

Procesamiento y presentación de datos de instrumentación de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís



Abstract

The present work is based in the design and creation of a database in Microsoft Access, which will store the information from both types of instruments placed in the dam of PH Pirrís, as the data reported by each of them. This data, generated by the instruments, refer to the different behavior that shows the dam to the loading conditions to which it is subjected, in the construction process and service conditions.

To achieve the design of the database was required to conduct a study on the types of instruments to be installed, as well as verify the exact location for each of them and their correct operation both before and after installation.

After the design, creation an update of the database, a program in Microsoft Excel was developed, which allows displaying the information in a graphical form, so that designing engineers interpretation the dam behavior.

Resumen

El presente trabajo se basó en el diseño y creación de una base de datos en el programa Microsoft Access, la cual almacenará tanto la información de los tipos de instrumentos colocados en la presa del PH Pirrís, como los datos reportados por cada uno de ellos. Estos datos generados por los instrumentos, se refieren a los diversos comportamientos que muestra la presa ante las diferentes condiciones de carga a la cual se somete, en el proceso constructivo y en condiciones de servicio.

Para lograr el diseño de la base de datos, se requirió realizar un estudio sobre los tipos de instrumentos por instalar, así como también verificar la ubicación exacta para cada uno de ellos y su correcto funcionamiento tanto antes, como después de instalados.

Posteriormente de diseñar, crear y actualizar la base de datos, se creó un programa en Microsoft Excel que permitió mostrar la información en forma gráfica, con el fin de que los ingenieros diseñadores realizaran la interpretación sobre el comportamiento de la presa.

Procesamiento y presentación de datos de instrumentación de la presa del P.H. Pirrís

VIRGINIA ALEGRÍA GRANADOS

Proyecto de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO.....	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	4
METODOLOGÍA.....	5
MARCO TEÓRICO.....	14
ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE EL PROYECTO HIDROELECTRICO PIRRIS.....	28
RESULTADOS.....	39
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
ANEXOS.....	74
REFERENCIAS.....	

Prefacio

El diseño y creación de bases de datos permiten el almacenamiento de información de una manera ordenada y estructurada, además de brindar al usuario mayor facilidad para realizar consultas sobre dicha información. La creación de la Base de datos para la instrumentación de la presa y de un programa para la representación gráfica de la información generada por el monitoreo de la represa a través de los instrumentos constituyen una herramienta importante que les permite a los ingenieros diseñadores realizar la interpretación de dicha información y así tomar las consideraciones necesarias en condiciones de riesgo para la represa.

El objetivo de este trabajo consiste en crear una base de datos donde se procese y almacene la información que generan los instrumentos instalados en el cuerpo de represa y en las márgenes de ésta. Además esta base de datos debe ser conectada a un programa que permita la representación gráfica y la realización de consultas de dicha información, para la interpretación y análisis.

Se agradece al Departamento de Ingeniería del PH Pirrís del Instituto Costarricense de Electricidad I.C.E por permitir realizar dicho proyecto y por toda la ayuda brindada por parte del equipo de Ingeniería. Al equipo de Auscultación de Obras de PH Pirrís, por todos sus aportes brindados en el desarrollo del proyecto. Al profesor Oldemar Ramírez Escribano por haber aceptado ser mi profesor guía y por su asesoramiento. A toda mi familia y amigos por su apoyo brindado; muy especialmente a mis padres por su entrega y comprensión.

Resumen Ejecutivo

Al realizar el diseño de una estructura muchas veces es imposible predecir con seguridad el comportamiento de ésta ante las diversas condiciones a las cuales se encuentra sometida. Por lo tanto, es necesario realizar un monitoreo de la obra con el fin de determinar los riesgos que sufre la estructura y así tomar las precauciones necesarias para evitar el colapso parcial o total de ella.

El monitoreo se realiza a partir de la colocaciones de diversos instrumentos, los cuales miden distintos parámetros que reflejan el estado de la estructura conforme pasa el tiempo y se somete a diversas condiciones de carga.

En el caso de este trabajo, se realizó un estudio sobre los instrumentos que se instalaron en la represa del PH Pirrís, los cuales fueron los responsables de realizar el monitoreo de ésta en sus diferentes etapas como lo son el proceso constructivo y su puesta en marcha.

Durante el desarrollo del trabajo se hizo una investigación sobre los tipos de instrumentos, la cual abarca tanto el funcionamiento como los métodos de instalación. El estudio también contempló la interpretación de los planos de instrumentación de la represa con el objetivo de reconocer los tipos por instalar, así como la ubicación de cada uno de ellos. Además se realizaron visitas al campo para verificar la correcta instalación de los instrumentos así como también la ubicación de éstos. Una vez instalados se iniciaron las lecturas diarias a cada uno de ellos, excepto a los ubicados en las márgenes de represa, a los cuales las lecturas se realizan en forma semanal.

Debido a que las lecturas generadas por los instrumentos, requieren de un debido procesamiento para ser analizadas por parte de los diseñadores, se creó una base de datos en el programa Microsoft Access, la cual constituye

una herramienta muy útil e importante para lograr un adecuado almacenamiento de dicha información.

Una vez creada y actualizada la base de datos, se hizo un programa con el objetivo de representar la información de manera gráfica y, a la vez, poder realizar las debidas consultas acerca de la información contenida en la base de datos. El programa fue creado en Microsoft Visual Studio 2008, en el cual se realizaron consultas e inserción de datos y, al unirlo con Microsoft Excel, se encargó de representar en forma gráfica la información contenida en la base de datos.

A partir de ello y en conjunto con los programas antes mencionados, se lograron obtener los gráficos que muestran el comportamiento de la represa durante el proceso constructivo. Es importante mencionar que los gráficos obtenidos sobre la variación de la temperatura a través del tiempo, fueron utilizados, para realizar comparaciones entre el comportamiento teórico y el comportamiento real de la represa. El estudio teórico es realizado por un ingeniero estructural. El desarrolló un modelo del análisis térmico por el método de elementos finitos y, al realizar la comparación, se concluyó que el comportamiento térmico real se acerca bastante a lo previsto en el análisis teórico.

Se espera obtener resultados similares con el resto de los instrumentos instalados en la represa y que el presente trabajo continúe siendo una herramienta útil para lograrlo.

En la siguiente figura se observa la ubicación de los instrumentos en el espacio, lo cual se logró gracias al programa ArcGIS, un programa de sistemas de información geográfica. En la figura se observan los instrumentos instalados en las márgenes, los cuales corresponden a piezómetros abiertos en color celeste, mientras que los de color anaranjado se refieren a los inclinómetros. Los instalados en el cuerpo de represa, corresponden a piezómetros eléctricos, termómetros y deformímetros. Estos

son representados por los colores: magenta, rojo y verde.

Con esto se logró una mejor visualización sobre la ubicación de los instrumentos en la estructura.

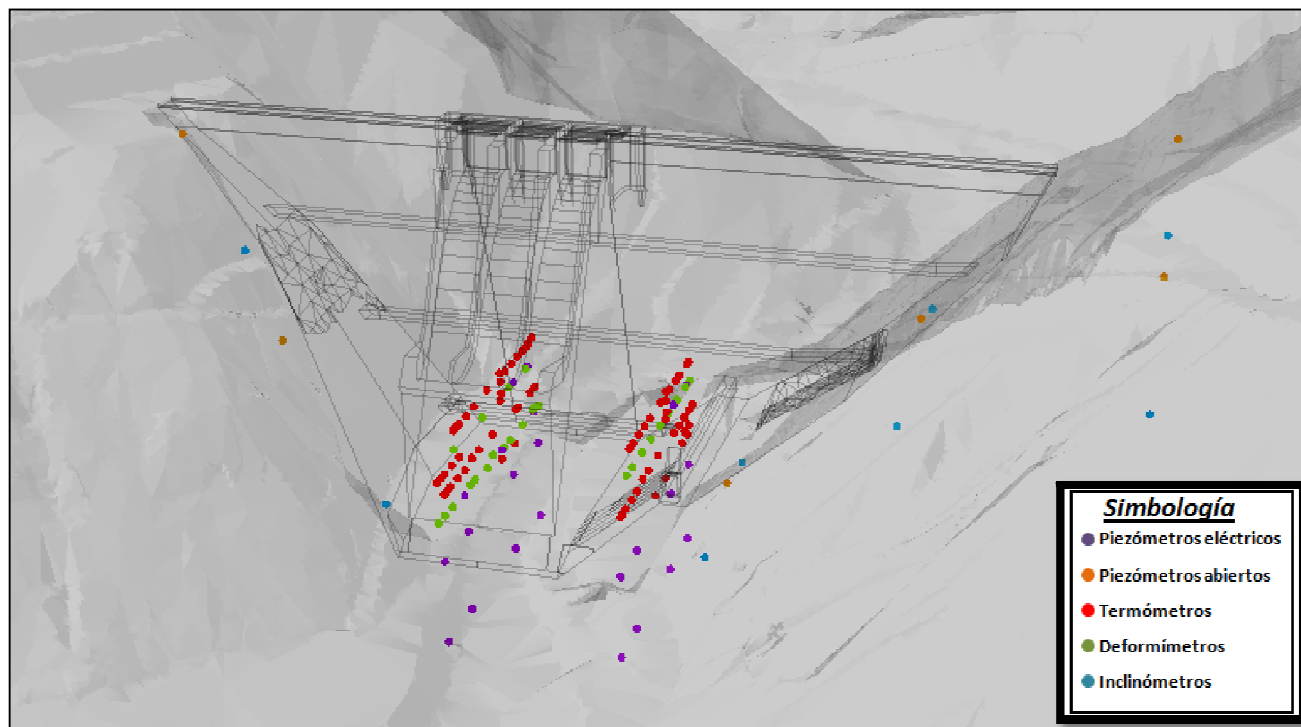


Figura 1. Ubicación de los instrumentos instalados en la represa. Fuente Geólogo Jorge Bonilla, ICE, Departamento de Ingeniería, 2009

Introducción

En la construcción de la represa del PH Pirrís, se instalaron diversos tipos de instrumentos, los cuales han tenido la función de monitorearla, tanto en el proceso constructivo, como en condiciones de servicio. Por lo anterior, se requiere que dichos instrumentos hayan sido colocados en el lugar definido por los ingenieros geotecnistas y estructurales, para lograr lo que se requiere de ellos. Estos instrumentos generan gran cantidad de información, la cual debe ser procesada y almacenada en una base de datos, que al unirla a un programa, éste admita la creación de gráficos. Logrando así, realizar las debidas interpretaciones sobre el comportamiento de la represa; pues ésta se encuentra sometida a diversas cargas y condiciones específicas.

Debido a que se requiere de un sistema que procese la información generada por los instrumentos, recolectada por el personal de Auscultación de Obras, se procedió a realizar una base de datos lograr un ordenamiento de la información, con ello se generó información gráfica, para ser analizada por los ingenieros diseñadores.

El principal objetivo del trabajo fue crear una base de datos junto con un programa que permitiera el procesamiento y representación de la información generada por la instrumentación instalada en la represa del PH Pirrís, que permita verificar las variaciones en el tiempo de los valores de cada uno de los parámetros que se generan con los instrumentos instalados y por instalar en el cuerpo de represa y en las márgenes de ésta.

Dentro de los objetivos específicos del trabajo se mencionan los siguientes:

1. Estudiar los planos de la instrumentación del cuerpo de la represa del PH Pirrís para reconocer la posición en el espacio de cada tipo de instrumento con el fin de confirmar que el constructor y el personal de Auscultación de Obras lo instale según el diseño y las especificaciones.

2. Estudiar y comprender los planos que corresponden a la instrumentación de las márgenes de la represa del PH Pirrís, así como el tipo y función de cada instrumento para confirmar su adecuado funcionamiento en la detección de anomalías en la represa o sus márgenes.
3. Hacer equipo de trabajo con el personal de Auscultación de Obras para verificar la correcta instalación de cada tipo de instrumentos de acuerdo con los planos y especificaciones.
4. Procesar datos de la información de la instrumentación del cuerpo de represa y de las márgenes de la fundación de ésta, y preparar informes con los gráficos requeridos para la interpretación de la información.
5. Atender de manera oportuna las solicitudes de información actualizada de los ingenieros diseñadores de la instrumentación, para que puedan tomar decisiones y hacer correcciones sobre la marcha.

Metodología

Con el fin de lograr una mejor comprensión sobre las actividades realizadas para cumplir con los objetivos establecidos para el proyecto, se ha dividido la metodología en tres partes:

- Estudio y comprensión de los planos de instalación de la instrumentación de la represa.
- Búsqueda y recolección de la información sobre los instrumentos y de sus lecturas.
- Procesamiento y presentación de la información.

Estudio y comprensión de los planos de instalación de la instrumentación de la represa

La primera semana de julio se inicia el estudio e interpretación de los planos de instalación de la instrumentación, con el objetivo de ubicar cada uno de los instrumentos que se hayan en la represa del PH Pirrís. Además de la ubicación de los instrumentos, en planos se detallan los diferentes tipos por instalar, así como también la cantidad de cada uno de ellos, esto se apreciará más adelante. La labor fue realizada en las oficinas del plantel, el cual se ubica en Abejónal de San Pablo de León Cortés; posteriormente se continuó el estudio en el sitio de represa, con el objetivo de ubicar los instrumentos en sitio, y a la vez, aclarar dudas con el equipo de Auscultación de Obras del ICE, sobre la función y el proceso de instalación de cada uno de los instrumentos.

Es importante mencionar, que se realizaron consultas en internet, con el fin de obtener mayor información sobre los instrumentos, como por ejemplo las especificaciones técnicas según el fabricante, además la base teórica de cada uno de ellos, como función, instalación y consideraciones que se deben contemplar en la selección del instrumento, entre otros aspectos.

Búsqueda y recolección de la información sobre los instrumentos y de sus lecturas

Además de los estudios realizados acerca de la instrumentación que se instala en la represa del PH Pirrís, se trabajó en equipo con el grupo de Auscultación de Obras del PH Pirrís, para verificar la colocación adecuada de los instrumentos según lo establecido por los ingenieros diseñadores.

Con esta actividad se lograron controlar los equipos instalados y, a la vez, introducirlos a la base de datos, de la cual se hablará posteriormente. En la base de datos se almacenan las principales características de cada uno de los instrumentos, las cuales se definen en el momento de la instalación. Así mismo, se almacena la información que generan los instrumentos una vez instalados en el lugar correspondiente. Es importante mencionar, que la información es tomada de un sitio en la red, el servidor, el cual es un lugar donde el equipo de Auscultación de Obras sube la información de las lecturas realizadas a cada uno de los instrumentos. Otra manera de recabar la información es directamente en el campo, en la Oficina de Instrumentación con el personal de Auscultación de Obras, pues ellos se encargan de realizar las lecturas a los instrumentos y, a la

vez, almacenar la información en Microsoft Excel®.

Las lecturas a los instrumentos se realizan cuatro veces al día, excepto a los que se ubican en las márgenes de la represa. A estos instrumentos se les toma lectura en forma semanal. En la siguiente figura se observa la lectura realizada a una serie de termómetros ubicados en el cuerpo de represa.



