Tabla 2. Fecha 2 datos inclinómetros.	23
Tabla 3. Fecha 3 datos inclinómetros.	23
Tabla 4. Comparación desplazamiento incremental entre fechas.	24
Tabla 5. Ejemplo nombres de sensores.	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Presa Homogénea. [10]	14
Figura 2. Presa de núcleo. [6]	14
Figura 3. Presa de gravedad. [12]	15
Figura 4. Tubería guía para inclinómetros. [15]	16
Figura 5. Sonda del inclinómetro. [15]	17
Figura 6. Piezómetros y nivel de embalse. [16]	20
Figura 7. Presión asociada a piezómetros. [16]	20
Figura 8. Ejemplo de datos crudos de inclinómetros. [16]	21
Figura 9. Desplazamiento incremental en B.	24
Figura 10. Desplazamiento incremental en A.	24
Figura 11. Desplazamiento incremental en el sistema de información. [16]	25
Figura 12. Presa Patángoras (Miel).	26
Figura 13. Galería estribo.	26
Figura 14. Galería cuerpo de presa.	26
Figura 15. Nivel superior casa de máquinas central hidroeléctrica Miel.	27
Figura 16. Presa principal Guillermo Cano (Jaguas).	27
Figura 17. Vista aguas arriba vertedero presa Jaguas.	28
Figura 18. Vista aguas abajo vertedero presa Jaguas.	28
Figura 19. Gráfico inclinómetro – Datos sin concordancia con los históricos. [16]	33
Figura 20. Gráfico inclinómetro después de identificar la causa de los datos sin concordancia. [16]	34
Figura 21. Características de diseño para las presas de tierra y roca. [17]	35
Figura 22. Vista en planta de la presa Guillermo Cano y del vertedero. [18]	36

---

## 1 Resumen

Este trabajo comprende todas las actividades realizadas para apoyar el equipo de seguridad de presas de ISAGEN SA ESP, con un enfoque específico en el sistema de información de la instrumentación geotécnica (SIIG) implementado en la empresa. Los objetivos incluyen continuar con la actualización periódica de la instrumentación en el SIIG, suplir la falta de información de algunos instrumentos y la creación de sensores asociados a estos que no están incluidos en el SIIG. En el desarrollo del trabajo se implementaron actividades con el fin de cumplir los objetivos propuestos, donde la gestión y análisis de información de la instrumentación geotécnica tomó un papel fundamental puesto que los inclinómetros de todas las centrales hidroeléctricas no contaban con información en el SIIG, generando la necesidad del procesamiento de los datos crudos y un paso posterior de carga de la información con los resultados de interés. Por otro lado, se llevó a cabo la creación de la instrumentación faltante en el SIIG, donde se descubrieron opciones para optimizar el proceso. En fechas específicas se realizaron visitas de inspección a las centrales hidroeléctricas Miel y Jaguas, con el objetivo de verificar e identificar el funcionamiento adecuado de las presas y obras principales anexas. Con las actividades propuestas e implementadas, a medida que se procedió con la carga de la información de los inclinómetros al SIIG, se logró identificar problemas de calibración en algunos instrumentos, puesto que las lecturas no coincidían con los datos históricos, ni se habían presentado movimientos en masa en el lugar de instalación de estos, mientras que también se logró optimizar los diferentes procesos en los que se enmarcó el trabajo, ahorrando mucho tiempo en actividades manuales y repetitivas que se puede aprovechar mejor en análisis de la instrumentación.

**Palabras clave** — Instrumentación geotécnica, sistema de información, seguridad de presas.

---

## 2 Introducción

En un país como Colombia, donde el agua es uno de los recursos no renovables que abunda, siendo incluso el segundo país de Suramérica con más agua dulce gracias a sus afluentes, estos toman una gran relevancia, puesto que a lo largo de ellos, se desarrollan múltiples actividades que favorecen a diferentes comunidades en el país. Este recurso se usa como sustento, transporte o una escala mayor, donde algunas empresas instalan centrales hidroeléctricas para la generación de energía, siendo esta fuente la más importante para el país, donde el 63.7% de la energía que se genera proviene de recursos hídricos [1]. La gran cantidad de recursos hídricos favorece la generación de energía por medio de centrales hidroeléctricas, las cuales generalmente se conforman por una presa que es la obra civil que más resalta, el vertedero, casa de máquinas, obras de captación y los túneles de conducción y de descarga. Las presas han sido una infraestructura esencial en la sociedad que contribuye al desarrollo socioeconómico y la prosperidad. Se construyen con diversos fines, como el control de inundaciones, el riego, la energía hidroeléctrica, el suministro de agua y el ocio [2].

Las presas tienen un impacto considerable en el área de influencia del embalse que se generan debido a estas; por lo tanto, mantenerlas en correctas condiciones de funcionamiento y operación es primordial tanto para sus dueños, como para quienes viven relativamente cerca de ellas. Los riesgos a los que se exponen los anteriormente mencionados, se monitorean siguiendo el programa de seguridad de presas establecido por cada dueño. Puesto que en Colombia aún no existe un ente regulatorio para estos casos; en estos programas se pueden encontrar todo tipo de acciones a realizar para mantener la seguridad de las diferentes presas y el plan de acción ante un eventual fallo.

En este trabajo se tiene como finalidad apoyar al equipo de seguridad de presas de ISAGEN SA ESP siguiendo los lineamientos establecidos por ellos para realizar la labor, donde para desarrollar esto, se contempla principalmente ayudar con la actualización de información de la instrumentación geotécnica que posee cada presa, mientras que a su vez se participa de diversas actividades relacionadas con las tareas a ejecutar.

---

## 3 Objetivos

### 3.1 Objetivo general

Apoyar la consolidación del sistema de gestión de la infraestructura en una de sus ramas críticas como es el seguimiento, monitoreo, y toma de decisión en la gestión de las presas y obras civiles principales.

### 3.2 Objetivos específicos

- Continuar en la puesta a punto del sistema de información de la instrumentación geotécnica de las presas pertenecientes al modelo de gestión de seguridad de presas.
- Ampliar la cobertura del sistema de información geotécnica en una segunda etapa de carga de información de instrumentos de las presas y de otras localidades técnicas que contienen instrumentación para seguimiento y monitoreo.
- Revisar e incluir información de suficiencia hidrológica de las centrales de oriente y apoyar en el contrato de las centrales Miel y Sogamoso.
- Apoyo y participación en la preparación de informes y reportes de tipo de instrumentación que son realizados periódicamente.
- Apoyo y participación en visitas de inspección a las presas y obras civiles principales que se realizan por parte de todo el equipo de gestión técnica e infraestructura.

---

## 4 Marco teórico

Colombia cuenta con el privilegio de ser uno de los países que posee mayor cantidad de recursos hídricos, gracias en gran parte a sus afluentes, los cuales toman relevancia debido a las dinámicas económicas que desarrollan las comunidades a lo largo de estos. Una de las actividades que ha sido vital en los últimos 50 años, es la construcción de presas para la creación de embalses y la generación de energía.

La ley 697 de 2001, promueve el uso racional y eficiente de energía y las energías alternas donde se contempla el estímulo a la educación e investigación en fuentes de energía renovable [3].

Según EADIC en su artículo sobre la importancia de la seguridad de embalses y presas, las presas son infraestructuras hidráulicas muy seguras, proyectadas y construidas teniendo en cuenta criterios muy conservadores en su diseño. Según el Registro Mundial de Presas elaborado por el ICOLD (Comisión Internacional de Grandes Presas), en el mundo existen alrededor de 58.000 grandes presas y aunque, según las estadísticas de accidentes, la probabilidad de rotura o fallo es inferior al 1%, la mayor reducción en el número de accidentes en presas se ha logrado en las últimas décadas.

Esto es debido en parte a la mejora en las técnicas constructivas, pero sobre todo radica en la importante difusión e intercambio de información en relación a las presas y embalses entre los diferentes profesionales y en la aplicación creciente de criterios de seguridad más exigentes a lo largo del tiempo.

De todos modos, la seguridad de embalses y presas no sólo depende de la fase de proyecto y construcción en la vida de la presa, si no que la infraestructura debe estar vigilada e inspeccionada en continuo a lo largo de todas sus fases, tanto en los primeros años como a lo largo de toda la explotación. En consecuencia, se podría definir seguridad de presas como el cuidado y vigilancia de la presa a lo largo de todas las fases en la vida de la presa: proyecto, construcción, puesta en carga, explotación y puesta fuera de servicio y, en este sentido, la normativa en materia de seguridad de embalses y presas debe abarcar todas las fases de la vida de la presa [4].