Figura 2. Lectura de temperatura registrada por una serie de termómetros. Fuente Autora.

Procesamiento y presentación de la información

Una vez obtenida la información, se inicia con el diseño de la base de datos en Microsoft Access, la cual se almacena en diferentes tablas, según la clasificación. Para iniciar con el diseño de la base de datos, se determinó primero la finalidad para la cual se va a utilizar, así como quiénes serán los usuarios. Luego se realiza la recolección y organización de la información que formará parte de la base de datos, con el fin de clasificarla según su importancia, ello permite disminuir las redundancias de las lecturas en la bases de datos.

Una vez reunida la información, ésta se divide en forma de tablas, las cuales se crean estableciendo los temas principales que la caracterizan. Ya con los temas principales, se

define la información que se desea almacenar en relación con esos temas, de tal manera que se inicia la creación de las columnas que formarán las tablas. Después de crearlas, se definen los identificadores o claves principales, los cuales deben ser únicos para cada registro, de tal manera que faciliten las consultas que se desean realizar. Los identificadores corresponden una llave que permiten la entrada y la salida a un registro en específico.

Una vez establecidas las tablas, con sus debidas columnas y sus claves principales, se aplican las reglas de normalización, esto para garantizar que las tablas se encuentren bien estructuradas, además se evita la repetición de la información.

Luego de normalizar la base de datos, se procede a relacionar las tablas según corresponda y se requiera. Las tablas se encuentran relacionadas de tal manera que permita la conexión con otros programas para así realizar la interpretación del comportamiento de una mejor manera.

En los siguientes párrafos, se mostrará en detalle la creación de la BDIP, junto con la descripción de cada una de las tablas que la forman.

Creación de la BDIP (Base de Datos para la Instrumentación de la Represa)

Una base de datos es un conjunto de información, la cual se encuentra relacionada y estructurada, de tal forma que permita realizar diversas consultas.

La BDIP se crea con el fin de almacenar los datos que reportan los instrumentos de la Represa de PH Pirrís.

Para definir la cantidad de tablas que formarán la BDIP, se realizó una búsqueda de la información por procesar. Dicha información fue clasificada de forma tabulada. Además se analizaron los diferentes parámetros de medición de cada uno de los instrumentos que se colocaron. Dichos parámetros, junto con la información que caracteriza a cada instrumento,

son los que ocupan los campos o columnas dentro de las tablas.

Ya con la información clasificada, se inicia con el diseño de la base de datos empezando con la creación de tablas. Es importante mencionar que el nombre de las tablas no debe llevar espacios ni tildes, pues no es conveniente en el momento de realizar un código de programación para las consultas correspondientes.

La llave que aparece al lado izquierdo de los ID, es la que permite entrar y salir de las tablas en el momento de las consultas.

Tablas que componen la BDIP

➤ Instrumentos

La primera tabla, contiene la información general de los instrumentos instalados. Ésta está formada por los siguientes campos:

- **IdInstrumento:** caracteriza a cada instrumento como un elemento único.
- **Nombre:** corresponde al nombre del instrumento en el campo, por ejemplo PZ-14, el cual se refiere al piezómetro eléctrico 14.
- **Elevación:** se refiere a la posición que tiene el instrumento en relación con el nivel del mar.
- **Norte:** ubicación del instrumento con respecto del norte de las coordenadas nacionales, lamber sur.
- **Este:** ubicación del instrumento con respecto del este de las coordenadas nacionales, lamber sur.
- **Ubicación al eje de represa:** Distancia en metros a la cual se ubica el instrumento ya sea aguas arriba (-) o aguas abajo (+), tomando en cuenta como punto de referencia, el eje de represa.
- **Estación:** define la estación en la cual se instaló el instrumento. Por ejemplo en la 0+105, en 0+158, entre otras.
- **Fecha y hora de instalación:** corresponde a la fecha y hora cuando se instaló el instrumento.
- **IDTipo:** este campo clasifica al instrumento según el tipo, como por ejemplo: un piezómetro, un termómetro, un inclinómetro.

- **Profundidad:** este campo es para aquellos instrumentos que para su instalación, requieren que se realice una perforación.

En la figura 3, se muestra la tabla con cada una de sus columnas.

Instrumentos	
🔑	IdInstrumento
	Nombre
	Elevacion
	Norte
	Este
	UbicacionEjePresa
	Estacion
	FechaHoraInstalacion
	IDTipo
	Profundidad

Figura 3. Tabla instrumentos. Fuente Autora.

➤ TipoInstrumento

Esta tabla contiene información sobre los diferentes tipos de instrumentos que se instalan en la represa del PH Pirrís. La tabla está formada por los siguientes campos:

- **IdTipo:** se refiere al número que representa a un único tipo de instrumento, por ejemplo el número 1 corresponde a los inclinómetros.
- **NombreTipo:** este campo guarda el nombre de todos los tipos de instrumentos que se instalan en la represa.

En la siguiente figura se muestra la tabla TipoInstrumento.

TipoInstrumento	
🔑	IdTipo
	NombreTipo

Figura 4. Tabla Tipo de instrumento. Fuente Autora.

➤ Lecturas

La tabla de lecturas funciona como una tabla sensible, pues es la que recibe la mayor cantidad de información y se relaciona con todas la tablas que componen la BDIP. Está compuesta por las siguientes columnas:

- IdLectura: corresponde al número característico para cada una de las lecturas realizadas a los instrumentos.
- Fecha: se refiere a la fecha en la cual se realiza la lectura.
- Hora: concierne en la hora a la cual se realiza la lectura.
- IdInstrumento: es el que caracteriza a cada uno de los instrumentos como únicos. La función que tiene en esta tabla, es la de relacionar las lecturas hechas con el instrumento al cual se le aplicó la lectura.

La figura 5 muestra la tabla lecturas con sus columnas correspondientes:

Lecturas			
🔑 IdLectura	Fecha	Hora	IDInstrumento

Figura 5. Tabla lecturas. Fuente Autora.

➤ LecturasXPiezometroElectrico

Esta tabla almacena la información que reportan los piezómetros eléctricos. Estos instrumentos miden presiones y temperaturas en la fundación y cuerpo de represa. Estos parámetros son almacenados en esta tabla. Los campos que contiene la tabla lecturasxpiezometroelectrico, son los siguientes:

- IdLecturaPiezometroElectrico: es un número que corresponde a una única lectura realizada por un piezómetro eléctrico en particular.
- Presión: se refiere a la presión en kg/cm², registrada por el instrumento en una fecha y hora determinadas.
- Temperatura: corresponde a la temperatura en °C, registrada por el instrumento en una fecha y hora determinadas.
- IdLectura: se refiere al número que corresponde a una lectura única para un instrumento único y esta tabla tiene la función de relacionar las lecturas hechas con los parámetros registrados.

La estructura de la tabla se muestra en la figura 6:

LecturasXPiezometroElectrico			
🔑 IdLecturaPiezometroElectrico	Presion	Temperatura	IDLectura

Figura 6. Tabla lecturas piezómetro eléctrico. Fuente Autora.

➤ LecturasXPiezometroAbierto

Esta tabla almacena los registros de la variación del nivel freático en las márgenes de la represa. Este parámetro es medido por los piezómetros abiertos del tipo Casagrande. La tabla contiene las siguientes columnas:

- IdLecturaPiezometroAbierto: caracteriza a cada una de las lecturas realizadas a un único piezómetro abierto en una fecha y hora determinadas.
- Nivel freático: corresponde al nivel de agua en el terreno medido a partir de la máxima profundidad del piezómetro y registrado en m.s.n.m.
- IdLectura: se refiere a una fecha y hora determinadas de lectura y la función que tiene en esta tabla es la de relacionar la lectura del nivel freático con la fecha y hora a la cual se hace.

La tabla se muestra en la siguiente figura:

LecturasXPiezometroAbierto		
🔑 IdLecturaPiezometroAbierto	NivelFreatico	IDLectura

Figura 7. Tabla lecturas Piezómetro abierto. Fuente Autora.

➤ LecturasXInclinometro

A pesar de que los inclinómetros cuentan con su propio almacenamiento de datos y sus reportes son de los desplazamientos de los macizos que forman las márgenes de la represa, estos también se han utilizado para medir niveles freáticos. Por lo tanto, esta tabla se crea para almacenar dichos registros. Está formada por las siguientes columnas:

- IdLecturaInclinometro: identifica cada lectura que se le realiza a un inclinómetro determinado.

- Nivel freático: Nivel de agua en el terreno medido en m.s.n.m, con respecto de la máxima profundidad de la perforación del inclinómetro.
- IdLectura: identifica la fecha y hora de lectura con la medición del nivel freático correspondiente.

En la figura 8, se muestra la tabla LecturasXIclinometro.

LecturasXIclinometro	
🔑	IdLecturaInclinometro
	NivelFreatico
	IDLectura

Figura 8. Tabla lecturas inclinómetro. Fuente Autora.

➤ LecturasXTermometro

Los termómetros reportan las temperaturas a las cuales se encuentra la represa. Este parámetro es almacenado en esta tabla. Los campos o columnas que la forman son los siguientes:

- IdLecturaTermometro: se refiere a un número característico de cada una de las lecturas realizadas a un termómetro en específico.
- Temperatura: parámetro medido por el termómetro en °C.
- IdLectura: permite relacionar la fecha, hora y temperatura, con el respectivo termómetro al cual se le realiza la lectura.

La siguiente figura muestra la tabla LecturasXTermometros con los campos correspondientes:

LecturasXTermometro	
🔑	IdLecturaTermometro
	Temperatura
	IDLectura

Figura 9. Tabla lecturas termómetro. Fuente Autora.

➤ LecturasXDeformimetro

Los deformímetros son los instrumentos que se encargan de reportar las deformaciones que sufre la represa, ante las diversas condiciones de carga a las cuales se encuentra sometida. Las deformaciones se miden en tres direcciones A (dirección vertical a la presa), B (de aguas arriba

hacia aguas abajo) o C (de la margen izquierda a la margen derecha), según se requiera, además se reportan temperaturas en esas mismas direcciones. Estos parámetros son almacenados en esta tabla, la cual está conformada por las siguientes columnas:

- IdLecturaDeformimetro: corresponde a un número que identifica a cada una de las lecturas que se le realizan a los deformímetros.
- Deformación A: deformación que se produce en la dirección de A en unidades de microdeformaciones.
- Temperatura A: temperatura reportada por el sensor en la dirección A en °C.
- Deformación B: parámetro medidor por el sensor en la dirección B, en microdeformaciones.
- Temperatura B: temperatura en °C reportada por el sensor B.
- Deformación C: se refiere a la deformación que se genera en la dirección C, medida en microdeformaciones.
- Temperatura C: reportada en °C, por el sensor C.
- IdLectura: relaciona las lecturas de deformación y temperatura realizadas a cada uno de los deformímetros con su fecha y hora.

La figura 10 muestra las columnas que componen dicha tabla.

LecturasXDeformimetro	
🔑	IdLecturaDeformimetro
	DeformacionA
	TemperaturaA
	DeformacionB
	TemperturaB
	DeformacionC
	TemperaturaC
	IDLectura

Figura 10. Tabla lecturas deformímetro. Fuente Autora.

➤ LecturasXMedidoresJuntas

Los medidores de juntas captan los desplazamientos generados en articulaciones o juntas, que separan los bloques de hormigón. Los desplazamientos se pueden medir en tres direcciones o en una sola, dependiendo de la

ubicación de la junta. En la represa se colocarán tres tipos de medidores de juntas: Medidores de juntas 3D eléctrico, medidores de juntas 3D manual y medidores de juntas 1D. Estos desplazamientos son almacenados en las tablas que se mostrarán a continuación. Las tablas están formadas por los siguientes campos o columnas:

- **IdLecturasMedidorJuntas:** Esta columna corresponde a un auto numérico, el cual es único para cada lectura realizada a un instrumento en específico.
- **EjeX:** Se almacena el desplazamiento originado en la dirección X.
- **EjeY:** En éste se introduce el desplazamiento en la dirección Y.
- **EjeZ:** Aquí se guarda el reporte del desplazamiento en la dirección de Z.
- **IdLecturas:** Este Id relaciona las lecturas de los desplazamientos, con las fechas y horas a las cuales fueron reportados.

Las siguientes figuras muestran las tres tablas creadas para el almacenamiento de la información que generan los diversos tipos de medidores de juntas.

LecturasXMedidorJuntas3DElectronico	
🔑	IdLecturasMedidorJuntas3D
	EjeX
	EjeY
	EjeZ
	IDLectura

Figura 11. Tabla lecturas medidor de juntas 3D electrónico.
Fuente Autora.

LecturasXMedidorJuntas3DManual	
🔑	IdLecturasXMedidorJuntas3DManual
	EjeX
	EjeY
	EjeZ
	IdLectura

Figura 12. Tabla lecturas medidor de juntas 3D manual.
Fuente Autora.

LecturasXMedidorJuntas1D	
🔑	IdLecturasMedidorJuntas1D
	EjeX
	EjeY
	IDLectura

Figura 13. Tabla lecturas medidor de juntas 1D

➤ LecturasXClinometros

Los clinómetros son los que miden la inclinación de la estructura en sí, debido a las diversas cargas a las cuales se encuentra sometida. En la represa del PH Pirrís se instalaran dos tipos de clinómetros: manuales y electrónicos. Para el almacenamiento de la información que generan dichos instrumentos, se crean las tablas lecturas por clinómetros. Dichas tablas están formadas por las siguientes columnas:

- **IdLecturasXClinometro:** esta columna corresponde a un número que identifica a cada lectura realizada a un instrumento en específico.
- **A+:** almacena la inclinación en la dirección de A+.
- **A-:** almacena la inclinación en la dirección de A-.
- **B+:** guarda el registro en la dirección de B+.
- **B-:** guarda el registro en la dirección de B-.
- **Temperatura:** almacena la temperatura en °C reportada por los clinómetros.
- **IdLectura:** este campo cumple la función de relacionar cada una de las lecturas con su fecha y hora.

En las figuras 14 y 15 se muestran las dos tablas creadas para almacenar los parámetros medidos por los tipos de clinómetros instalados en la represa.

LecturasXClinometroElectronico	
🔑	IdLecturasClinometroElectronico
	A+
	A-
	B+
	B-
	Temperatura
	IdLectura

Figura 14. Tabla lecturas clinómetro electrónico. Fuente Autora

LecturasXClinometroManual	
IdLecturasClinometroManual	
A+	
A-	
B+	
B-	
Temperatura	
IDLectura	

Figura 15. Tabla lecturas clinómetro manual. Fuente Autora.