Los modelos de gestión de seguridad de presas se construyen de acuerdo con el tipo de presa que se monitorea, donde estos se desarrollan para que la infraestructura asociada no se vea afectada, ni para que ocurra una catástrofe, es por esto que sus dueños buscan la forma más efectiva

en la cual se pueda mantener la seguridad de la presa puesto que ellos son los responsables de asegurar la operación y el mantenimiento.

El propietario de la presa es responsable de garantizar la existencia de un plan de preparación para emergencias, además es el encargado de informar al público sobre problemas relacionados con su seguridad [5].

El propietario también debe cumplir con la legislación provincial que exige llevar a cabo revisiones de seguridad de sus presas con determinadas clasificaciones y a los intervalos previstos en el Reglamento de Seguridad de Presas (para las presas de embalse de agua). Los propietarios están obligados a cumplir con esta legislación haciendo que un ingeniero profesional cualificado realice una revisión de la seguridad de la presa [6].

Actualmente, en Colombia no existe una organización específica designada para monitorear la seguridad de las presas, por lo tanto, las empresas que son propietarias de una o varias presas, se basan en la normativa internacional y en las recomendaciones de los consultores internos y externos para desarrollar sus programas y cumplir con los más altos estándares de seguridad del medio.

De acuerdo con lo anterior surge la siguiente pregunta:

#### **4.1 ¿Qué es un programa de gestión de la seguridad de las presas?**

De acuerdo con las directrices de gestión de la seguridad de las presas de Queensland un programa de gestión de la seguridad de la presa es una demostración del compromiso del propietario de la presa con la seguridad de esta. Comprende un documento de síntesis que describe la comprensión del propietario de la presa sobre el estado actual de su presa de referencia, sus planes proyectados y con referencias a la información de apoyo pertinente.

Se espera que el programa refleje los valores de seguridad de la presa que forman parte de la cultura organizativa del propietario de la presa.

Se espera que el programa demuestre los siguientes beneficios:

- El propietario es consciente de que la presa cumple con las normas de ingeniería vigentes en materia de seguridad.
- El propietario tiene la garantía de que la presa se explota de forma segura.
- El propietario tiene una evaluación periódica del estado de la presa.
- El propietario dispone de documentación revisada periódica y fácilmente accesible.

- El propietario está preparado para una situación de emergencia en la presa.
- La presa es gestionada por personal debidamente cualificado y formado.
- El riesgo de rotura de la presa se gestiona adecuadamente y las obras para rectificar las deficiencias se llevan a cabo de manera oportuna.
- El programa es sensible/adaptativo a los cambios en el entorno o en las condiciones operativas [7].

El desarrollo de un programa de control de desempeño de un programa de seguridad de presas es indispensable, puesto que, dependiendo de las condiciones iniciales de construcción, la edad y las diferentes dinámicas que se desarrollan a lo largo del tiempo de vida de una presa, generan que las condiciones de evaluación de los programas establecidos deban adaptarse o modificarse de acuerdo con las bases en que estos fueron realizados, buscando siempre los estándares más altos de seguridad.

De acuerdo con el Departamento de Recursos Hídricos de California en su división de seguridad de presas, el riesgo se utiliza para guiar el proceso de toma de decisiones en relación con la seguridad y el funcionamiento continuo de las presas inspeccionadas y evaluadas con respecto a la seguridad de las presas. El uso del riesgo se basa en revisiones detalladas y en los resultados de las evaluaciones geológicas y de ingeniería, que luego se utilizan para una evaluación informada de la probabilidad y la posibilidad de que se produzca un suceso y un fallo junto con el potencial de peligro aguas abajo.

Se han basado en los modos de falla, centrándose en las condiciones de carga específicas y en los modos de falla asociados de las presas y sus obras principales con mayores consecuencias. El inicio de los programas de reevaluación centrados se rige por los avances significativos en la seguridad de las presas como resultado de las mejoras en el estado de la práctica o por una falla importante de una presa en la que se identifica un modo de falla probable altamente creíble para muchas de las presas en el inventario [8].

Por otro lado, la FERC (Federal Energy Regulatory Commission), recomienda que, para evaluar el desempeño de un programa de seguridad de presas, se realice Un Análisis Modal de Fallos Potenciales (PFMA). Este es un examen informal de los modos de fallo "potenciales" de una presa existente o de otro(s) proyecto(s) realizado por un equipo de personas cualificadas por su experiencia o formación para evaluar una estructura concreta. Se basa en una revisión de los datos y la información existentes, en las aportaciones de primera mano del personal de campo y de

---

explotación, en una inspección del emplazamiento, en los análisis de ingeniería realizados, en la identificación de los modos de fallo potenciales, en las causas de los fallos, el desarrollo de estos y en la comprensión de las consecuencias de los fallos. El PFMA pretende proporcionar una mayor comprensión y entendimiento de la exposición al riesgo asociado a la presa. Esto se consigue incluyendo y yendo más allá de los medios tradicionales de evaluación de la seguridad de las obras del proyecto y buscando intencionadamente la aportación del diverso equipo de personas que tienen información sobre el desempeño y el funcionamiento de la presa [9].

## **4.2 Clasificación de presas**

Las presas pueden clasificarse en función de su tamaño, materiales, tipos estructurales, métodos de construcción, etc. Según la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas una altura de presa de referencia para distinguir las grandes presas de las pequeñas es de 15 m. En función de los materiales utilizados, las presas pueden clasificarse en presas de tierra o escollera, presas de hormigón, presas de mampostería, presas de arena y grava cementadas de arena y grava, y otras. Las presas de materiales de relleno de tierra o roca se denominan generalmente presas de terraplén o de tierra. Según en los tipos estructurales adoptados, las presas pueden dividirse en presas de gravedad, presas de arco, presas de contrafuerte y otras. Muy a menudo, las presas se construyen con una combinación de dos o más formas estructurales o materiales. De los distintos tipos de presas, las de terraplén son las más comunes [2].

### **4.2.1 Presas de tierra**

Las presas de tierra presentan varias ventajas con respecto a las presas de concreto, entre ellas que se pueden utilizar suelos que se pueden obtener de la misma zona ya sea naturales o mezclándolos con otros tipos de suelos de mejores características para mejorar sus propiedades. Además, este tipo de presas se pueden construir sobre suelos con capacidades de soporte bajas ya que las cargas que se transmiten a la fundación se distribuyen sobre un área mayor que en cualquier otro tipo de presa [10]. Existen presas de tierra homogéneas y zonificadas.

#### 4.2.1.1 Presas homogéneas

Su estructura está formada en su totalidad o en un elevado porcentaje por un solo tipo de material. Generalmente por material compactado de baja permeabilidad (Ver Figura 1).

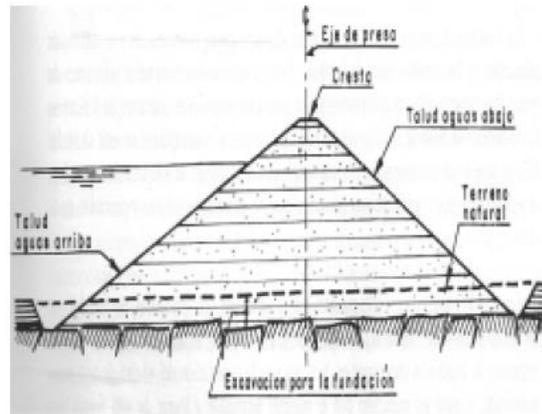


Figura 1. Presa Homogénea. [10]

#### 4.2.1.2 Presas zonificadas

Por lo general, están formadas por un núcleo central de material relativamente impermeable, constituido por algún suelo arcilloso confinado entre dos espaldones de materiales granulares permeables de naturaleza gravo-arenosa.

Los suelos del núcleo impermeable son de menor resistencia al corte y son los que evitan las filtraciones en el dique, los suelos de los espaldones son permeables y resistentes a la fricción por lo que se pueden utilizar taludes más inclinados. De esta manera se obtiene un menor volumen de material en la presa y, por ende, un menor costo de la obra [10]. (Ver Figura 2)

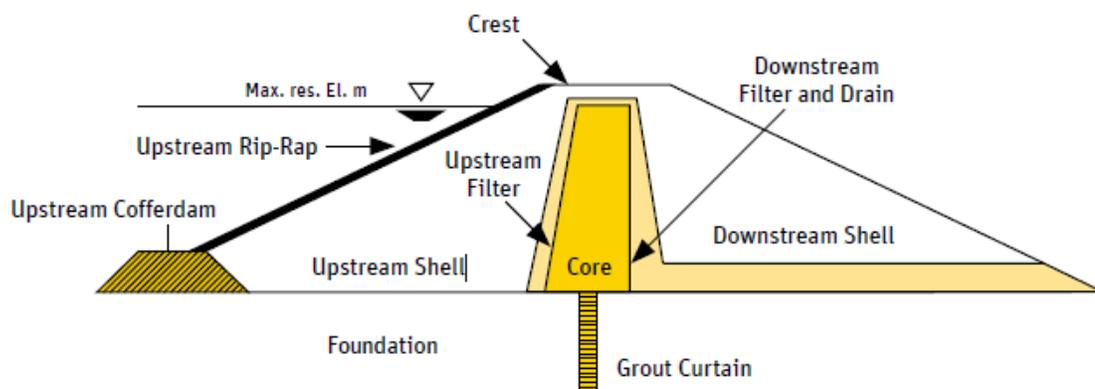


Figura 2. Presa de núcleo. [6]

## 4.2.2 Presas de gravedad

Una presa de gravedad de concreto tiene una sección transversal triangular con la base mucho más ancha que la cresta. La presa está configurada para proporcionar suficiente masa y una base suficientemente ancha para resistir el deslizamiento y el vuelco en respuesta a la fuerza del agua que empuja contra ella. Si la cara aguas arriba de la presa está inclinada, un componente de la fuerza del agua empuja hacia abajo la presa, lo que contribuye favorablemente a la estabilidad de la estructura [11].

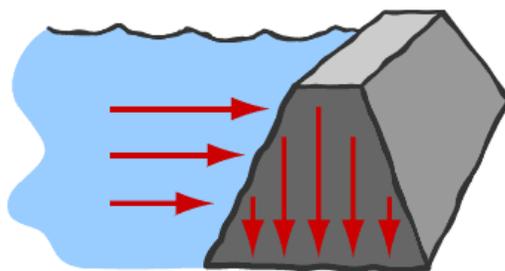


Figura 3. Presa de gravedad. [12]

### 4.2.2.1 Presas de concreto compactado con rodillo (CCR)

De acuerdo con ISAGEN en su presentación acerca las presas en CCR mencionan que estas hacen parte de las presas de gravedad, solo que su denominación es por el tipo de concreto que utiliza. La utilización de este material se debe a la necesidad de suplir las desventajas de las presas de gravedad en concreto macizo, como lo es la inestabilidad de la masa de concreto debido a los efectos térmicos que afecta directamente al tamaño y la tasa de vaciado del concreto, causando retrasos e interrupciones por la necesidad de proveer juntas de contracción y detalles de diseño similares. Otras desventajas de las presas de concreto macizo son la continuidad en la construcción y la gran cantidad de mano de obra, lo que disminuye globalmente la productividad y la eficiencia de la construcción.

Debido a las desventajas que poseen las presas de relleno, se ha optado por optimizar la construcción de las presas de gravedad de concreto con el fin de disminuir sus costos.

Entre las ventajas que aporta el CCR está la colocación del concreto continuamente dentro del proceso de construcción de presas de gran volumen, reducciones alrededor de un 30% en el

costo y el tiempo de construcción y rendimientos del orden de 2 – 2.5 m de construcción vertical por semana.

Las desventajas asociadas a este tipo de presas son:

Infiltraciones entre las capas debido al carácter permeable y a un nivel de agrietamiento controlado. La Adherencia entre capas debido a las características del material las hacen en cierta manera vulnerables ante los eventos sísmicos [13].

### 4.3 Instrumentación

La instrumentación que se debe instalar en una presa está directamente asociada con la tipología de presa a construir, el nivel de monitoreo y los programas de seguridad requeridos de acuerdo a la magnitud del proyecto y las regulaciones impuestas en cada país, por lo tanto, siempre va a ser diferente en cada presa. De acuerdo con la FERC en su capítulo 9 de las directrices de ingeniería para la evaluación de proyectos hidroeléctricos, La instrumentación consiste en los diversos instrumentos o sistemas eléctricos y mecánicos utilizados para medir la presión, el caudal el movimiento, la tensión, el esfuerzo y la temperatura. La monitorización es la recopilación, reducción presentación y evaluación de los datos de la instrumentación. La instrumentación y la supervisión son herramientas que deben utilizarse con un programa de inspección vigilante para evaluar continuamente la seguridad de las presas [14].

#### 4.3.1 Inclínómetros

Según el manual de instrucciones para inclinómetros de Geokon, en el campo geotécnico los inclinómetros se usan principalmente para medir movimientos de tierra como los que pudieran ocurrir en laderas inestables o en al movimiento lateral de tierra alrededor de una excavación en progreso.

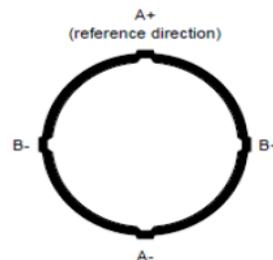


Figura 4. Tubería guía para inclinómetros. [15]

Para instalar un inclinómetro es necesaria una tubería guía, esta tiene cuatro ranuras ortogonales (Ver Figura 4) diseñadas para adaptar las ruedas de la sonda de un inclinómetro portátil (Ver Figura 5). Esta sonda, suspendida en su extremo de un cable conectado a un dispositivo de lectura, se usa para examinar la inclinación de la tubería guía con respecto a la vertical (u horizontal) y de esta manera detectar los cambios en inclinación provocados por movimientos de tierra.

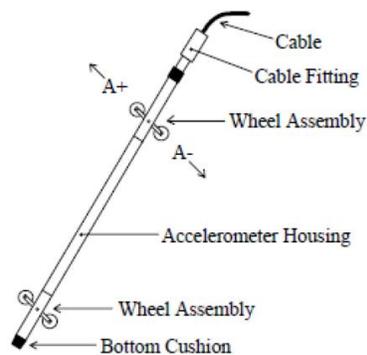


Figura 5. Sonda del inclinómetro. [15]

La propia sonda contiene una masa oscilante que actúa por la fuerza de gravedad. La mayoría de los inclinómetros usan un acelerómetro de equilibrio de fuerzas en el que una posición del sensor detecta la posición de la masa y proporciona una fuerza restauradora suficiente para regresar a la masa a su posición vertical nula.

Para obtener un análisis completo de la tierra a lo largo de la tubería guía de un inclinómetro instalado, es necesario tomar una serie de mediciones de la inclinación a lo largo de esta. Típicamente son cada 0.5 metros en sus pares A+ A- y B+ B- y las mediciones se realizan, bajando la sonda hasta el fondo de la tubería, se toma la lectura y después se levanta la sonda cada 0.5 metros hasta llegar a la parte superior [15].

---

## 5 Metodología

El modelo de gestión de seguridad de presas que se implementa tiene como objetivo principal proteger la seguridad de los empleados, contratistas y comunidad en general, garantizar la seguridad de las operaciones, proteger el medio ambiente, la infraestructura y los activos, y gestionar los riesgos asociados a las presas. Se busca cumplir con las recomendaciones y los más altos estándares técnicos a nivel mundial.

El programa de seguridad de presas se enmarca en un ciclo continuo de la gestión de las presas, compuesto por una fase de monitoreo de las estructuras, un posterior análisis e interpretación de la información, la evaluación de las condiciones de seguridad y riesgo y la consecuente toma de decisiones.

Para el correcto funcionamiento y cumplimiento en el modelo de gestión se tiene en cada central hidroeléctrica un equipo de mantenimiento, quienes se encargan del monitoreo inspección y diagnóstico preliminar de las estructuras. Cuando se realizan hallazgos, estos se revisan y evalúan con ayuda de los profesionales especialistas.

El monitoreo constante de la instrumentación es un trabajo que se realiza en conjunto con ayuda tanto de los profesionales, como del equipo de mantenimiento, donde se realizan comités periódicamente, para analizar el estado de las presas y obras principales anexas, además del comportamiento histórico de la instrumentación instalada.

La labor principal del estudiante en práctica es apoyar el monitoreo constante de la instrumentación geotécnica por medio de actividades que se mencionan a continuación.

### 5.1 Etapa preliminar

Durante esta etapa se buscó familiarizarse con el sistema de información de la instrumentación geotécnica, además de profundizar en conocimientos relacionados con tipología de presas, diseño, instrumentación geotécnica y procedimientos de operación, con el fin de estar capacitado para dar continuidad a la puesta a punto del sistema de información de la instrumentación de las grandes presas que posee la empresa. A éstas se les debe hacer un seguimiento y monitoreo para conocer si están operando correctamente. Lo anterior, se hizo con ayuda de los tutores y demás profesionales encargados de áreas específicas en las centrales y en

Medellín, que colaboraron con el fortalecimiento del conocimiento del estudiante para afrontar sus labores.