➤ LecturasXExtensometro

Estos instrumentos monitorean los cambios en la distancia entre uno o más anclajes de fondo de pozo y una cabeza de referencia en el cuello de la perforación. Para almacenar los parámetros que miden los extensómetros de barras instalados en la represa, se crea la tabla LecturasXExtensometros. Esta tabla se encuentra estructurada por las siguientes columnas:

- IdLecturaExtensometros: corresponde a un auto numérico que identifica cada lectura realizada a un extensómetro en específico.
- Puntos de control: almacena cada uno de los cambios de distancia entre los diferentes anclajes (1, 2, 3 y 4) y la cabeza de la perforación.
- IdLectura: este campo relaciona las lecturas realizadas con la fecha y hora determinada.

La figura 16 muestra la tabla LecturasXExtensometros.

LecturasXExtensometro	
IdLecturasExtensometros	
Puntodecontrol1	
Puntodecontrol2	
Puntodecontrol3	
Puntodecontrol4	
IDLectura	

Figura 16. Tabla lecturas extensómetro. Fuente Autora.

Las tablas se encuentran relacionadas entre sí, con el objetivo de realizar las diversas consultas

que se requieran de cada una de ellas. Estas relaciones se muestran en la figura 17.

Una vez terminado el diseño de la base de datos y el llenado de ésta, se pasa a la creación de un programa que permite las entradas y salidas a la base de datos.

Las entradas corresponden al ingreso de la información nueva, mientras que las salidas son la representación gráfica del comportamiento de la represa según lo indicado por los instrumentos.

Se crea una herramienta utilizando dos extensiones o partes del mismo programa, los cuales son: Microsoft Visual Studio 2008® y Microsoft Visual Basic, editor de Microsoft Excel®. Con el fin de presentar una base de datos, ordenada, dinámica y fácil de usar. Al mismo tiempo, por medio de gráficos mostrar el comportamiento de la represa debido a las variantes que se presentan.

El programa creado consta de tres pantallas, las cuales fueron programadas en Microsoft Visual Studio 2008®. Una de las pantallas se crea con el fin de introducir a la base de datos, los instrumentos nuevos y las lecturas que se realizan a cada uno de ellos. La siguiente pantalla permite ver los instrumentos instalados con sus lecturas en intervalos de tiempo. La última pantalla facilita las búsquedas de los instrumentos por la ubicación y al igual que la anterior, permite ver las lecturas del instrumento, con la salvedad de que muestra la lectura de un día en específico.

Desde la pantalla principal del programa, se crea una conexión a Microsoft Excel, donde se realizan los gráficos que muestran el comportamiento de cada uno de los instrumentos. A partir del editor de Visual Basic de Excel, se programan las consultas que con frecuencia son requeridas. En el caso de que las consultas sean más específicas, el programa permite a través de filtros de datos, crear gráficos distintos de los previamente programados.

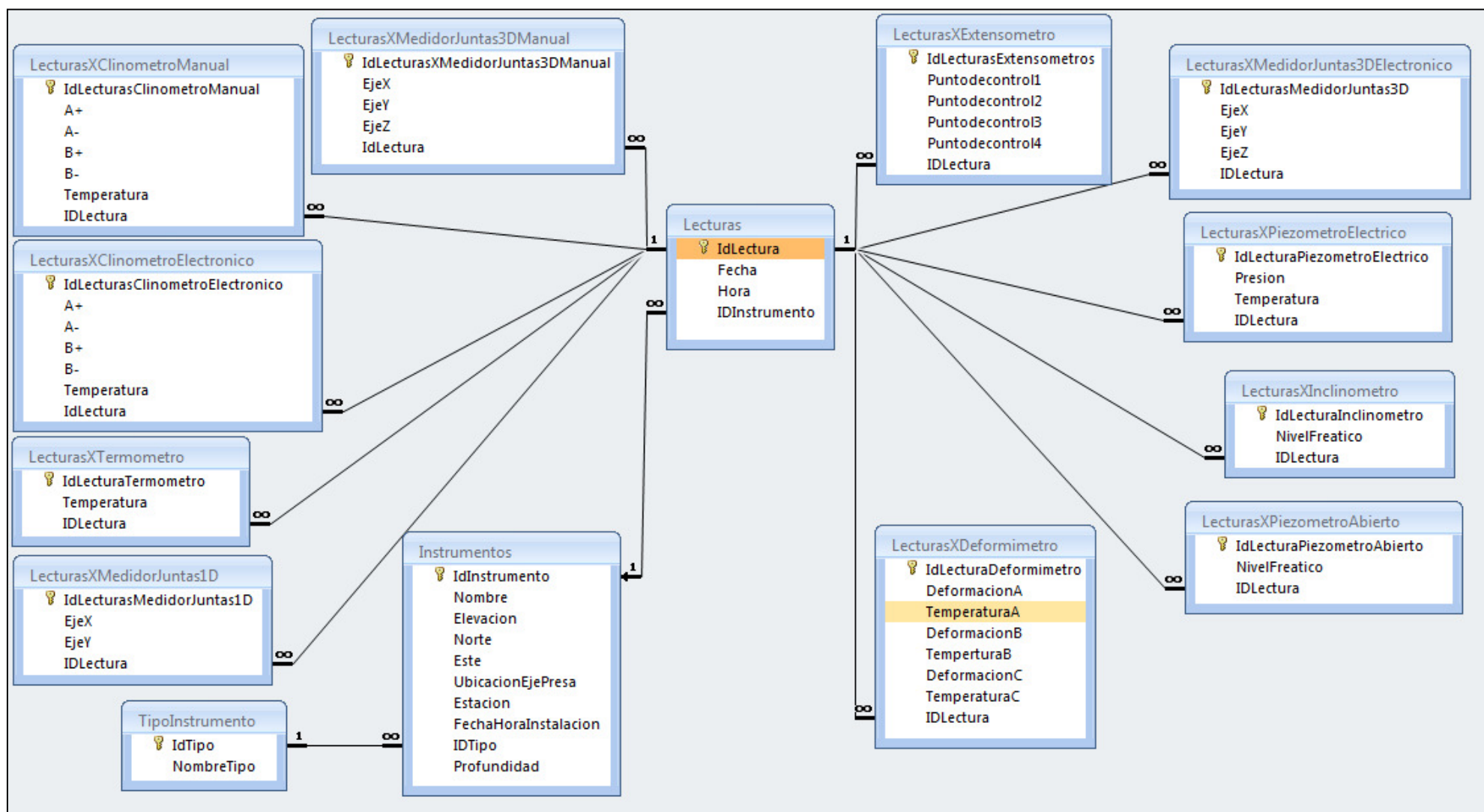


Figura 17. Relaciones entre tablas que componen la BDIP. Fuente Autora.

Marco teórico

La represa en un proyecto hidroeléctrico

En el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, se ven involucradas varias obras, las cuales son de gran importancia para el desempeño de éste.

Una de las principales obras, es la construcción de la represa. Ésta tiene como función principal, detener el agua para generar el embalse, el cual almacena agua con el fin de asegurar el suministro en épocas de menor precipitación. La capacidad del embalse es definido por la altura de la represa, lo cual al mismo tiempo define la cantidad de energía que se va a reproducir.

Las represas pueden clasificarse según su función o por el tipo de material en que se construye. Según su función, se clasifican como:

- **Represas derivadoras:** Estas son utilizadas para riego, para agua potable e hidroelectricidad.
- **Represas de retención:** Se utilizan como almacenamiento para regulación, control de avenidas e inundaciones y recreación.

Según el tipo de material con que se construyen, éstas se clasifican de la siguiente manera:

- **Represas de hormigón o concreto:** Son muy utilizadas, pues el concreto permiten construir represas estables y duraderas.
- **Represas de materiales sueltos:** Son las construidas a partir de un relleno de tierras, las cuales brindan las resistencias necesarias para contrarrestar el empuje generado por el agua.

- **Represas de enrocamiento con cara de hormigón o concreto:** En este tipo, el elemento de retención lo constituyen fragmentos de roca de varios tamaños, los cuales soportan del lado del embalse una cara de concreto, el cual es el elemento impermeable.

En la figura 18, se muestra un ejemplo de una represa hidroeléctrica construida con la tecnología de RCC.



Figura 18. Represa hidroeléctrica Pirrís,. Fuente autora.

Represas de concreto compactadas con rodillo (RCC):

Las primeras aplicaciones del concreto compactado con rodillo en la construcción de represas se dan en Taiwán, en la década de los sesenta. En los últimos años la tecnología del RCC, ha ganado aceptación en la construcción de represas, no sólo por su bajo costo, sino también por su facilidad de colocación.

El RCC es una mezcla que se compone de cemento con un alto contenido de puzolanas (material natural o artificial que contiene sílice y alúmina), agregados finos y gruesos, los cuales son mezclados con pocas cantidades de agua y aditivos. Esta mezcla requiere para la compactación, altas dosis de energía, por ello se utilizan rodillos vibratorios. Las represas en RCC contrarrestan los empujes del agua y el suelo mediante su propio peso, además son utilizadas básicamente en represas por gravedad.

Tipos de mezcla de RCC

Es importante mencionar que el diseño de mezcla de RCC es característico de cada proyecto realizado con este material, pues debe ajustarse gradualmente en función de los resultados del análisis estático, dinámico y térmico. Además el diseño de mezcla depende en parte de la disponibilidad de los agregados en sitio. Básicamente existen tres tipos de mezclas de RCC:

Mezcla de alta pasta

Se caracteriza por poseer altos contenidos de material cementante, superior a 150 kg/m^3 de concreto, con sustituciones de puzolanas entre 61% y 80%. Este tipo de mezcla presenta un alto calor de hidratación, alta densidad e impermeabilidad, es muy trabajable y existe un mayor control durante el proceso constructivo. Desarrolla una buena unión entre capas debido al alto contenido de material cementante, sin

embargo, dado a lo anterior, requiere de la construcción de juntas de contracción.

Mezcla de media pasta

Este tipo de mezcla posee entre 100 y 150 Kg/m^3 de concreto, de material cementante, cuyas adiciones de puzolanas varían entre 31% y 60%. La pasta es necesaria para el relleno de los vacíos entre los agregados, pero sin exceso, por lo que se hace necesario el uso de morteros de adherencia ente capas.

Mezcla de baja pasta

Este tipo de mezcla posee menor contenido de material cementante, el cual es menor a 100 kg/m^3 de concreto con adiciones de puzolanas de 0 y 30%. Debido al poco contenido del material cementante, la unión entre capas es deficiente, por falla de fluencia de la pasta en la superficie de cada capa. Se requiere tratamiento de juntas de construcción entre capas mediante el uso de un mortero de adherencia.

Proceso constructivo de las rerepresas en RCC

Los siguientes son procesos por considerar en la construcción de una represa en RCC:

- Diseño del tipo de mezcla

Esto permite definir los tipos de agregado requeridos para la construcción de la represa. Al mismo tiempo determinar la fuente de obtención de esos agregados

- Diseño de planta y obtención de agregados

Para lograr mantener un ritmo continuo de trabajo, se debe contar con un buen diseño de planta que permita agilizar los procesos de transporte y colocación. Además es importante contar con un adecuado suministro de agregados de buena calidad, planificando tanto la extracción de éstos como las zonas específicas de apilamiento.

- Preparación y limpieza de superficies

Antes de iniciar con la colocación del RCC, se debe realizar la limpieza tanto de la fundación, como de los márgenes de la futura represa. Debe removerse todo tipo de materiales sueltos, restos de lechada, aceites, grasas y excesos de agua, que puedan afectar la adherencia de la mezcla. De igual forma una vez iniciada la colocación, mantenerse la limpieza en el sitio, para garantizar una adecuada unión entre capas.

- Elaboración de la mezcla de concreto

En la elaboración de la mezcla, se debe garantizar que la velocidad y capacidad de la planta de mezclado, exceda la capacidad de colocación, ya que esto afecta más la producción que los procesos de transporte, extensión y compactación del RCC.

El tiempo de mezclado y la tasa de producción, están determinados por el método de mezclado, pues éste debe generar una mezcla homogénea de los componentes.

- Transporte, colocación, extendido y compactación.

Para el transporte de la mezcla desde la planta al sitio de colocación, se pueden utilizar diversos medios como las vagonetas, bandas transportadoras, volquetes, cargadores o la combinación de varios de ellos. Pero independientemente del transporte, se debe evitar la segregación del concreto.

La colocación se realiza en forma de calles paralelas y en capas de un determinado espesor.

Ha de minimizarse la existencia de juntas frías y planos de discontinuidad de la estructura durante la colocación de las capas de RCC.

Una vez descargada la mezcla, se extiende mediante de tractores, motoniveladoras u otros equipos destinados para tal fin, tratando de crear capas uniformes con el espesor requerido de manera que se asegure la compactación.

Dada la diferencia del concreto convencional, el RCC se densifica con energía externa de compactación o apisonamiento, se utilizan los rodillos vibratorios para lograr una mejor densificación. El RCC se compacta en carriles y se debe dejar un espacio de 20 a 50cm sin compactar a cada lado de los bordes del carril, de manera que al colocar el carril adyacente, se compacten y se unan las juntas.

- Curado y limpieza

Las superficies de RCC compactadas deben mantenerse humedecidas ya sea con rociadores, o con el uso de mangueras. La última capa de RCC debe ser curada durante 14 días como mínimo.

Además mantenerse la limpieza entre capas para lograr una mejor adherencia.

- Control de temperatura

Los estudios térmicos para RCC son más exactos que para el concreto convencional y en muchos casos, la intensidad de la construcción aumenta dependiendo de las condiciones térmicas. Por lo tanto, se debe realizar un análisis térmico para determinar la distribución de la temperatura dentro de la sección de la represa durante la colocación del concreto para diferentes condiciones ambientales.

- Juntas de contracción

Lograr una buena unión en las interfaces es uno de los elementos constructivos más críticos en las represas de RCC. La fuerza cortante y la ausencia de filtraciones están altamente determinadas por la integridad de las juntas.

Instrumentación en represas de concreto

Importancia de la instrumentación de una represa

En el momento que se inicia el planeamiento de un proyecto de gran magnitud, como lo es la construcción de una represa, es importante incluir tanto en el diseño estructural como en el diseño geotécnico, la instrumentación adecuada, responsable de monitorear el comportamiento de la represa, en conjunto con el terreno sobre el que se construye.

La instrumentación permite detectar la existencia de fallas en la represa. Ante estas alertas indicadas por los instrumentos, los ingenieros deben tomar decisiones acerca de la construcción de la represa. De esta se forma se evita poner en riesgo la estabilidad y el comportamiento de ésta.

Con la instrumentación, no sólo se vela por la seguridad y estabilidad de la estructura, sino también por la seguridad de los trabajadores que laboran en ella, así como la de las personas que la frecuentan o la utilicen como vía de paso en un futuro.

La instrumentación juega un papel vital para poder construir represas seguras y con un funcionamiento óptimo.

Antes de iniciar con la construcción de una represa, es importante conocer cuál es la reacción o el comportamiento de ésta con el cimiento donde será fundada.

La instrumentación debe verse como un proceso continuo, donde es importante que el equipo de Auscultación de Obra entregue la información confiable para ser interpretada y con la cual se pueda concluir de manera eficiente.