## 5.2 Etapa 1

Dentro del programa de seguridad de presas, se tiene una tarea definida con una periodicidad mensual, la cual es actualizar la información de la instrumentación geotécnica, donde se incluye tanto la información manual como la automatizada. Este proceso es una de las labores principales que se realizan durante la práctica, donde se prioriza el acompañamiento de los encargados de instrumentación, profesionales y asistentes en las diferentes centrales hidroeléctricas, con el fin de que todos estén en la capacidad de llevar a cabo la actualización de la información. Dentro de la información manual y automática se encuentran todos los instrumentos que poseen las presas y las obras civiles de interés, como piezómetros neumáticos, de hilo vibrátil, de tubo abierto, vertederos medidores de filtración, clinómetros, inclinómetros, medidores de juntas, de deformación, de posición, celdas de carga, extensómetros de posición múltiple, además de instrumentos para determinar variables exteriores como el nivel de embalse y precipitación.

La carga y subida de información es mensual, sin embargo, los datos corresponden a una periodicidad definida de acuerdo al tipo de instrumento y la importancia de la información que entrega. La información de la instrumentación manual es tomada por los contratistas asignados para esta labor, los cuales desarrollan sus actividades a lo largo del mes, para tenerla lista, cuando sea necesario hacer la actualización, mientras que, para la información automática, esta se obtiene por medio de dataloggers, que se pueden descargar directamente desde la consola asociada a cada uno o desde un lugar específico definido para descargar todos los dataloggers. La primera opción, generalmente solo es necesaria, cuando ocurre algún fallo y la consola necesita iniciarse de nuevo para que siga tomando y transmitiendo la información.

La Figura 6 muestra un ejemplo, de cómo se puede visualizar la información dentro del sistema de información de la instrumentación geotécnica (SIIG), en este caso, se presentan algunos piezómetros acompañados del nivel de embalse, siendo esta la organización de interés para futuros análisis.

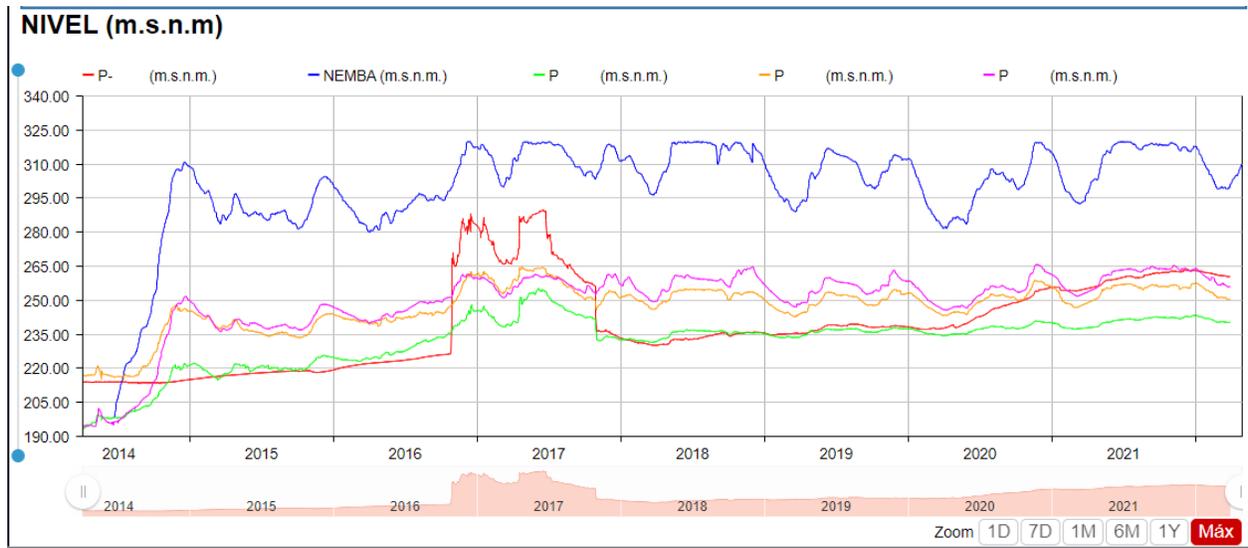


Figura 6. Piezómetros y nivel de embalse. [16]

Los piezómetros en general se acompañan de información que puede ser de utilidad para los análisis y diferentes correlaciones, como lo son los porcentajes de carga y presión. Su visualización dentro del sistema de información es similar a la mostrada anteriormente, sin embargo, en la Figura 7 se puede observar un ejemplo para los niveles de presión asociados a los piezómetros.



Figura 7. Presión asociada a piezómetros. [16]

En el sistema de información, también se tienen sensores de algunos instrumentos donde se presenta que, alguna parte de los datos, corresponden a lecturas erradas, generando que se produzca

ruido en los gráficos y sea incomodo interpretar y analizar la información, por lo tanto, una de las tareas que se realizaron durante la práctica, fue encontrar este tipo de datos y eliminarlos, con el fin de tener el sistema de información en condiciones para que sea de utilidad y cumpla su función en el momento que se necesite realizar un análisis o que se solicite información por parte del consultor o por miembros de la organización.

Otra actividad que se realizó periódicamente fue la decomisión o dada de baja de los diferentes sensores correspondientes a instrumentos que ya no estaban en funcionamiento, esto se hizo siguiendo las recomendaciones del consultor externo.

En algunos casos los gráficos del sistema de información no estaban adecuados de acuerdo a la información contenida, por lo tanto, estos se fueron organizando con el fin de tener la información presentada en mejores condiciones para facilitar su entendimiento.

### 5.3 Etapa 2

El sistema de información de la instrumentación geotécnica carecía de información sobre inclinómetros, donde en general, no existía información asociada a ninguno de estos instrumentos, por lo tanto, se buscó que una de las actividades más importantes a desarrollar durante la práctica fuera la organización, procesamiento y subida de los datos para cubrir la falencia en este apartado.

En algunos casos, la información databa de 10 años o más sin subirse, por lo tanto, se tenían miles de datos que procesar, generando que el proceso fuera muy extenuante y complejo. Lo anterior generó que se buscaran alternativas para este problema, donde con ayuda de la herramienta de Excel llamada Power Query, la cual permite el procesamiento de miles de datos a la vez, fuera la elegida.

```
***
GK 604M(v1.3.0.10,08/17);2.0;FORMAT II
PROJECT :
HOLE NO. :
DATE :
TIME :
PROBE NO.:
FILE NAME:|
#READINGS:64
FLEVEL, A+, A-, B+, B-
32.5, 100, -153, -381, 399
32.0, 64, -114, -310, 329
31.5, 70, -121, -254, 270
31.0, 101, -151, -233, 249
30.5, 81, -133, -207, 226
30.0, 71, -120, -188, 208
29.5, 87, -140, -139, 153
29.0, 112, -162, -74, 93
28.5, 122, -171, -27, 46
28.0, 104, -157, -25, 41
27.5, 45, -96, -26, 45
27.0, -16, -36, -44, 62
```

Figura 8. Ejemplo de datos crudos de inclinómetros. [16]

Los datos crudos son dados generalmente en un documento de texto o un archivo que se puede visualizar de esta manera. Cada lectura genera un archivo diferente, similar al que se puede ver en la Figura 8, por lo tanto, para cada fecha en la que se tomó una lectura de uno de estos instrumentos, se tiene un archivo diferente, generando que el procesamiento individual de estos no fuera viable por la cantidad de tiempo que significaba. La herramienta Power Query permite seleccionar una carpeta, donde para este caso se encuentren todas las lecturas asociadas a un inclinómetro y posteriormente, procesar la información, de esta manera, no es necesario llevar los datos de cada archivo uno por uno a Excel para procesarla, puesto que la herramienta ya lo hace internamente, donde solo se tendría que organizarlos y procesarlos.

Para el procesamiento de los datos, se realizará un ejemplo con una fracción de la información de 3 lecturas diferentes de un inclinómetro.

Tabla 1. Fecha 1 datos inclinómetros.

Profundidad (m)	A+	A-	B+	B-	Des Incr A (mm)	Des Incr B (mm)
5	0	-50	-61	81	0,625	-1,775
4,5	35	-84	-155	173	1,4875	-4,1
4	50	-102	-210	229	1,9	-5,4875
3,5	32	-83	-235	254	1,4375	-6,1125
3	1	-57	-218	239	0,725	-5,7125
2,5	-9	-34	-191	209	0,3125	-5
2	135	-186	-227	245	4,0125	-5,9
1,5	161	-212	-218	238	4,6625	-5,7
1	230	-278	-198	215	6,35	-5,1625

El resultado de los datos procesados necesarios para subir al sistema de información corresponde al desplazamiento incremental, para hallarlo es necesario tener los datos crudos que incluyen la profundidad y las medidas en los ejes A y B para cada lectura. En la Tabla 1 se muestra el ejemplo del proceso para la fecha 1. El desplazamiento incremental que se muestra en esta tabla se halla multiplicando un factor de corrección dado por el fabricante (En este caso corresponde a 0,0125) del instrumento por la diferencia de los ejes A+ A- y B+ B-. La fórmula sería la siguiente.

$$Des\ Incr\ A = 0,0125 * ((A +) - (A -))$$

Para llegar al resultado que se necesita subir al sistema de información, se realiza el procedimiento anterior para las fechas 2 y 3 (Ver Tabla 2 y Tabla 3)

Tabla 2. Fecha 2 datos inclinómetros.

Profundidad (m)	A+	A-	B+	B-	Des Incr A (mm)	Des Incr B (mm)
5	11	-45	-10	141	0,7	-1,8875
4,5	46	-82	-104	230	1,6	-4,175
4	63	-95	-158	288	1,975	-5,575
3,5	39	-75	-177	309	1,425	-6,075
3	10	-49	-163	294	0,7375	-5,7125
2,5	5	-33	-138	262	0,475	-5
2	170	-203	-171	303	4,6625	-5,925
1,5	196	-234	-164	291	5,375	-5,6875
1	266	-300	-129	258	7,075	-4,8375

Tabla 3. Fecha 3 datos inclinómetros.

Profundidad (m)	A+	A-	B+	B-	Des Incr A (mm)	Des Incr B (mm)
5	11	-44	-4	156	0,6875	-2
4,5	48	-85	-91	243	1,6625	-4,175
4	59	-93	-150	305	1,9	-5,6875
3,5	35	-72	-164	318	1,3375	-6,025
3	0	-42	-157	298	0,525	-5,6875
2,5	20	-44	-125	286	0,8	-5,1375
2	179	-215	-161	312	4,925	-5,9125
1,5	208	-242	-152	301	5,625	-5,6625
1	278	-313	-116	264	7,3875	-4,75

Cuando se tienen los desplazamientos incrementales para cada fecha, estos se comparan con la fecha inicial, debido a que el objetivo del instrumento es conocer el movimiento incremental del terreno desde la instalación, por lo tanto, tomando la fecha 1 como fecha de instalación y como punto de comparación, se puede conocer el movimiento del terreno respecto al punto definido y determinar si este se está moviendo o no de acuerdo a los resultados. En la Tabla 4 se muestra el resultado de la comparación entre los desplazamientos incrementales de la fecha 1 con la fecha 2 y de la fecha 1 con la fecha 3.

Tabla 4. Comparación desplazamiento incremental entre fechas.

Fecha 1-2		Profundidad (m)	Fecha 1-3	
Final A (mm)	Final B (mm)		Final A (mm)	Final B (mm)
-0,075	0,1125	5	-0,0625	0,225
-0,1125	0,075	4,5	-0,175	0,075
-0,075	0,0875	4	0	0,2
0,0125	-0,0375	3,5	0,1	-0,0875
-0,0125	0	3	0,2	-0,025
-0,1625	0	2,5	-0,4875	0,1375
-0,65	0,025	2	-0,9125	0,0125
-0,7125	-0,0125	1,5	-0,9625	-0,0375
-0,725	-0,325	1	-1,0375	-0,4125

La mejor opción para visualizar la información anterior es por medio de un gráfico. En la Figura 9 y la Figura 10 se puede observar el resultado del procesamiento de los datos para el ejemplo planteado.

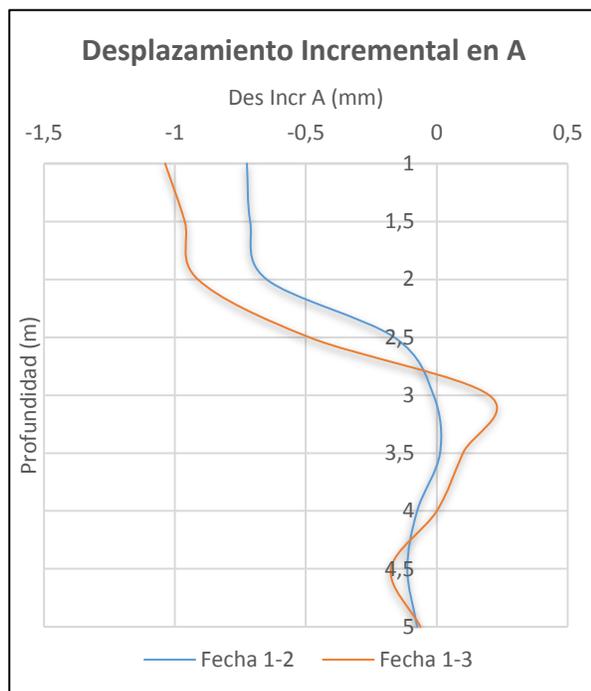


Figura 10. Desplazamiento incremental en A.

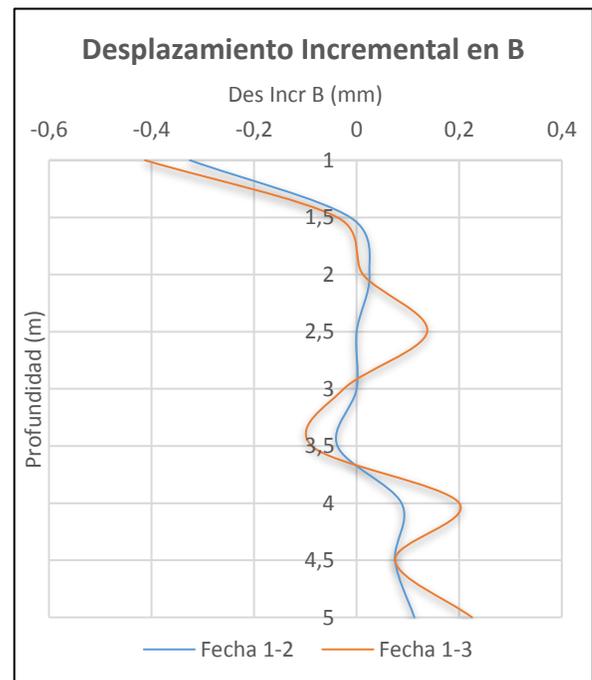


Figura 9. Desplazamiento incremental en B.

El proceso que se explicó en el ejemplo anterior se adaptó para llevarlo a cabo por medio de la herramienta Power Query, para que fuese más sencillo el procesamiento de los miles de datos y archivos que se necesitaban para suplir la falencia en el sistema de información. Los datos procesados de algunas fechas como se muestran en el SIIG se pueden ver en la Figura 11.

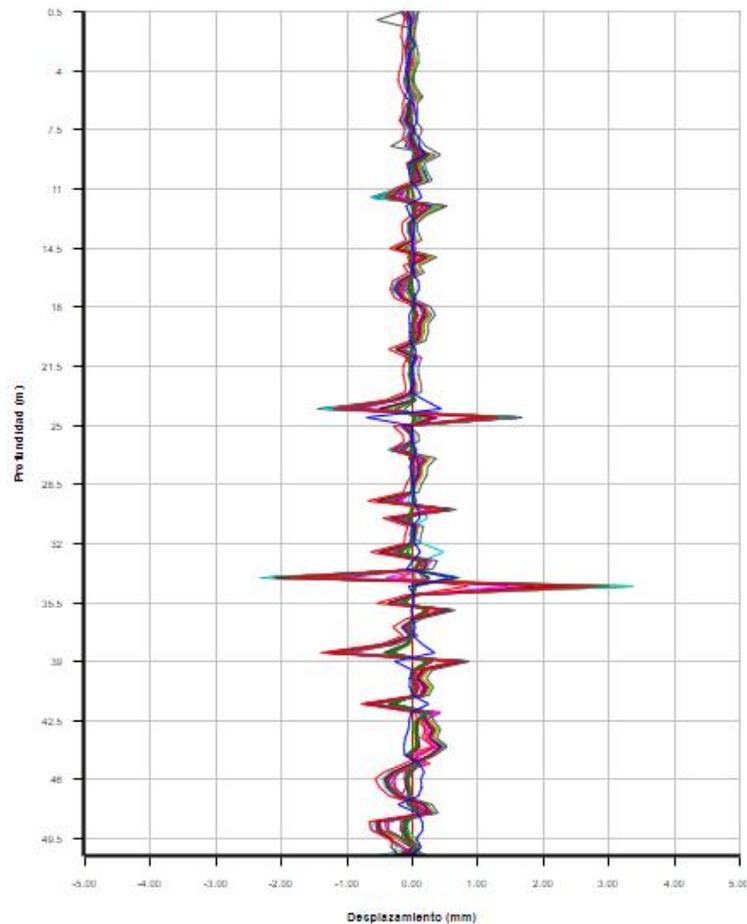


Figura 11. Desplazamiento incremental en el sistema de información. [16]

### 5.4 Etapa 3

A lo largo de los meses en los que se desarrolló la práctica académica se tuvieron dos vistas a centrales hidroeléctricas pertenecientes al programa de seguridad de presas; estas fueron la Central Hidroeléctrica Miel y la Central Hidroeléctrica Jaguas, ubicadas en las cercanías de los municipios de Norcasia y San Rafael respectivamente.