Según algunos expertos, una buena auscultación debe tener cuatro fases, las cuales son diferentes entre sí, pero se encuentran muy relacionadas, éstas se mencionan a continuación:

- Definición de los puntos de control y las magnitudes, distribución de instrumentos y fijación de los rangos, precisión y sensibilidad.
- Selección de instrumentos y su correcta instalación.
- Recolección y procesamiento de la información, generada por los instrumentos, una vez instalados.
- Análisis e interpretación de los datos.

Es vital para lograr buenos resultados durante el proceso de auscultación, una adecuada comunicación de todo el equipo de trabajo (construcción, diseñadores, inspectores y demás involucrados) Asimismo es importante, previo a emitir un juicio, acerca del comportamiento de la represa, que los ingenieros a cargo del análisis y la interpretación de datos, realicen las inspecciones y comprobaciones necesarias de ella.

Es importante visualizar todas las etapas del proyecto como un solo conjunto, desde su planeamiento, construcción y puesta en servicio.

Teoría de la cuerda vibrante

Debido a que una gran mayoría de los instrumentos utilizados en el monitoreo de estructuras, funcionan según la teoría de la "cuerda vibrante", es importante mencionar en qué consiste dicha teoría.

La teoría se basa en el principio de la "resonancia". El sensor consta de una cuerda vibrante de acero, la cual se encuentra tensionada y unida en uno de sus extremos por una pared móvil, mientras que en el otro por un dispositivo que le permite contraerse o elongarse al ser sometido a una frecuencia vibratoria determinada. En el momento que la cuerda entre en resonancia, el sistema mandará la señal o la frecuencia. Una vez obtenida es procesada por medio de ecuaciones ya establecidas por el fabricante del aparato para obtener la medición para la cual fue construido.

La figura 19 muestra un ejemplo de cómo está formado un sensor de cuerda vibrante.

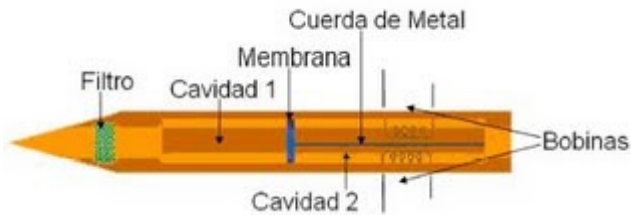


Figura 19. Partes internas de un sensor de cuerda vibrante.
Fuente Glenis Moreno, 2009.

Algunos tipos de instrumentos utilizados en represas de concreto

Piezómetros

Los piezómetros son instrumentos utilizados para medir presión de poros, la cual por lo general es inducida en el proceso de la construcción de la represa, así como también se utilizan para monitorear el nivel de la superficie freática, esto debido a infiltraciones del agua a través de la fundación. Las mediciones registradas pueden ser críticas, causadas por inestabilidad o infiltraciones inducidas, como por ejemplo grandes elevaciones de la presión hidrostática.



Figura 20. Piezómetros de cuerda vibrante. Fuente Slope Indicator, 2009.

Como ya se mencionó, los piezómetros se utilizan para medir la presión de poros y superficies de nivel freático. Dependen también del tipo de piezómetro que se utilice, pues para medir presión de poros se utilizan piezómetros eléctricos, mientras que para medir niveles freáticos, se emplean piezómetros abiertos o también llamados "tipo Casagrande".

Los piezómetros abiertos tienen la función de monitorear el nivel freático. Estos piezómetros constan de una perforación realizada en el macizo que se desea monitorear a una profundidad determinada. Las lecturas se realizan cada cierto tiempo previamente establecido y para ello se usa un indicador de nivel de agua como el mostrado en la figura 21. Éste posee un sensor unido a una cinta graduada y un cilindro con partes electrónicas. El sensor es introducido en la perforación y, al entrar en contacto con el agua el indicador, enciende una luz y se activa una alarma, lo cual indica que se debe realizar la lectura en la cinta graduada.



Figura 21. Indicador de nivel de agua. Fuente Slope, 2009.

Proceso de instalación

Los procesos de instalación pueden variar dependiendo de las condiciones del sitio donde se requiere el instrumento y de las mediciones que se desean obtener de éste, así como también del tipo que se va a usar. En la siguiente figura se muestra el procedimiento general que se recomienda seguir para instalar un piezómetro eléctrico en una fundación de una represa.

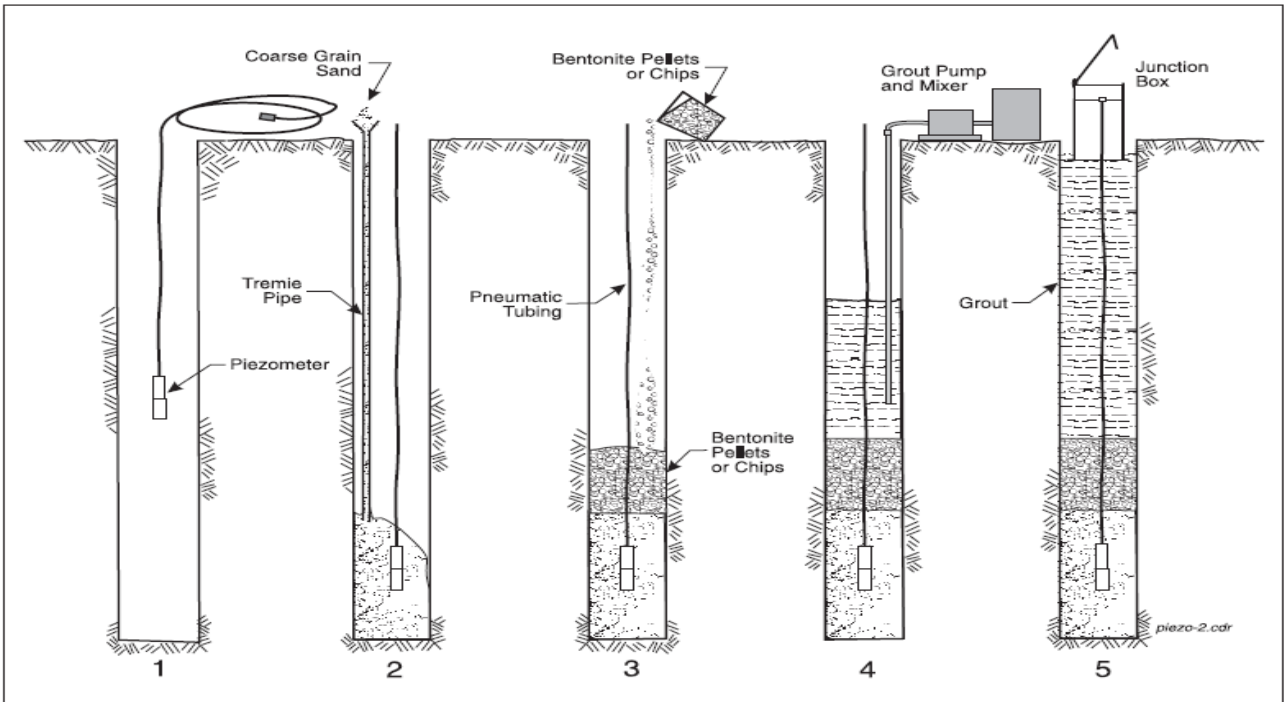


Figura 22. Detalle de la instalación de un piezómetro eléctrico. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

En el caso de que el piezómetro se instale dentro de la estructura o embebido en el concreto se sigue el procedimiento mostrado en la figura 23, donde se observa la posición correcta que debe tener el sensor dentro de la estructura.

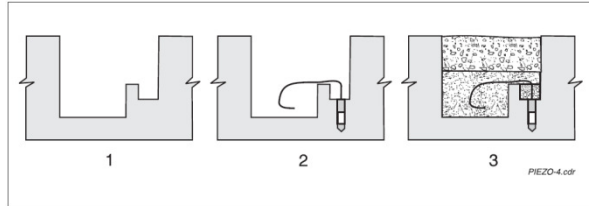


Figura 23. Detalle de la instalación de un piezómetro eléctrico. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

En el caso de los piezómetros abiertos o tipo Casagrande, se instalan como se observa en la figura 24. En realidad el procedimiento de instalación es muy similar al de un piezómetro eléctrico de fundación, con la salvedad de que éste requiere de una tubería en la cual es introducido el sensor o medidor de nivel, para obtener la posición del nivel freático en el terreno.

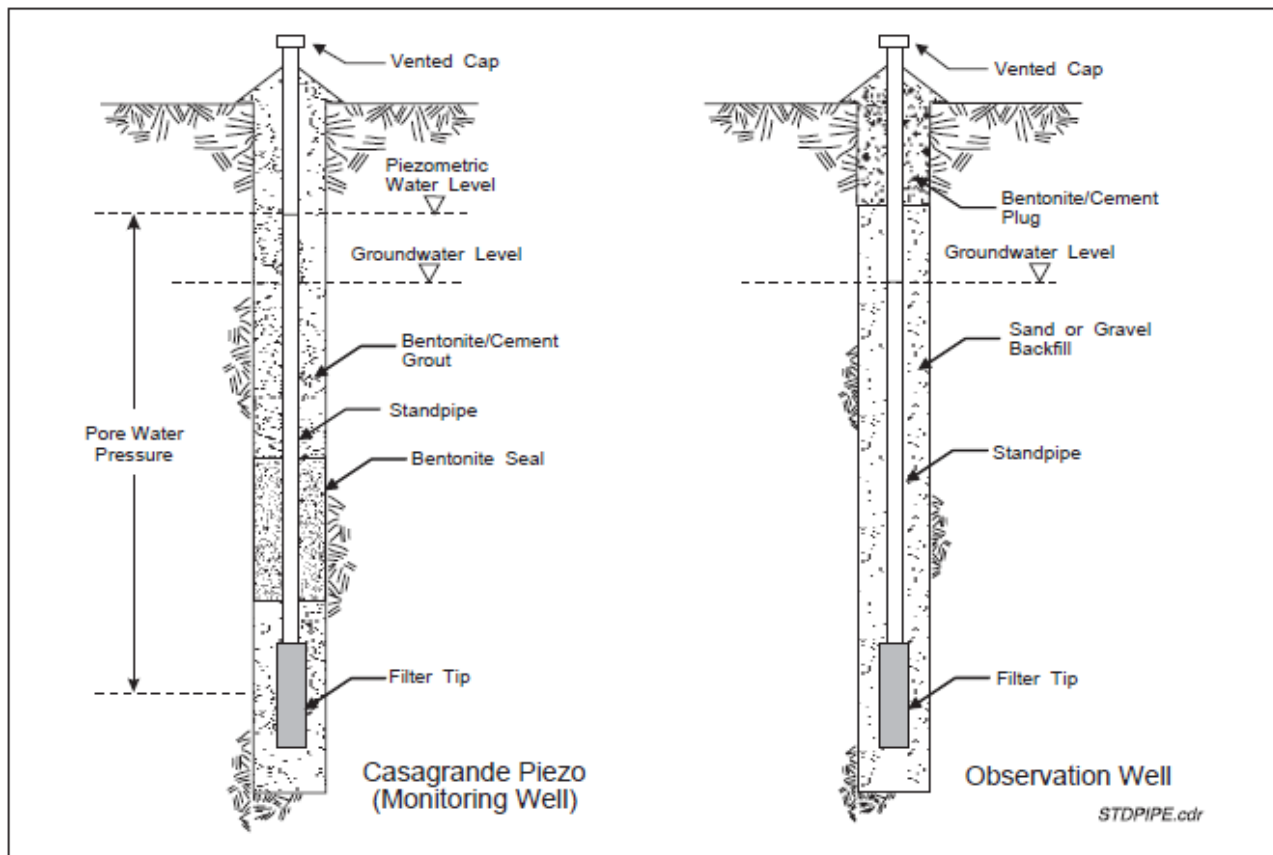


Figura 24. Instalación de un piezómetro abierto o tipo Casagrande. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

Termómetros

Para el caso de las represas de concreto, la función principal que realizan los termómetros es la de monitorear las elevaciones de temperatura

durante el curado de concreto, además del control durante la puesta en marcha de la estructura. Considerando que la combinación

agua-cemento genera un proceso exotérmico, conocido como calor de hidratación, que causa aumentos en la temperatura del concreto fresco, es necesario realizar un adecuado curado de éste y, a la vez, un monitoreo del comportamiento de la represa, con el fin de evitar un agrietamiento de origen térmico.

Debido a que durante el proceso de fraguado de la mezcla de concreto se genera calor (calor de hidratación), es necesario hacer un estudio de las temperaturas a las cuales se someterá la estructura, esto con el fin de evaluar el potencial de agrietamiento. Para ello, es necesario un análisis térmico de la represa, y así determinar la distribución de la temperatura en el cuerpo de ésta durante el proceso constructivo. Además en este estudio se deben considerar los factores ambientales y la velocidad de colocación del concreto.

Con el fin de verificar que la represa se comporta según el análisis térmico realizado, es imperativa la instalación de termómetros en diferentes puntos de control, para lograr monitorear la temperatura de esta.

Este control en sitio permite determinar si es necesario realizar juntas verticales a espaciamientos definidos, una vez terminada la construcción de la represa.

La siguiente figura muestra un sensor térmico.



Figura 25. Sensores para medir temperaturas. Fuente Slope Indicator, 2009.

Proceso de instalación

Para la instalación de estos instrumentos, se requiere realizar una trinchera por la cual se dirige el cable hasta los receptores de datos. En el lugar donde se instalará el instrumento, se realiza una pequeña perforación donde se coloca y se cubre con concreto. Además es importante mencionar que la vibración del concreto sobre el instrumento se recomienda realizarla de forma manual.

En la siguiente figura, se observa la instalación de un termómetro.



Figura 26. Instalación de un termómetro. Fuente Departamento de Auscultación de Obras de PH Pirris, ICE.

Inclinómetros

Los inclinómetros son instrumentos muy precisos que se utilizan para medir ángulos de deformación respecto de la vertical. Estas deformaciones se dan en el interior del terreno.

Esto suele ser una de las ventajas del uso de este tipo de instrumento, pues permite el monitoreo de lugares que no son accesibles para el ser humano. La desventaja que muestran, es un alto costo de instalación, por ello se establecen puntos estratégicos donde se requiere un control más detallado.

Para realizar el análisis, el equipo requerido está formado por un sensor o sonda inclinométrica, tuberías inclinométricas, cable eléctrico de control inclinométrico, unidad lectora o indicador digital portátil.

Descripción del equipo

- Tubos inclinométricos

Corresponden a tuberías ranuradas, las cuales controlan la dirección del sensor y proporcionan una superficie que permite en un futuro obtener otras mediciones de desplazamiento del terreno. A través de las tuberías se introduce el sensor inclinométrico, para tomar lecturas del desplazamiento del suelo.

La tubería está diseñada de tal manera que se deforma con el movimiento del suelo y su vida útil concluye en el momento que el movimiento del terreno lo corta, impidiendo el paso al sensor.

- Sensor inclinométrico

Éste dispositivo permite medir las variaciones de la inclinación de la tubería. El movimiento del sensor es indicado a través de una señal eléctrica la cual es proporcional al seno del ángulo de la inclinación de la tubería, referido a un eje vertical central.