Figura 12. Presa Patángoras (Miel).

En la central Miel se realizó visita de inspección de la presa y galerías en acompañamiento del Ingeniero y el contratista a cargo de la instrumentación geotécnica de la central.



Figura 14. Galería cuerpo de presa.



Figura 13. Galería estribo.

También se visitaron la descarga de fondo y la casa de máquinas, donde se pudo conocer la importancia y magnitud de todo el proceso que se lleva a cabo para generar energía

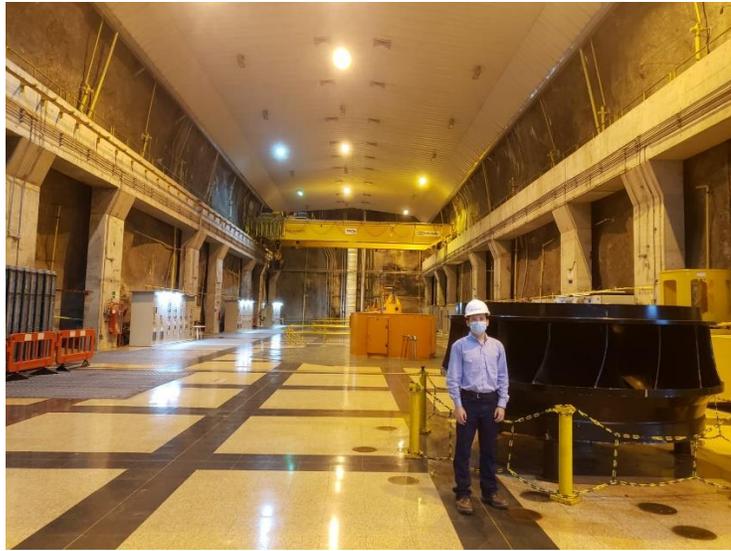


Figura 15. Nivel superior casa de máquinas central hidroeléctrica Miel.

En la central hidroeléctrica Jaguas, se realizó la visita a la presa principal, presa de zona baja y el vertedero, donde se identificaron todas las obras civiles y características que componen y complementan estas estructuras para su correcto funcionamiento, en compañía del Ingeniero a cargo de la comisión. Durante esta parte de la visita se acompañó a uno de los asistentes de la central en la realización de una de las inspecciones periódicas que se re realizan a la presa y obras civiles principales.



Figura 16. Presa principal Guillermo Cano (Jaguas).



Figura 17. Vista aguas arriba vertedero presa Jaguas.



Figura 18. Vista aguas abajo vertedero presa Jaguas.

Se visitaron también la estructura de cables, edificio de compuertas, casa de máquinas, descarga de fondo y se ayudó con el inventario de puentes existentes en las vías pertenecientes a ISAGEN.

Actualmente queda a la espera de confirmación la realización de una comisión para visitar la central hidroeléctrica Sogamoso en el departamento de Santander. De realizarse esta visita sería en la semana del 28 de junio de 2022.

---

## 5.5 Etapa 4

Durante el desarrollo de la práctica, el equipo de seguridad de presas iba desarrollando proyectos, donde en algunas ocasiones estos eran nuevos o ya se estaban trabajando en ellos, por lo tanto, cuando era necesario, se proveía apoyo a los profesionales encargados de estos para realizar un seguimiento y verificar el cumplimiento. Lo anterior se realizaba siguiendo las indicaciones de los encargados, con el fin de apoyar y aprender durante el proceso.

Por otro lado, constantemente se tienen reuniones de contextualización en conjunto con el coordinador de gestión técnica e infraestructura y con los profesionales pertenecientes al grupo, donde se asiste con el fin de tener un panorama claro de los avances de los diferentes proyectos y el trabajo de todos, sin estar únicamente concentrados en seguridad de presas que es el puesto de trabajo específico asignado.

Se apoyó en la preparación de informes y reportes de tipo de instrumentación que son realizados periódicamente en conjunto con los profesionales y asistentes tanto de las centrales hidroeléctricas como de la sede central en Medellín.

Se desarrollaron reuniones con el fin de capacitar a los diferentes profesionales y contratistas relacionados con el SIIG y ayudarlos en las falencias que pudieran tener, además de enseñarles el funcionamiento de la herramienta Power Query, para que tuvieran las facultades de desarrollar estos archivos. Con el fin de que se diera la transferencia de conocimiento mencionada, se escribieron algunos manuales y se grabaron videos que explican el funcionamiento y cómo se desarrollan las diferentes actividades implementadas por el estudiante durante la práctica.

---

## 6 Análisis y Resultados

### 6.1 Etapa 1

Durante el desarrollo de esta etapa se pudo realizar la actualización con la periodicidad definida en el programa de seguridad de presas, donde todos los datos y gráficos asociados a estos, quedaron actualizados hasta el mes de junio.

La Figura 6 corresponde a los niveles piezométricos de algunos instrumentos de este tipo instalados en la presa, donde también se agrega el nivel de embalse, con el fin de observar la relación existente entre estos. Se puede observar que el comportamiento de los piezómetros fluctúa de acuerdo al nivel de embalse, aumentando y disminuyendo cuando este lo hace también.

La Figura 7 corresponde a la presión asociada a los piezómetros, la cual también fluctúa de acuerdo al nivel de embalse, teniendo valores de presión de más altos cuando el nivel de embalse tiene sus picos más altos también.

Estas dos variables y el porcentaje de carga se correlacionan para verificar el comportamiento del sitio donde está instalada la instrumentación y verificar su funcionamiento. En este caso, el comportamiento de los instrumentos sigue la tendencia esperada de acuerdo a los niveles de embalse y los datos históricos.

Las actividades propuestas en esta etapa se cumplieron para dar un gran avance en la continuación de la puesta a punto del SIIG, buscando el objetivo de aprovechar al máximo esta herramienta para continuar con el seguimiento y monitoreo de la instrumentación como una de las tareas principales para el programa de seguridad de presas, debido a que es de esencial importancia tener acceso a los datos actuales de la instrumentación y a sus históricos para verificar el comportamiento y desempeño de las presas.

### 6.2 Etapa 2

#### 6.2.1 Procesamiento de la información

Esta fue la etapa a la que se le dedicó más tiempo con el fin de suplir la necesidad de la información faltante. La cantidad de datos procesados corresponden a 52 inclinómetros pertenecientes a las presas que hacen parte del programa de seguridad de presas, donde en algunos casos las lecturas databan de hace 10 años, significando que se tuvieron que procesar miles de archivos.

La herramienta Power Query facilitó que para cada inclinómetro se pudiera procesar su toda su información, sin la necesidad de realizarla archivo por archivo, generando que se ahorrara una gran cantidad de tiempo en la labor.

Para estimar el tiempo ahorrado usando la herramienta mencionada, se hizo un ejercicio práctico (similar al que se explica en la metodología) para conocer cuánto tiempo es necesario para procesar los datos de un archivo que contiene las lecturas de una fecha de un instrumento y el resultado fue que son necesarios alrededor de 10 minutos para el proceso. Lo anterior, significa que en caso de que se intentara seguir este proceso para realizar la actualización de todos los inclinómetros, el tiempo de 6 meses que dura la práctica académica no hubiese sido suficiente para terminar todo el proceso.

Para aprender a utilizar la herramienta Power Query, también fue necesaria la utilización de una semana para desarrollar una manera en la que se pudiera organizar y procesar la información, sin embargo, considerando el ahorro de tiempo respecto a la otra opción, se justifica el tiempo necesario para fortalecer el conocimiento en esta área.

Para cada inclinómetro se crearon gráficos para presentar la información de una mejor manera, estos se pueden visualizar en el SIIG. La Figura 11 muestra cómo se visualiza el gráfico.

### 6.2.2 Creación de sensores de instrumentación

Por otro lado, se presentó que algunos inclinómetros no existían en el sistema de información (SIIG), por lo tanto, estos debían crearse para poder subir los datos que se habían procesado. Para crear un inclinómetro en el SIIG, es necesaria la creación de sensores, donde para este caso, cada profundidad del inclinómetro está asociada a un sensor. La Tabla 5 muestra que, para el ejemplo planteado, donde el inclinómetro tiene una profundidad de 5 metros, se deben crear 20 sensores, debido a que cada 0.5 metros se tiene una lectura tanto en el eje A como en el B.

Tabla 5. Ejemplo nombres de sensores.

Profundidad (m)	Nombre Sensor A	Nombre Sensor B
5	EJ_INC_A010	EJ_INC_B010
4,5	EJ_INC_A009	EJ_INC_B009
4	EJ_INC_A008	EJ_INC_B008
3,5	EJ_INC_A007	EJ_INC_B007

Profundidad (m)	Nombre Sensor A	Nombre Sensor B
3	EJ_INC_A006	EJ_INC_B006
2,5	EJ_INC_A005	EJ_INC_B005
2	EJ_INC_A004	EJ_INC_B004
1,5	EJ_INC_A003	EJ_INC_B003
1	EJ_INC_A002	EJ_INC_B002
0,5	EJ_INC_A001	EJ_INC_B001

La creación de un sensor en el SIIG toma alrededor de 5 minutos, puesto que es necesario incluir la configuración y parámetros de este para que funcione correctamente, por esta razón, se investigó al respecto, en busca de una opción más sencilla que facilitara la creación, donde con la ayuda de los encargados de la creación del SIIG, se llegó a una opción de creación desde un asistente que facilita la creación de todos los sensores de un inclinómetro.

Para dar claridad acerca de la creación desde el asistente, si un inclinómetro tiene una profundidad de 50 metros, necesitaría aproximadamente 200 sensores, donde están incluidos los sensores para A y B en todas las profundidades. La creación individual generaría que se gastaran 16 horas y 40 minutos en esta tarea, mientras que, por medio del asistente, se pueden crear los 200 sensores en 10 minutos, dado que solo se deben poner los parámetros y configuración para su creación una vez y el asistente los automáticamente para todos.

Gracias a este descubrimiento se pudieron crear todos los instrumentos que no estaban contenidos en el SIIG y subir su información, además de corregir algunos sensores de inclinómetros que estaban mal creados y no funcionaban bien.

Se creó un manual y un video para que el conocimiento acerca del uso de esta herramienta se transmitiera a los diferentes profesionales relacionados con el SIIG y que, de esta manera, puedan continuar utilizándola cuando sea necesario.

### **6.2.3 Nueva alternativa para continuar con la actualización**

Con el fin de que el proceso desarrollado en Power Query sirviera también para continuar con la actualización de la información y no llegar de nuevo a una falta de datos de 10 años como se presentaba en algunos casos, se implementó una macro para facilitar el uso del archivo y la actualización a medida que se fueran agregando lecturas.

El archivo de Power Query en combinación con la macro generan que, para actualizar información nueva, donde esta puede ser de una o más lecturas sea un proceso sencillo y rápido. Para realizar la actualización, el proceso demora alrededor de 1 o 2 minutos, mostrando la eficiencia del archivo desarrollado para continuar con la tarea a futuro.

Se capacitaron a los encargados que llevan a cabo la actualización de la información en el SIIG para que supieran cómo usar el archivo e incluir los inclinómetros en posteriores actualizaciones.

#### 6.2.4 Hallazgos después de la carga de información

A medida que se fueron incorporando los datos procesados de los inclinómetros en el SIIG, se pudo identificar que existían algunas fechas donde los gráficos no coincidían con las lecturas históricas (Ver Figura 19). Cuando se identificó esto, se habló con los profesionales encargados de seguridad de presas y de instrumentación de la central donde esto sucedió para analizar y concluir si esto se presentaba por un movimiento del terreno o simplemente por un fallo en el instrumento.

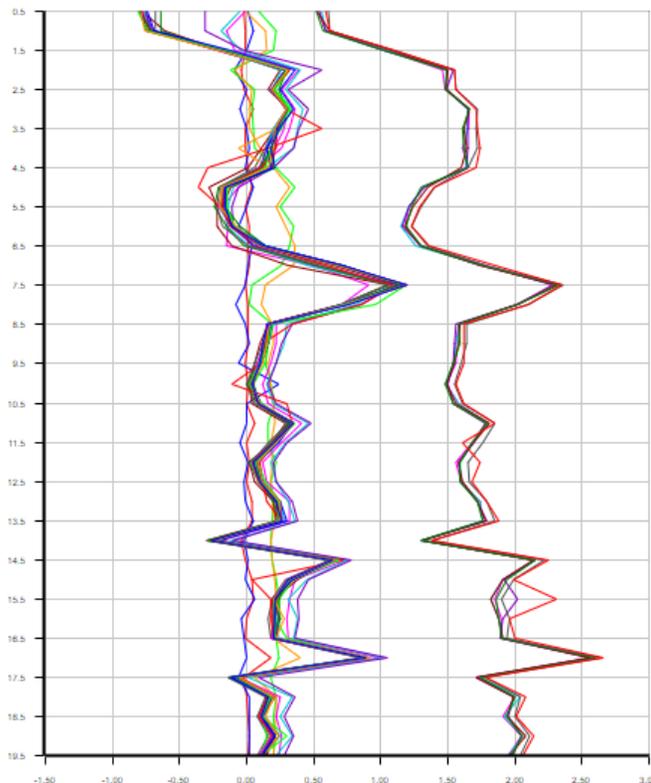


Figura 19. Gráfico inclinómetro – Datos sin concordancia con los históricos. [16]

Después del análisis se concluyó que lo más probable era una falta de calibración de la sonda y la consola de los inclinómetros, de acuerdo a que las observaciones en campo no mostraban evidencia alguna de un movimiento en el terreno donde están instalados los instrumentos, por lo tanto, el contratista encargado de la instrumentación geotécnica se encargó de calibrar tanto la sonda como la consola, con el objetivo de verificar si este era el problema. Después de hacerlo, se procedió a tomar nuevas lecturas para verificar si el comportamiento de los gráficos regresaba a ser como el de los históricos.

Cuando se procesaron los datos, se cumplió lo que se esperaba, por lo tanto, la solución fue la adecuada. En la Figura 20 se puede ver el mismo gráfico que se presenta en la Figura 19, con la diferencia de que, en este caso, la tendencia de los datos regresó a su comportamiento histórico.

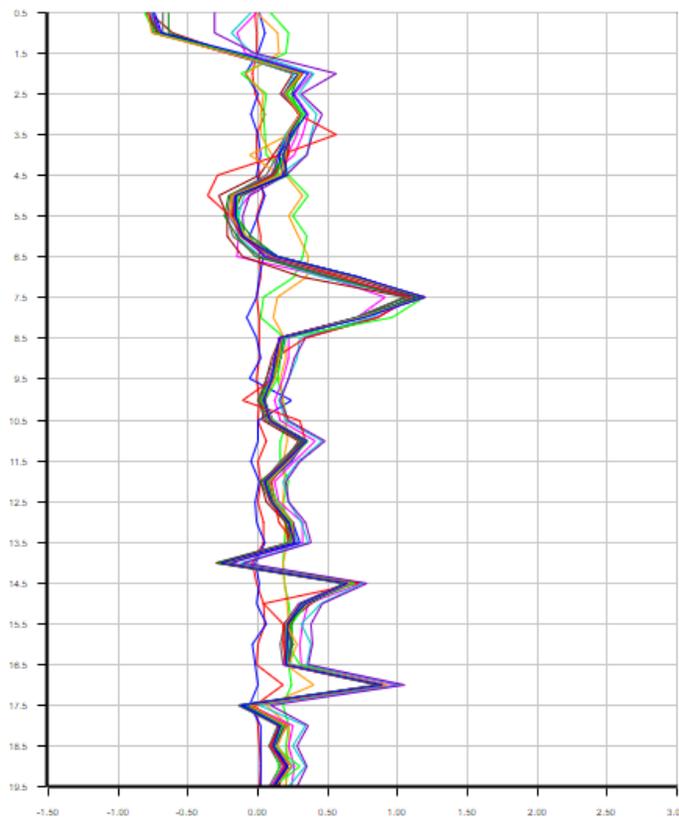


Figura 20. Gráfico inclinómetro después de identificar la causa de los datos sin concordancia. [16]

Este problema pudo identificarse gracias a que los datos de los inclinómetros ya están en el SIIG, mostrando su valor al momento de hacer los análisis de instrumentación, además de que también es útil para evitar que se recolecte información que no es exacta durante mucho tiempo.

### 6.3 Etapa 3

Durante las visitas de inspección de presas en las centrales se logró identificar la instrumentación geotécnica instalada, además de las casetas, donde se recolecta la información de la instrumentación automática. Esta última se descarga a un computador para posteriormente cargarla al SIIG.

La Presa Patángoras (Ver Figura 12) corresponde a una presa de concreto compactado con rodillo (CCR). Esta tipología de presa presenta algunas desventajas, como lo es las infiltraciones que se pueden dar entre las capas debido al carácter permeable, es por esto, que la presa posee una membrana impermeable para evitar la infiltración por el cuerpo de presa, la cual se pudo identificar y conocer durante la visita a la estructura. En la Figura 14 se puede observar una de las galerías del cuerpo de la presa, donde se evidencia que prácticamente no existen infiltraciones, a diferencia de las galerías de los estribos donde la infiltración es evidente. En la Figura 13 se muestra una de galería de los estribos, donde se puede observar la humedad en las rocas y la recolección de la infiltración en el canal ubicado a la izquierda.