- Indicador digital

Este es un instrumento portátil, el cual está conformado por una batería recargable de seis voltios de suministro de energía, controles eléctricos y una pantalla donde se muestran las lecturas en forma digital. Las lecturas que se almacenan en el instrumento, son transferidas a una computadora y, a través de un programa se traslada la información, permitiendo la creación de gráficos e informes.



Figura 27. Equipo de utilizado para mediciones de inclinométrica. Fuente Slope Indicator, 2009.

Función de los inclinómetros

A través de la perforación se introduce el sensor, éste se desplaza siguiendo las guías (ranuras). El sensor se encarga de medir su desviación con respecto a la vertical.

Dicho sensor se introduce hasta el fondo y conforme va subiendo, se registran las lecturas a diferentes profundidades, ya establecidas, por ello se logra obtener la deformación horizontal del terreno con respecto de la profundidad.

En la siguiente figura se observa un detalle sobre las mediciones que realiza el sensor una vez introducido en la perforación.

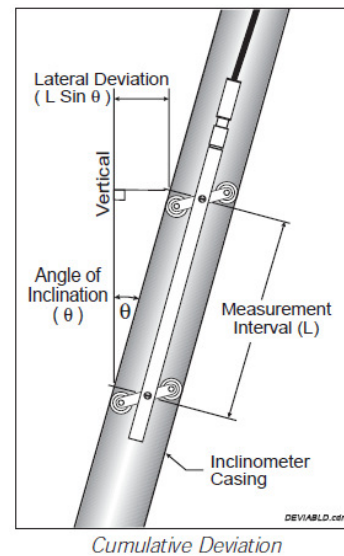


Figura 28. Detalle de funcionamiento del sensor dentro del inclinómetro. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

En la figura 29 se observa el funcionamiento del inclinómetro, a lo largo de la perforación. Además se ve secuencialmente como desciende el sensor a través de la tubería mientras registra la desviación o inclinación del macizo, con respecto de la profundidad.

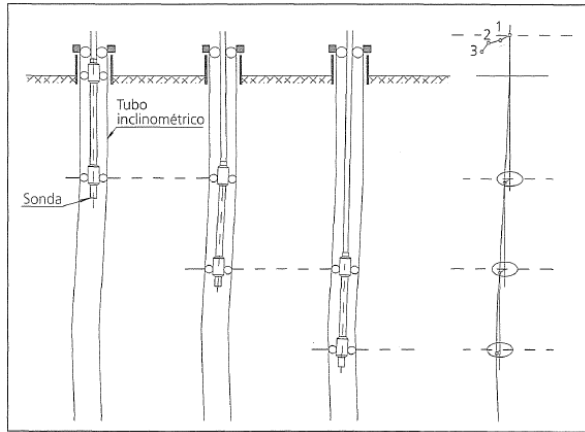


Figura 29. Funcionamiento del inclinómetro a lo largo de la perforación. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

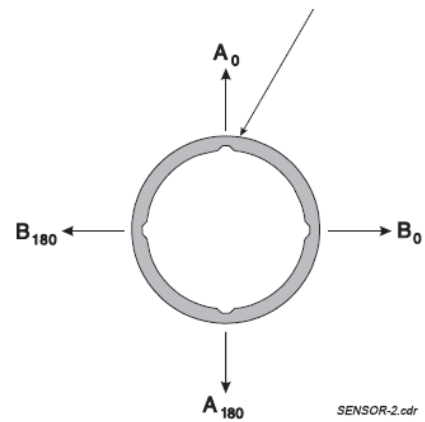


Figura 30. Tubería en posición transversal. Fuente Slope Indicator Company, 2009.

Proceso de instalación

Para instalar un inclinómetro, se requiere realizar una perforación, cuya profundidad depende de la información que se desea obtener para ser analizada. Luego se coloca una tubería PVC, especial, la cual tiene unas ranuras a lo largo por la cual se introduce la sonda que realiza las mediciones. En la figura 30, se observa la forma transversal de la tubería y la convención de signos del movimiento.

Una vez instalada, se coloca una lechada de concreto con bentonita en el espacio entre la tubería y el terreno. Por último, se construye una protección para la entrada del inclinómetro.

En la figura 31 se observa en detalle la instalación de un inclinómetro.

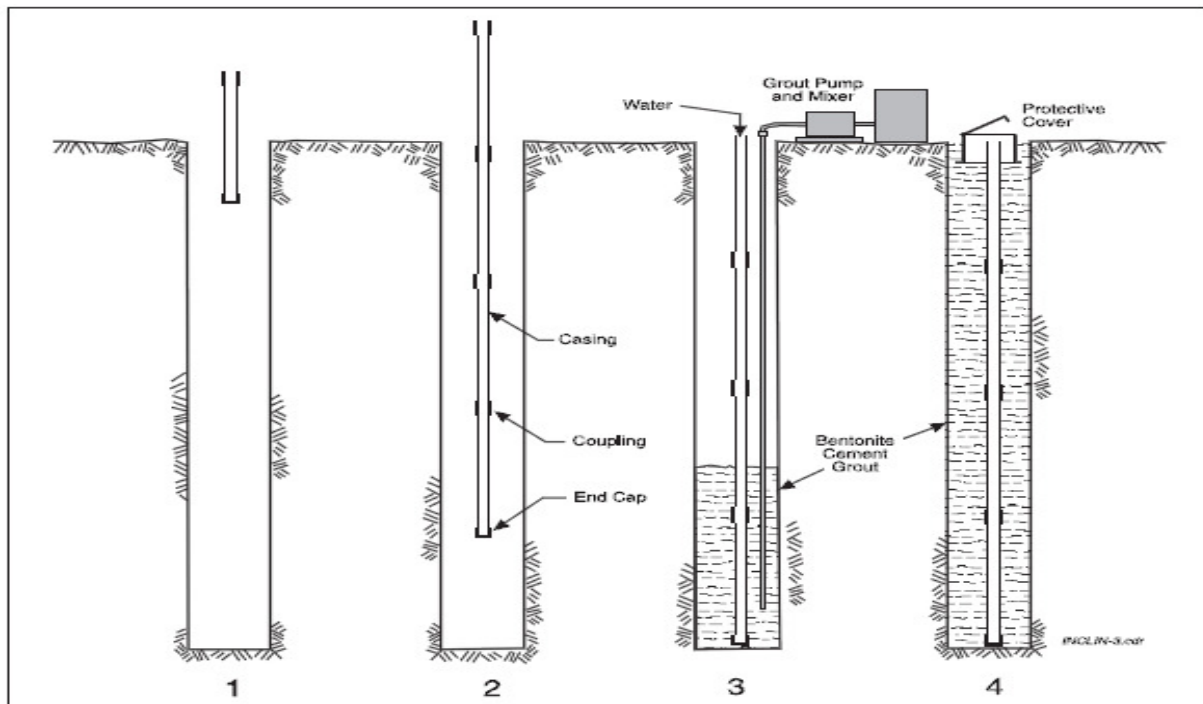


Figura 31. Detalle de la instalación de un inclinómetro. Fuente Us Army Corps of Engineers USACE, 2009.

Deformímetros

Para medir las deformaciones en el interior del cuerpo de la represa, se instalan deformímetros, los cuales se ubican en tres direcciones distintas, con el fin de lograr una mayor información de los diferentes puntos de control; pero igualmente pueden funcionar en una o dos direcciones.

Al cargar la estructura, ésta tiende a sufrir cambios en su dimensionamiento. Además, debido a que el concreto en su proceso de fraguado tiende a expandirse y posteriormente a contraerse, es importante el monitoreo de la deformación de la estructura en esta etapa.

En la figura 32, se observa un tipo de deformímetro utilizado en represas de concreto.



Figura 32. Deformímetro de cuerda vibrante. Fuente Slope Indicator, 2009.

Medidores de juntas

Los medidores de juntas son instrumentos utilizados para evaluar el desplazamiento entre dos bloques o monolitos, los cuales se encuentran separados por una junta o grieta.

Estos instrumentos permiten el monitoreo entre las uniones de las estructuras de concreto o roca, por ello proporcionan una advertencia temprana sobre los problemas ocasionados por movimientos repentinos dado el desarrollo de diversas actividades, tanto humanas como naturales. Utilizados también para medir grietas ocasionadas por la actividad sísmica.

Entre una de las ventajas con las que cuentan estos aparatos, es que poseen una alta exactitud. Además tienen un cable para medir la temperatura del ambiente y se encuentran de diferentes tipos, diseñados para cada necesidad.

Función de los medidores de juntas

La principal función de los medidores de juntas, es la de valorar los desplazamientos, aperturas o contracciones entre las juntas de unión de los monolitos. Estos desplazamientos pueden ser en diferentes direcciones, tal y como se aprecia en la figura 33.

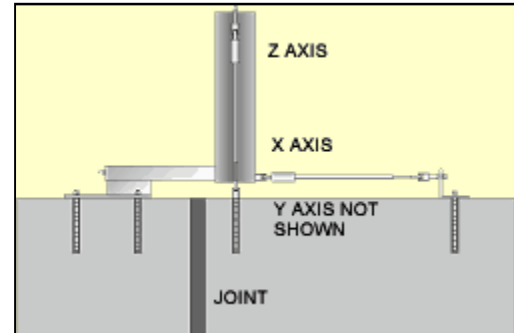


Figura 33. Direcciones del movimiento. Fuente Slope Indicator, 2009.

El instrumento es instalado en el lugar que se desea realizar el monitoreo y, dependiendo del tipo de instrumento, mide los desplazamientos en las direcciones establecidas, en unidades de milímetros.

Los sensores de estos instrumentos son de cuerda vibrante, por ello su funcionamiento se basa en un tensionado de acero, el cual transmite una vibración a una determinada frecuencia. Al recibir impulsos ocasionados por el desplazamiento de los monolitos, esta frecuencia es convertida a la medida de desplazamiento, a partir de las constantes de calibración, suministradas por el fabricante.

Al instalarlo se realiza una lectura inicial, la cual se utiliza como referencia, para ser comparada con las lecturas subsiguientes.

Extensómetros

Estos instrumentos miden el asentamiento, contracción o movimientos de tierra o rocas, a lo largo de un eje. Los sensores se ubican en la misma perforación, pero a diferentes elevaciones. También se utilizan para monitorear desplazamientos en laderas, excavaciones,

fundaciones y en monitoreo en la convergencia de las paredes de túneles.

Función de los extensómetros

Los extensómetros están formados por un taladro, el cual contiene una o varias varillas de acero inoxidable. Estas varillas se encuentran protegidas por tubería de PVC, excepto en la parte final. Cada una es anclada a profundidades distintas. En la cabeza del extensómetro se coloca una pieza especial, la cual permite leer la posición de cada varilla mediante un micrómetro de profundidad o en el mejor de los casos mediante un sensor. El extensómetro registra la variación de la distancia relativa entre la superficie y cada punto de anclaje. Los datos de desplazamiento resultante se pueden utilizar para determinar la zona, velocidad y la aceleración de los movimientos.



Figura 34. Tipos de extensómetros. Fuente Slope Indicator, 2009.

Clinómetros

Los clinómetros son instrumentos utilizados para monitorear los cambios en la inclinación de las estructuras. Muchas veces éstas se deben a procesos constructivos, como por ejemplo excavaciones, la falta de control en la estabilidad del terreno que soporta la estructura, entre otras circunstancias. Además cumplen un papel muy importante en el monitoreo de la represa después

de la construcción, pues la estructura tenderá a inclinarse una vez que se inicie el llenado del embalse.

Función de los clinómetros

Los clinómetros miden la inclinación de la estructura, originada por diversas condiciones.

El equipo consta de un sensor de inclinación electrolítico, el cual se encuentra alojado en una carcasa compacta y resistente a la intemperie.

Al realizar la lectura en forma manual, para obtener la inclinación se hace una comparación de la lectura actual versus la inicial.



Figura 35. Diferentes tipos de clinómetros. Fuente Slope Indicator, 2009.

Debido a que todos estos instrumentos generan gran cantidad de información, se vuelve necesaria la creación de una base de datos. Ésta debe cumplir con diversos objetivos, tales como: almacenar de forma estructurada y ordenada la información registrada por cada uno de los tipos de instrumentos, permitir las consultas para verificar el comportamiento de la represa. Además es importante que la base de datos permita crear conexiones con otros programas, con el fin de generar diferentes herramientas para facilitar la interpretación de la información.

En el siguiente capítulo, se detallan los procedimientos de diseño para la creación de una base de datos.

Creación de una base de datos

Las bases de datos

Una base de datos corresponde a un conjunto de información que se encuentra almacenada de forma lógica y ordenada, con el fin de obtener información específica para un posterior uso.

Constituye una herramienta para la recopilación y ordenamiento de la información.

Las bases de datos son aplicables para resolver cualquier problema cotidiano, por ello su uso es común en diversos campos.

Es importante mencionar que la información contenida en la base de datos, se encuentra relacionada entre sí. Estas relaciones fueron creadas según la necesidad de organizar la información.

Diseño de una base de datos

Para un buen diseño de una base de datos, es necesario seguir una serie de pasos previamente establecidos:

1. Determinar la finalidad que tendrá la base de datos.

En este punto es necesario estudiar el uso que se le dará, quiénes serán los usuarios y qué información se desea organizar.

2. Realizar una búsqueda y organización de la información que se requiere almacenar.

Se debe hacer un estudio sobre qué tipo de información será la almacenada, definir los informes que se desean obtener y al mismo tiempo clasificar la información que se almacenará.

3. Clasificar la información en tablas.

En este paso es necesario realizar una lista de la información por organizar y determinar la importancia de los temas, pues éstos se convertirán en tablas.

4. Convertir los elementos de información en columnas

Se establece en este punto los elementos que conformarán la tabla creada anteriormente.

5. Se definen claves principales

En este punto se deben establecer las claves principales de la tabla o el identificador, esto se realiza con el fin de que las consultas se planteen en forma clara y ordenada, evitando errores a la hora de llamar un dato determinado.

6. Establecer las relaciones entre las tablas

Se debe definir de qué manera se relacionan la información de una tabla con la de otra. En este paso muchas veces es necesaria la creación de campos o columnas en una tabla o hasta la creación de una nueva, según sea la necesidad presentada.

7. Realizar el ajuste del diseño

Se debe ejecutar un análisis del diseño, realizando pruebas de la base de datos, con el fin de detectar errores en las tablas o en el tipo de relación entre ellas. De igual forma en este paso muchas veces es necesario realizar modificaciones en el diseño de la base de datos.

8. Designar las reglas de normalización

Se ha de hacer la normalización de los datos para comprobar la adecuada estructuración de las tablas.

Partes que componen una base de datos

Las bases de datos se componen de distintos elementos que unidos entre sí logran un almacenamiento adecuado de la información.

Componentes de una base de datos creada en Microsoft Access®:

- **Tablas:** las tablas están formadas por campos o columnas y los registros o filas, es similar a una hoja de Excel. Éstas permiten la organización adecuada de la información.

- **Formularios:** Son interfaces que se utilizan para la entrada de datos al igual que para visualizar la información de manera clasificada. También permiten controlar la forma como los usuarios interactúan con la información almacenada.
- **Informes:** Permiten mostrar la información resumida, contenida en las tablas.
- **Consultas:** La función principal de las consultas es la de recuperar información específica de las tablas.
- **Macros:** Se consideran como un lenguaje de programación simplificado, el cual se utiliza para aumentar la funcionalidad de la base de datos.
- **Módulos:** Su función es similar a las macros. Los módulos contienen declaraciones, instrucciones y procedimientos, los cuales se almacenan en conjunto como una unidad.

Aspectos importantes sobre el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís

Descripción general del Proyecto

Antecedentes

Al inicio de los años setentas, se inició los estudios hidrológicos y geotécnicos, en la zona donde se desarrollaría el P.H. Pirrís. Ya para la década de los ochentas se realiza un Plan Maestro de Explotación de la Cuenca del río Parrita. Además en 1988 se inició el estudio de factibilidad del proyecto, seguido de la investigación geológica y el diseño preliminar de éste. Para finales de los años noventa se hizo el Estudio de Impacto Ambiental para dar inicio a las obras en 1999.

Ubicación geográfica

El área de influencia del proyecto comprende los cantones de Dota, Tarrazú, León Cortés, Aserrí y Parrita.

La presa estará ubicada específicamente en la cuenca del río Pirrís, cerca del poblado de Llano Bonito, el cual pertenece al cantón de León Cortés, aproximadamente 70 km al sur de la ciudad de San José.



Figura 36. Ubicación del PH Pirrís. Fuente La Nación.

Descripción

El Proyecto Hidroeléctrico Pirrís se basa en la construcción de una represa de gravedad, utilizando la tecnología del concreto compactado con rodillo (RCC). La represa tendrá 113 m de altura, la cual alcanzará los 1.208 m.s.n.m., y contará con un volumen de aproximadamente 750.000.00 m³ de RCC. La longitud de cresta será de 270 m con un ancho de 9 m.

El embalse de regulación mensual que se formará, tendrá una capacidad útil de 30 Hm³, con un área inundable de 1,14 km² y una oscilación de 45 m.

El vertedor contará con tres compuertas, y será del tipo radial. Tendrá una altura de 10,5 m

con un ancho de 42,1 m y una longitud de 102,7 m y su capacidad será 2.350 m³/s.

La descarga de fondo tiene sección rectangular, cuyas dimensiones son 5,8 m de alto, por 5,7 m de ancho. Su longitud es de 86,3 m de largo y tendrá una capacidad de 80 m³/s.

La toma de agua, estará adosada al talud aguas arriba de la represa, de forma cuadrada cuyas dimensiones serán 3,25 m por 3,25 m. La elevación superior de la toma de agua es 1.153 m.s.n.m., y el caudal de diseño es de 18 m³/s.

El túnel de conducción tiene una longitud de 10.874.00 m, con diámetros por tramos de 3,9 m, 3,7 m, 3 m y 2,3 m, una vez revestido el túnel. La cantidad de concreto para el revestido es de 81.255.00 m³, mientras que para el relleno de blindaje es de 24.258.00 m³ con 3.455 toneladas de acero.

La tubería a presión tendrá una longitud de 748 m, con diámetros 2,2 m y de 2 m, dependiendo del tramo.

La Casa de Máquinas será semienterrada. Abarcará un área de 17 m de ancho por 43 m de largo. El pozo tiene 29 m de diámetro y 29 m de profundidad. La potencia máxima instalada es de 132 MW. El túnel de restitución tiene 245 m de longitud. El factor de potencia es de 0,9. La caída bruta es de 875 m, obteniendo una caída neta 830 m.

La figura 37 muestra una vista de la represa desde uno de los cerros cercanos.



Figura 37. Sitio de Represa, PH Pirris. Fuente Ing. Carlos Alvarado.

Características geológicas-geotécnicas del sitio de presa

Con respecto de las características geológicas del sitio de represa, se cuenta con un macizo rocoso, formado por rocas sedimentarias de origen marino, las cuales se encuentran correlacionadas con la Formación Térraba, de edad Oligoceno-Mioceno (37-5 millones de años). Se presenta una secuencia de lutitas y areniscas estratificadas, con intercalación de areniscas brechosas, de color gris claro a gris oscuro, con un aporte importante de origen volcánico y cemento carbonatado.

La secuencia antes mencionada crea una estructura del tipo homoclinal con buzamiento al noroeste, mostrando continuidad de una margen a otra. La fundación se encuentra afectada por dos tipos de fallas principales y por cuatro familias de fracturas. Las discontinuidades de diaclasas y fallas muestran una inclinación hacia el norte-sur.

Una vez realizado el estudio de suelos, se hizo una excavación hasta la roca sedimentaria (lutitas y areniscas), en la cual se encuentra ubicada la fundación de la represa.

Considerando las condiciones del suelo y una posible deformación de la roca, se realizó la selección de diversos tipos de instrumentación geotécnica, los cuales realizaron el monitoreo de la fundación de la represa. En la fundación fueron instalados 16 piezómetros, los cuales se utilizaron para medir la presión de poros ocasionada tanto por el agua de infiltración, como por el peso propio de ésta. Posteriormente se instalarán 5 extensómetros de barras, para medir la deformación de la roca, tanto en la fundación, como en la margen izquierda.

Debido a que la represa del PH Pirris es de RCC (Concreto Compactado con Rodillo), la instrumentación seleccionada debe ser la adecuada. Además debe tomarse en cuenta que la represa se construye con mezcla de alta pasta, es decir, con alto contenido de cemento. Esto dado que los contenidos de material cementante superan los 150 kg/m³ de concreto. En la Represa del PH Pirris se utilizan dos tipos de mezcla. La mezcla tipo B, contiene 160 kg/m³ de concreto, en material cementante, mientras que la del tipo A, aproximadamente 215 kg/m³ de

concreto. Esta última es la que constituye la cara aguas arriba de represa.

Al utilizar este tipo de material en la construcción, se generan altas temperaturas debido al calor de hidratación liberado en el proceso de fraguado, por ello es importante el control térmico de la represa durante el proceso de colocado. Esto con el fin de evitar la formación

de grietas que puedan afectar el funcionamiento de ésta.

Para el control térmico de la represa, se instalaron en el cuerpo de la misma, sensores térmicos, los cuales reportan la variación de la temperatura en el tiempo. Posteriormente se ampliará el tema de las represas de RCC.

Proceso de instrumentación de la represa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís

Instrumentos instalados en la represa del PH Pirrís

En el siguiente cuadro resumen se observan en su totalidad los instrumentos que se han instalado, tanto en las márgenes como en el cuerpo de represa. En el anexo 1 se ofrece una tabla donde se detalla cada uno de los instrumentos, su ubicación y la fecha y hora de instalación, igualmente en el anexo 2 se encuentra la ubicación de estos en planta por elevación.

CUADRO 1. Instrumentos instalados en la represa del PH Pirrís	
Tipo de instrumento	Cantidad
Inclinómetro	7
Piezómetro abierto	6
Piezómetro eléctrico	30
Deformímetro	26 (con 3, 2 ó 1 sensor)
Termómetro	94

Tipos de piezómetros instalados en la Represa del PH Pirrís

Piezómetros

Los piezómetros son instrumentos que debido a su diseño, se pueden utilizar para trabajar como sistemas abiertos o cerrados.

En la construcción de la Represa del PH Pirrís, se utilizan ambos sistemas; los *piezómetros abiertos*, los cuales se encuentran en las márgenes y los *piezómetros eléctricos de cuerda vibrante (VW)*. Estos trabajan como un sistema cerrado. Y fueron ubicados en la fundación y cuerpo de la represa.

En el caso de los piezómetros eléctricos, se instalaron en la fundación y cuerpo de represa, su funcionamiento se basa en la teoría de la cuerda vibrante. Es importante mencionar que éstos reportan lecturas de presión y temperatura. Estos parámetros son almacenados en la BDIP. La principal aplicación de éstos, y para la cual fueron instalados en la represa de PH Pirrís, es la de medir la presión de poros en la fundación y cuerpo de ésta.

La figura 20 muestra el tipo de piezómetro eléctrico utilizado en ella.



Figura 38. Piezómetro eléctrico de cuerda vibrante. Fuente Slope Indicator, 2009.

Proceso de instalación

Para los piezómetros que operan en los márgenes de la represa, piezómetros abiertos o de tipo Casagrande, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se perforó hasta la profundidad donde se deseaba obtener registros de nivel freático.
2. Se introdujo arena hasta aproximadamente 1 m, medido desde la profundidad.
3. En la perforación se colocó un tubo de PVC o de metal, de tal forma que quede centrado en la perforación. En la parte inferior del tubo se colocó una rejilla o filtro, ésta debe quedar enterrada en la arena.
4. Se realizó un sello de bentonita de aproximadamente 50 cm.
5. En el espacio que quedó entre el tubo y las paredes de la perforación después del sello, se rellenó con lechada (bentonita y cemento), lo cual asegura la tubería introducida en la perforación.
6. Por último, se protegió la entrada de la perforación con un tapón, para evitar el paso de materiales, que puedan afectar el funcionamiento del instrumento.

En el caso de los piezómetros instalados en la fundación de la represa, se siguió el siguiente proceso:

1. Se realizó una perforación de aproximadamente 32 m de profundidad, con 8 cm de diámetro. Ésta se inicia en la elevación 1,096.5 m.s.n.m, hasta llegar a

la 1065m.s.n.m, lugar donde se desea colocar el sensor.

2. Se introdujo en la perforación, arena limpia saturada hasta una altura entre 50 a 60cm, lo cual funciona de filtro para la entrada de agua al sensor.
3. El sensor es introducido en una bolsita de tela llena de arena, esto se realizó para protección del sensor. Luego se introduce en la perforación.
4. En la perforación se colocó arena limpia saturada hasta completar un metro, junto con la colocada anteriormente.
5. Seguidamente se puso un sello de bentonita de 50 cm de espesor.
6. Por último, se cubrió la perforación con lechada (concreto pobre), a la elevación de 1091,5m.s.n.m, aproximadamente. En esta elevación y en la misma cavidad, se ubicó otro sensor, el cual se instaló siguiendo el mismo procedimiento antes mencionado.

En la figura 39, se puede observar un piezómetro del tipo Casagrande instalado en las márgenes de la represa.

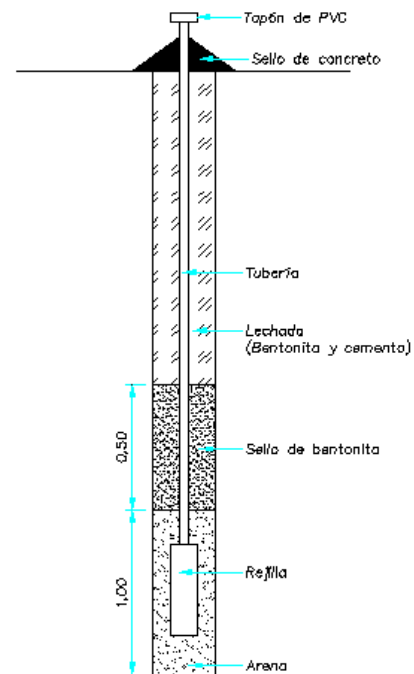


Figura 39. Piezómetro tipo Casagrande. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

En la figura 40, se muestra como queda instalado un piezómetro eléctrico en una perforación.

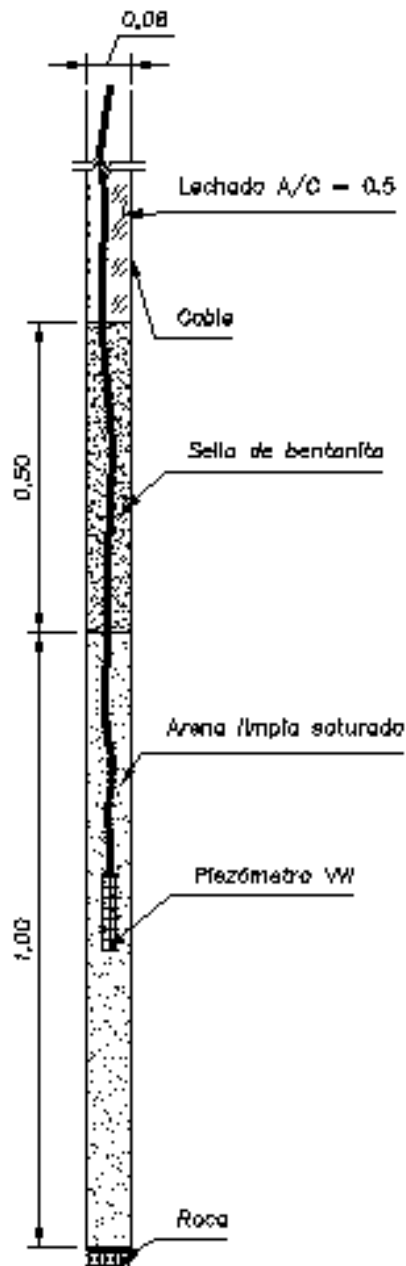


Figura 40. Piezómetro eléctrico de cuerda vibrante. Fuente Emilia Ramírez ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

En el caso de los piezómetros que se instalaron en el cuerpo de la represa, se ubicaron entre las capas de RCC se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se construyó una trinchera en la elevación donde se iba a ubicar el piezómetro. Las dimensiones de ésta serán de 30 cm de ancho por 30 cm de profundidad aproximadamente, el largo varía dependiendo de la ubicación del piezómetro. Esta trinchera permitió guiar los cables hacia el ducto del ascensor.
2. Dentro de la trinchera y en el lugar donde se ubicó el piezómetro, se hizo un orificio donde se coloca el instrumento en forma vertical.
3. Se puso arena limpia saturada en el hueco hasta rellenarlo.
4. Se sacaron los cables por la trinchera.
5. Se continuó con la colocación del RCC, realizando la compactación de éste con un vibrador manual, hasta tres capas arriba del punto donde se ubicó el sensor.

En la figura 41, se muestra un piezómetro eléctrico instalado en el cuerpo de la represa.

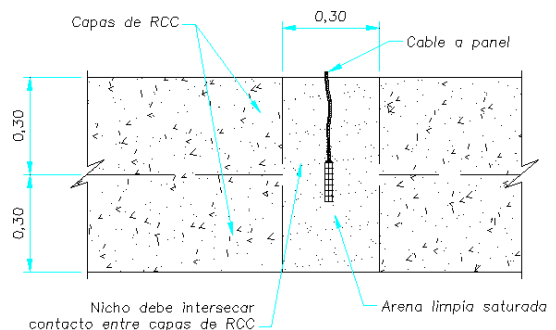


Figura 41. Detalle de la instalación de un piezómetro en el cuerpo de represa. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

Termómetros

Los termómetros ubicados en el cuerpo de Represa del PH Pirrís fueron colocados con el fin de realizar el monitoreo térmico de ésta. Las temperaturas determinan las dosificaciones de mezcla, la velocidad y temperatura de colocado, entre otras actividades.