La presa Guillermo Cano (Ver Figura 16) es una presa en terraplén compactado con un filtro colector inclinado, conectado a un colector de drenaje que cubre la base del talud aguas abajo, la Figura 21 muestra un ejemplo similar al tipo de diseño empleado. Se identificó que el vertedero (Ver Figura 17 y Figura 18) está ubicado en un lugar diferente a la presa, en este caso, se encuentra adyacente a esta. En la Figura 22 se muestra una vista en plata donde se pueden ver la presa en la parte superior y el vertedero en la parte inferior de esta.

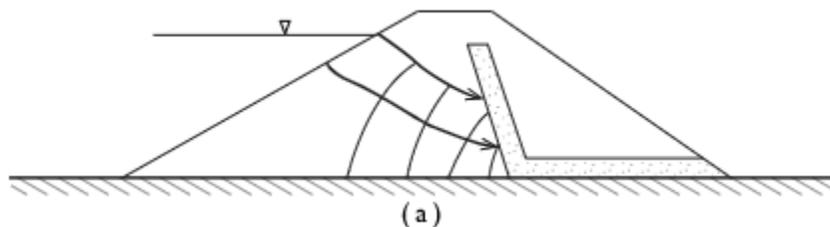


Figura 21. Características de diseño para las presas de tierra y roca. [17]

Lo anterior es debido a que, para presas de tierra, el vertedero no puede estar sobre la presa, puesto que simboliza un peligro tener esta ubicación porque se estaría cargando la estructura con su peso, generando que puedan presentarse fallas porque el material no es lo suficientemente competente. Otro motivo por el cual el vertedero no se ubica sobre la presa, es que pueden ocurrir

infiltraciones, generando que ocurra socavación al interior de la presa y se pueda presentar una falla de la estructura.



Figura 22. Vista en planta de la presa Guillermo Cano y del vertedero. [18]

Por otro lado, uno de los estudios que cobra importancia en este tipo de presas son los de suficiencia hidrológica, estos son de vital importancia, puesto que los vertederos se diseñan para evacuar la crecida máxima probable (CMP). Este estudio se realiza incluyendo las variables de cambio climático con el objetivo de conocer si los vertederos diseñados hace más 30 años, aún están en la capacidad de evacuar la CMP.

Para presas de tierra la evaluación de suficiencia hidrológica es más importante, dado que, si se llegara a concluir que la CMP puede sobrepasar la presa, esto conllevaría a un posible colapso, ocasionando una catástrofe.

---

## 7 Conclusiones

Las actividades desarrolladas durante la práctica generaron que se pudiera ahorrar mucho tiempo, además de finalizar con la falta de la información de inclinómetros en el SIIG, donde el descubrimiento de las nuevas funciones, facilitarán las tareas a futuro para los encargados de la actualización.

La herramienta asistente para crear sensores de inclinómetros en el SIIG simbolizó que la labor de creación de los instrumentos, donde anteriormente se necesitaban semanas para esto, se pueda realizar en horas o incluso minutos, dependiendo del caso, optimizando el tiempo invertido en procesos manuales, el cual se puede aprovechar en análisis que son mucho más importantes.

El archivo de Power Query asociado con una macro, fue creado para continuar con la actualización de la información de los inclinómetros en el SIIG, este toma entre 1 y 2 minutos para obtener los archivos que se deben cargar, optimizando al máximo un proceso inexistente hasta el momento y de gran importancia. También se logró que los encargados principales de realizar la actualización de la información en el SIIG obtuvieran las capacidades para desarrollar y usar estos archivos.

Los hallazgos de la no concordancia de los datos de los inclinómetros se pudieron dar gracias al trabajo implementado a lo largo de la práctica, mostrando su valor al momento de hacer los respectivos análisis de instrumentación, además de ser útil para evitar que se recolecte información que no es exacta durante mucho tiempo.

En las visitas de inspección visual de las presas, se pudo identificar que todas las presas y estructuras civiles principales están en correctas condiciones y funcionando adecuadamente, de acuerdo con su comportamiento histórico.

Los manuales y videos que explican todos los procesos relacionados con las actividades desarrolladas durante la práctica se han ido revisando constantemente por el personal interesado, quienes han avalado su importancia y adecuada forma de abordaje

Durante el tiempo en el que se desarrolló la práctica académica, se pudo evidenciar que el programa de seguridad de presas que se implementa en ISAGEN incluyen las mejores prácticas propuestas en la industria, de acuerdo con las diferentes entidades que regulan la seguridad de presas a nivel internacional y con el consultor externo.

---

## 8 Referencias

- [1] ENEL-CODENSA-EMGESA. “Descripción del mercado”. ENEL. Disponible: <https://www.enel.com.co/es/empresas/enel-emgesa/como-se-genera-la-electricidad.html> (Recuperado: 17 de febrero de 2022)
- [2] Limin Zhang, M., Peng, D., & Chang, Y. X. *Dam Failure Mechanisms and Risk Assessment, First Edition 1.1 Classification of Dams*. Part I Dam and Dike Failure Databases, 2016.
- [3] Ley 697. (2001). *Departamento administrativo de la función pública*. [En línea]. Disponible: [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=4449](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=4449)
- [4] AEDIC, “La importancia de la seguridad de embalses y presas”. (n.d). [Blog]. Disponible en: <https://eadic.com/blog/entrada/la-importancia-de-la-seguridad-de-embalses-y-presas/> [Consultado: 04 de junio de 2022]
- [5] Canadian Dam Association, *NIL4-0161 - NTPC - Dam Safety Guidelines*, 1999.
- [6] Professional Engineers and Geoscientist of BC, *LEGISLATED DAM SAFETY REVIEWS IN BC APEGBC PROFESSIONAL PRACTICE GUIDELINES V3.0, 2013*.
- [7] of Natural Resources, D, *Queensland Dam Safety Management Guidelines*, 2020. [En línea]. Disponible: [https://www.resources.qld.gov.au/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/78838/dam-safety-management.pdf](https://www.resources.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0007/78838/dam-safety-management.pdf)
- [8] California department of water resources, Division of safety of dams. *DIVISION OF SAFETY OF DAMS INSPECTION AND REEVALUATION PROTOCOLS*, 2018.
- [9] Federal Energy Regulatory Commission (FERC). *CHAPTER 14 DAM SAFETY PERFORMANCE MONITORING PROGRAM*, 2003.

[10] Aguilar, W, “*Análisis técnico-económico comparativo entre dique construido en material granular compactado y dique en gaviones en el embalse del Proyecto Hidroeléctrico Cariblanco (P. H. Cariblanco)*”, Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2006. [En línea]. Disponible:<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/587/INFORME%20FINALabstract.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[11] VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION AND RECREATION, Dam Safety Education – Dams 101. DCR. Disponible: <https://www.dcr.virginia.gov/dam-safety-and-floodplains/ds-education-dams-101> (Recuperado: 22 de febrero de 2022).

[12] Más que Ingeniería, “Principales tipos de presas y su clasificación”, (n.d). [Blog]. Disponible en: <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/> [Consultado: 10 de junio de 2022]

[13] Ealo Otero, A. ISAGEN SA ESP, “*Presas de Concreto Compactado con Rodillo*”, (n.d). [Presentación]. Disponible en: <https://docs.google.com/presentation/d/1N4JawDL5eqxv35vcOUp9L97KamKnyuhJCOQxPkBfjA/htmlpresent> [Consultado: 10 de junio de 2022].

[14] Federal Energy Regulatory Commission (FERC). *Chapter IX Instrumentation and Monitoring*, 2003.

[15] Manual de instrucciones Modelo GK-603 Consola de Lectura de Inclinómetro Incluyendo sondas tipo MEMS V3.1, Geokon, 1993. [En línea]. Disponible: [https://www.geokon.com/content/manuals/GK-603\\_Manual\\_de\\_Instrucciones.pdf](https://www.geokon.com/content/manuals/GK-603_Manual_de_Instrucciones.pdf)

[16] ISAGEN SA ESP, *Sistema de información de la instrumentación geotécnica*. 2022.

[17] Hydrogeologists without borders, “10.1 Presiones de poros, deslizamientos y estabilidad de taludes”, HWB. Disponible: <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-10/> (Recuperado: 10 de junio de 2022)

[18] Google, *Vista en planta del Embalse San Lorenzo y la Presa Guillermo Cano en Google Earth Pro*. (Recuperado: 10 de junio de 2022).