El análisis térmico, establece la posibilidad de formación de grietas, las cuales provocan infiltraciones de agua a través de ellas; por ello deben tratarse para evitar poner en riesgo la estabilidad de la represa.

Tipo de termómetro instalado en la Represa del PH Pirrís

En ella, se instalaron termómetros que funcionan según la teoría de la cuerda vibrante. Estos pertenecen a la fábrica SLOPE INDICATOR. En la figura 42 se muestra un sensor térmico de este tipo.



Figura 42. Termómetro de cuerda vibrante. Fuente Slope Indicator, 2009.

Proceso de instalación

Para la instalación de los termómetros en el cuerpo de represa se realizó el siguiente procedimiento:

1. Se excavó una trinchera de 30 cm de profundidad por 30 cm de ancho aproximadamente. El largo de la trinchera fue variable, pues dependió de la ubicación del termómetro.

2. Antes de ser colocado en el concreto, el termómetro fue introducido en un tubo de PVC, posteriormente recubierto con un cilindro de hule. (este paso se siguió a partir de los termómetros instalados en la elevación 1129 m.s.n.m., según recomendaciones del fabricante).
3. Se colocó el termómetro en el lugar predeterminado.
4. Se continuó con la colocación del RCC, realizando la compactación del mismo con un vibrador manual, por lo menos tres capas arriba del punto donde se ubicó el sensor.



Figura 43. Instalación de un termómetro sin protección. Fuente Departamento de Auscultación de Obras, ICE, 2009.

En la siguiente fotografía se muestra la protección realizada a los termómetros, tal como se mencionó en el punto 4 del procedimiento de la instalación.



Figura 44. Instalación de un termómetro con protección. Fuente Departamento de Auscultación de Obras, ICE, 2009.

Inclinómetros

Los inclinómetros están instalados en los márgenes de la represa, con el fin de medir los movimientos laterales del macizo.

Tipo de inclinómetro instalado en la Represa del PH Pirrís

En la Represa del PH Pirrís, los inclinómetros instalados son de la fábrica Geokon, modelo 6000. Este equipo se muestra en la siguiente figura.



Figura 45. Inclinómetro, modelo 6000. Fuente Geokon, 2009.

Proceso de instalación

Para realizar las mediciones inclinométricas, se debe seguir el siguiente proceso de instalación del equipo:

1. Se realiza una perforación en el terreno, donde se desea obtener información. La profundidad puede ser variable de un inclinómetro a otro.
2. Se coloca un tapón antes de colocar la tubería.
3. Se instala la tubería PVC de 8,5 cm de diámetro con ranuras en la perforación. Se ajustan adecuadamente las uniones de la tubería. La ubicación de las ranuras debe coincidir con la dirección que se espera, se dará la inclinación del macizo.

4. Se bombea una lechada con bentonita, entre la tubería y el terreno.
5. Se construye la protección a la entrada de la perforación.

Deformímetros

Con el fin de medir las deformaciones generadas en la estructura de la represa, se realiza la instalación de deformímetros en tres direcciones diferentes.

Tipo de deformímetro instalado en la Represa del PH Pirrís

En el caso del tipo de deformímetro utilizado en la represa del PH Pirrís, se trata de un deformímetro de cuerda vibrante llamado "VW Embedment Strain Gauge", de la fábrica SLOPE INDICATION. Estos instrumentos operan bajo el principio de la teoría de la cuerda vibrante.

Los deformímetros reportan las lecturas de fuerza en Hertz. Para convertirla a unidades de microdeformaciones (microstrain), se requiere el uso de la siguiente ecuación:

$$\mu\epsilon = F^2 * GaugeFactor * BatchFactor$$

Donde:

$\mu\epsilon$ = microdeformación

F = la fuerza en Hz

Gauge Factor = $3,304 \times 10^{-3}$ (del fabricante)

Batch Factor = 0,96 (del fabricante)

Una vez obtenida la microdeformación, se requiere calcular el cambio en la deformación, aplicando la siguiente ecuación:

$$\Delta\mu\epsilon = \mu\epsilon_f - \mu\epsilon_i$$

Donde:

$\mu\epsilon_i$ = Primera lectura que se le realiza al instrumento una vez instalado (Parámetro).

$\mu\epsilon_f$ = Lecturas registradas por el instrumento.

Cuando el resultado del cambio en la deformación es positivo, se dice que el esfuerzo fue en tensión, mientras que si el cambio en la deformación es negativo, se indica que el esfuerzo fue en compresión.

El deformímetro instalado en la represa del PH Pirrís, está conformado ya sea por 1, 2 ó 3

sensores orientados según la deformación que se quiere medir. En la figura 47 se muestra la convención de dicha orientación.

Proceso de instalación

El siguiente proceso de instalación se realiza con el fin de obtener una mayor información sobre el comportamiento de la represa ante los cambios a la cual se encuentra sometida. Se han de seguir los siguientes pasos:

1. Se excava una trinchera de 30cm de profundidad por 30cm de ancho aproximadamente. El largo de la trinchera es variable, pues depende de la ubicación del deformímetro.
2. Un deformímetro puede estar formado por tres, dos o un sensor, dependiendo de las direcciones donde se desea medir la deformación; estos sensores se unen en una base especial como la mostrada en la figura 28. Además se han de armar antes de colocarlos en el concreto.

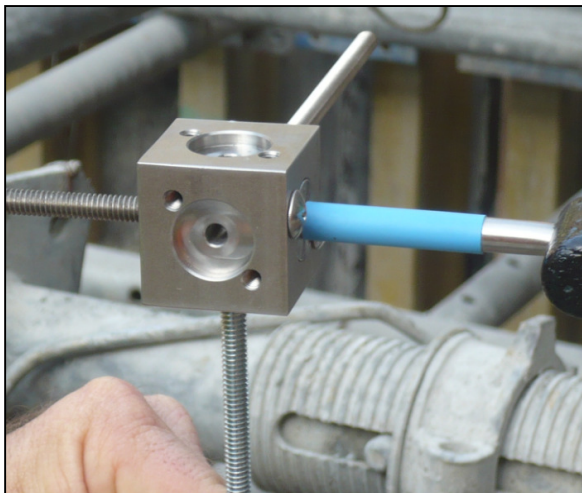


Figura 46. Base para ubicar sensores del deformímetro. Fuente Departamento de Auscultación de Obras, ICE, 2009.

3. Se arma el deformímetro con los sensores ubicados en la dirección correspondiente. La normativa de la dirección de los sensores es como se muestra en la figura 29, la cual

corresponde a la deformación en A, B o C.

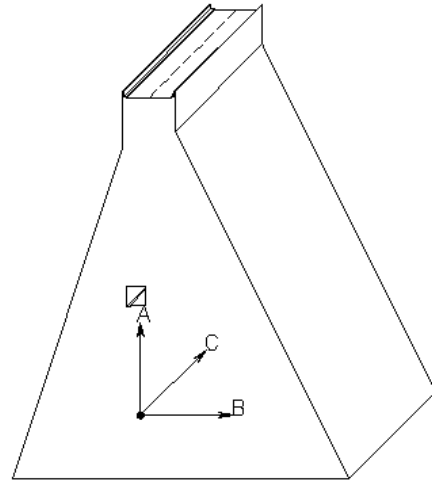


Figura 47. Dirección de los deformímetros. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

4. Se coloca el deformímetro armado en el concreto, en el lugar establecido, el cual ya fue previamente marcado por el equipo de topografía.



Figura 48. Colocación del deformímetro. Fuente Departamento de Auscultación de Obras, ICE, 2009.

5. Se coloca Concreto Compactado con Rodillo (RCC), sobre el instrumento, realizando la compactación de éste con un vibrador manual, por lo menos tres capas arriba del punto donde se ubica el sensor.

Medidores de juntas

Los medidores de juntas se instalan con el fin de monitorear el movimiento o desplazamiento de las articulaciones o grietas.

Tipos de medidores de juntas instalados en la Represa del PH Pirrís

Para medir los desplazamientos entre los monolitos que componen la Represa del PH Pirrís, se utilizarán tres tipos de medidores de juntas, cuyas diferencias entre ellos son las formas de recolectar la información y el tipo de dirección que miden. Estos medidores son de la marca SLOPE INDICATOR:

- Medidor de juntas eléctrico 3D: Éste mide los desplazamientos en tres direcciones, y la información se transmite a través de un cable eléctrico hasta una unidad lectora.

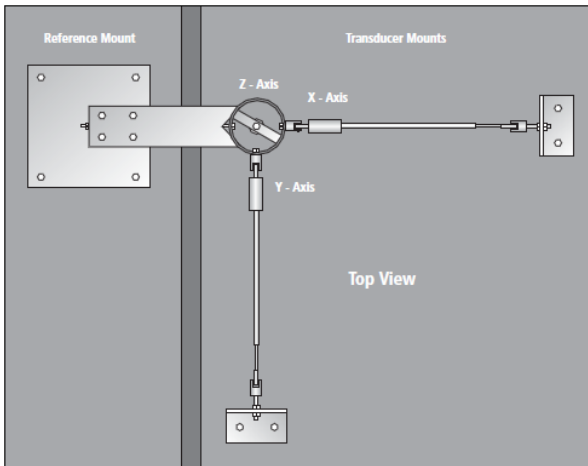


Figura 49. Medidor de juntas eléctrico 3D. Fuente Slope Indicator, 2009.

- Medidor de juntas manual 3D: Éste al igual que el primero realiza mediciones e tres direcciones distintas. La diferencia es que emplea un micrómetro para hacer la lectura en forma manual. Éste se introduce por los agujeros destinados para realizar las lecturas.

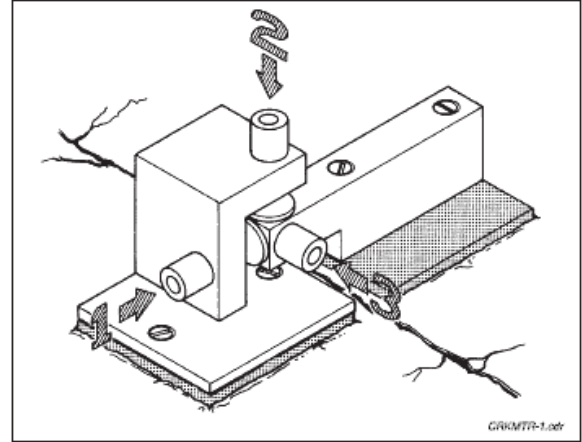


Figura 50. Medidor de juntas manual 3D. Fuente Slope Indicator Company

- Medidor de juntas eléctrico 1D: Este mide los desplazamientos en una única dirección y, la información se transmite a través de un cable eléctrico hasta una unidad lectora.

Proceso de instalación

Los medidores de juntas se instalarán en las galerías de la represa, según el siguiente procedimiento:

1. Se determina la posición de anclaje del instrumento.
2. Con la ayuda de un taladro, se realiza la perforación para anclar el instrumento. Se limpia la perforación.
3. Se inyecta un epóxico en la perforación para fijar el instrumento.
4. Coloca las placas del instrumento, y se fijan con tornillos en la pared.
5. Se colocan los sensores de desplazamiento a la base.
6. Se obtiene la primera lectura, la cual será el parámetro de comparación.

En la siguiente figura se muestra el detalle de cómo queda instalado el medidor de juntas eléctrico 3D.

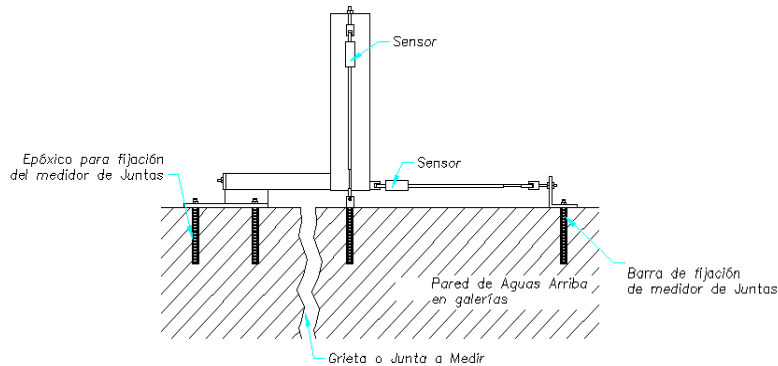


Figura 51. Detalle de medidor de juntas 3D. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

Extensómetro de barras

Estos fueron instalados con el objetivo de medir o monitorear los cambios en la distancia entre uno o más anclajes del fondo de la perforación con respecto de la cabeza de referencia, ubicada en la salida de ésta.

Tipo de extensómetro instalado en la Represa del PH Pirrís

En ella, se instalarán los extensómetros “Rod Extensometer”, del fabricante SLOPE INDICATOR. En la siguiente figura se muestra este tipo de extensómetro. Es importante mencionar que todos los instalados en la represa, cuentan con un total de cuatro varillas.



Figura 52. Extensómetro de barras. Fuente Slope Indicator, 2009.

Proceso de instalación

Para la instalación de estos instrumentos se realiza el siguiente proceso:

1. Se perfora en el lugar donde se desea realizar el monitoreo.
2. Se instalan las varillas a la cabeza del extensómetro, junto con los anclajes y la protección de las varillas.
3. Se realiza el anclaje de las varillas a las profundidades deseadas.

En la figura 53 se muestra el detalle de instalación de los extensómetros distribuidos en la represa del PH Pirrís.

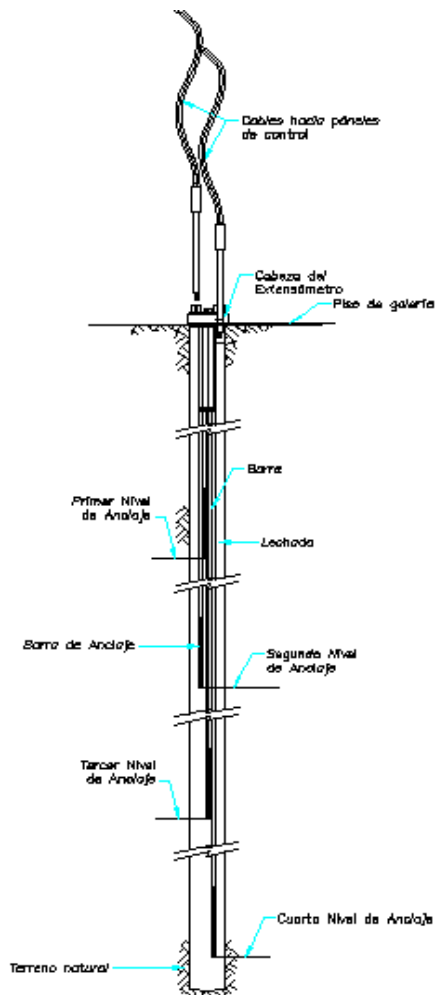


Figura 53. Instalación de un extensómetro. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

Clinómetros

Los clinómetros se instalan con el fin de medir los cambios en la inclinación de la estructura. En el caso de la represa del PH Pirrís, se colocan principalmente para determinar la inclinación de la represa, debido al esfuerzo generado por el embalse.

Tipos de clinómetros instalados en la Represa del PH Pirrís

La represa del PH Pirrís contará con dos tipos de clinómetros: manual y eléctrico, ambos del fabricante SLOPE INDICATOR.

En las siguientes figuras se observan ambos tipos de clinómetros.

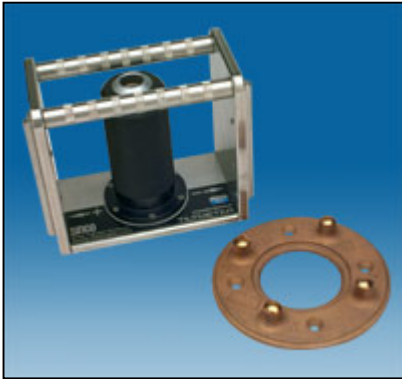


Figura 54. Clinómetro manual. Fuente Slope Indicator, 2009.



Figura 55. Clinómetro eléctrico. Fuente Slope Indicator, 2009.

Proceso de instalación

El proceso de instalación para ambos tipos de clinómetros es muy similar. En el caso de los que se colocarán en la represa del PH Pirrís, se ubicarán en las galerías aguas arriba, según el siguiente procedimiento:

1. Ubicar el lugar donde se instalará el instrumento.
2. Realizar la o las perforaciones necesarias para empotrar el instrumento a la pared.
3. Limpiar las perforaciones y colocar un epóxico para fijar los instrumentos.
4. Colocar el instrumento.

En las figuras 56 y 57 se muestran los detalles de los clinómetros por instalar.

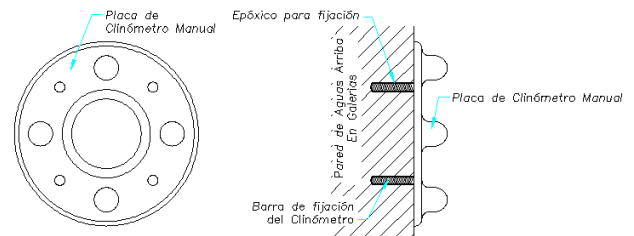


Figura 56. Clinómetro Manual. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

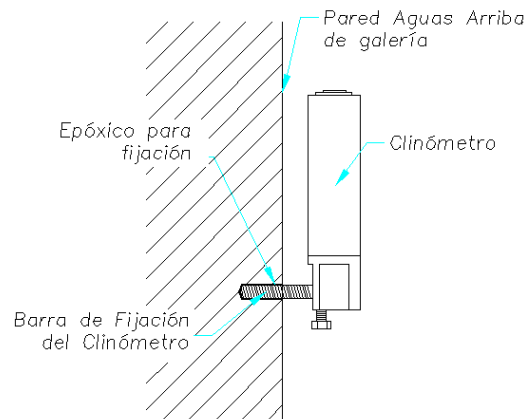


Figura 57. Clinómetro eléctrico. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

Resultados

Según los procedimientos utilizados, previamente establecidos en la metodología y con la ayuda del procesamiento de la información realizada en el Microsoft Access, se hizo el estudio del comportamiento de la represa del PH Pirrís, tanto desde el punto de vista geotécnico, como estructural.

Los gráficos obtenidos, se realizaron en Microsoft Excel. Esto se obtuvo, gracias a la herramienta creada en el desarrollo del proyecto. Algunos corresponden a las consultas previamente programadas, otros se realizaron por medio de filtros de datos en el mismo programa.

Comportamiento de los piezómetros antes y durante la colocación del RCC.

Se analizó el comportamiento de los piezómetros ubicados en la fundación de la represa, en condiciones diferentes de carga.

En los anexos 1 y 2, se puede observar la ubicación de los piezómetros de fundación. Estos se hallan en las elevaciones 1065 m.s.n.m., y la 1092 m.s.n.m. En las estación 0+105 y 0+158.

Comportamiento de los piezómetros de fundación ubicados en la elevación 1065, estación 0+105.

En este punto, se encuentran los piezómetros eléctricos, 14, 16, 18 y 20; en el orden desde aguas arriba hasta aguas abajo.

En la figura 58, se observa un corte de la estación 0+105, donde se muestra la ubicación de los piezómetros mencionados.

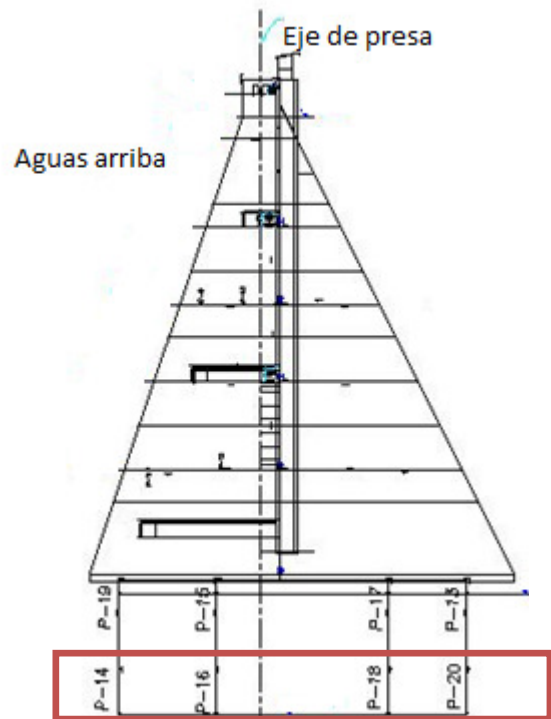


Figura 58. Ubicación de los piezómetros en la elevación 1065 m.s.n.m., estación 0+105. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

La siguiente figura, ilustra el comportamiento de los piezómetros de fundación, antes de haberse iniciado la construcción de la represa.

Las lecturas graficadas corresponden a los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2008, y a las de enero, febrero y marzo del 2009.

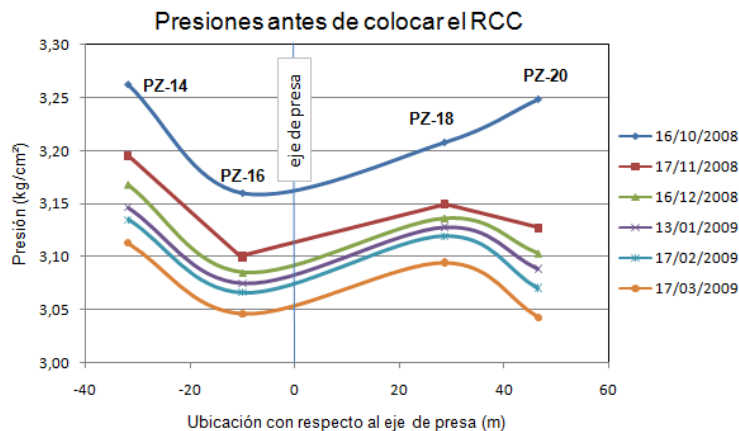


Figura 59. Comportamiento de los piezómetros, 14, 16, 18 y 20, antes de colocar RCC.¹

La figura 60 muestra la variación de la presión, justamente después de iniciar la colocación del RCC, abarca los meses desde abril hasta octubre del 2009.

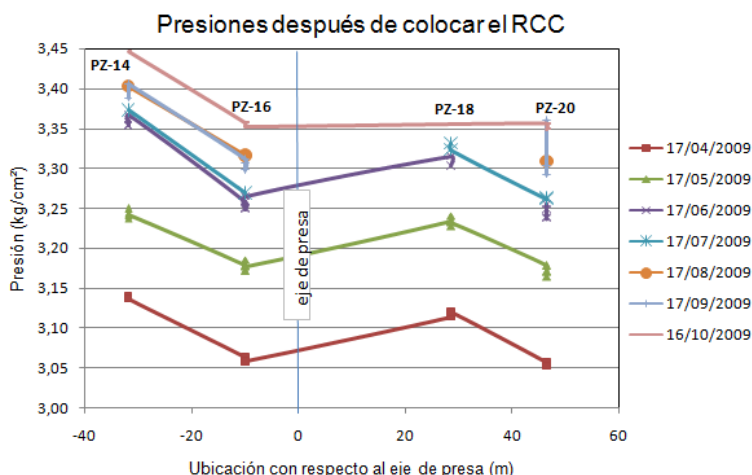


Figura 60. Comportamiento de los piezómetros, 14, 16, 18 y 20, después de iniciar con la colocación del RCC¹

En las figuras 59 y 60 mostradas anteriormente, se observa el comportamiento de los piezómetros de fundación ubicados en la elevación 1065 m.s.n.m., estación 0+105. Es importante aclarar que el eje x negativo, corresponde a aguas arriba, por ello el eje x positivo se refiere a aguas

¹ Todos los gráficos que se muestran a continuación que carecen de fuente provienen de la Base Datos.

abajo. Esta convención es la que rige según los planos de la instrumentación de la represa, por eso para el resto del informe se seguirá utilizando.

Comportamiento de los piezómetros de fundación ubicados en la elevación 1065, estación 0+158.

Los piezómetros de fundación que se encuentran en esta elevación, corresponden a los siguientes: 29, 31, 33 y 35, ordenados desde aguas arriba hasta aguas abajo.

La figura 61 muestra un corte de la estación 0+158, en la cual se aprecia la distribución de los piezómetros antes mencionados.

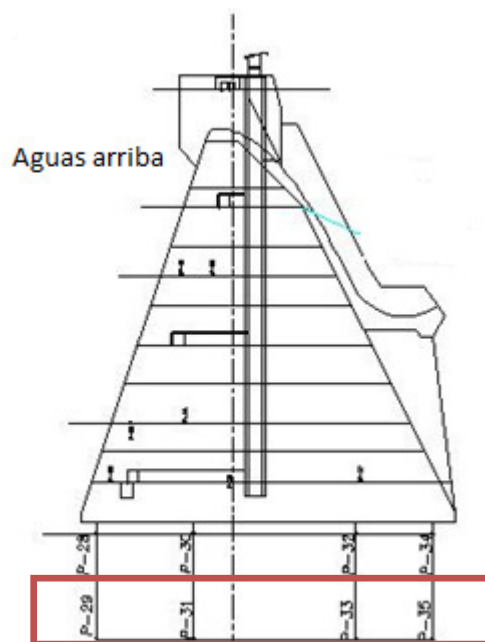


Figura 61. Ubicación de los piezómetros en la elevación 1065 m.s.n.m., estación 0+158. Fuente Emilia Ramírez.

Las figuras 62 y 63 señalan el comportamiento de los piezómetros 29, 31, 33 y 35, antes de colocar el RCC, entre octubre del 2008 y marzo del 2009 y durante el proceso constructivo, el cual abarca los meses desde abril hasta realizar un corte en octubre del 2009.

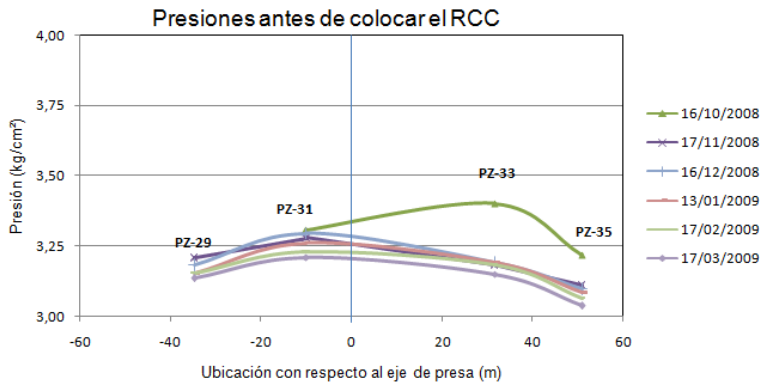


Figura 62. Comportamiento de los piezómetros, 29, 31, 33 y 35 antes de colocar RCC¹

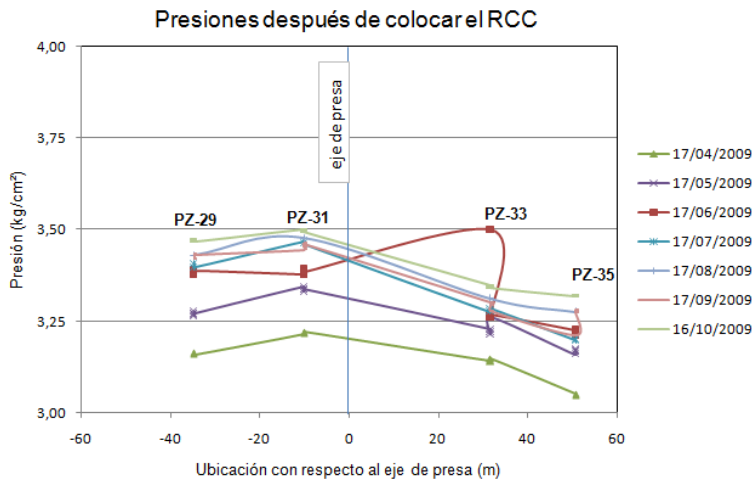


Figura 63. Comportamiento de los piezómetros, 29, 31, 33 y 35 durante el proceso de colocado del RCC¹

Comportamiento de los piezómetros de fundación ubicados en la elevación 1092, estación 0+105.

El monitoreo de esta zona, se realiza a través de los piezómetros 19, 15, 17 y 13. Los piezómetros, se encuentran distribuidos en la estación 0+105, desde aguas arriba, iniciando con el piezómetro 19, hasta llegar a aguas abajo, donde se localiza el piezómetro 13.

Un corte de esta estación, se muestra en la figura 64. Aquí se observa la ubicación de los instrumentos mencionados.

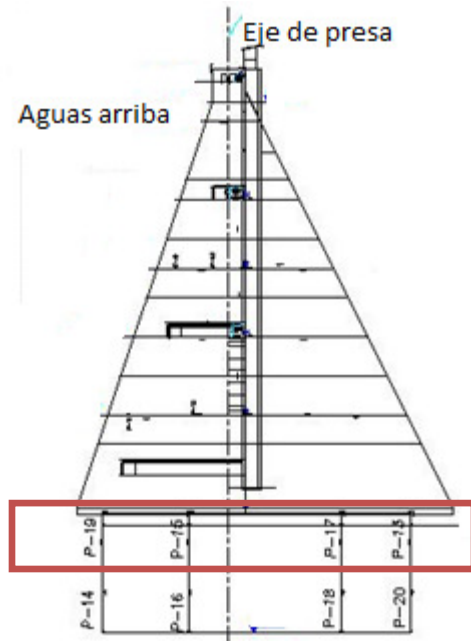


Figura 64. Ubicación de los piezómetros en la elevación 1092 m.s.n.m., estación 0+105. Fuente Emilia Ramírez.

La variante de la presión en esta elevación se puede observar en las figuras 65 y 66, las cuales muestran el comportamiento de la fundación de la represa antes y después de colocado el RCC.

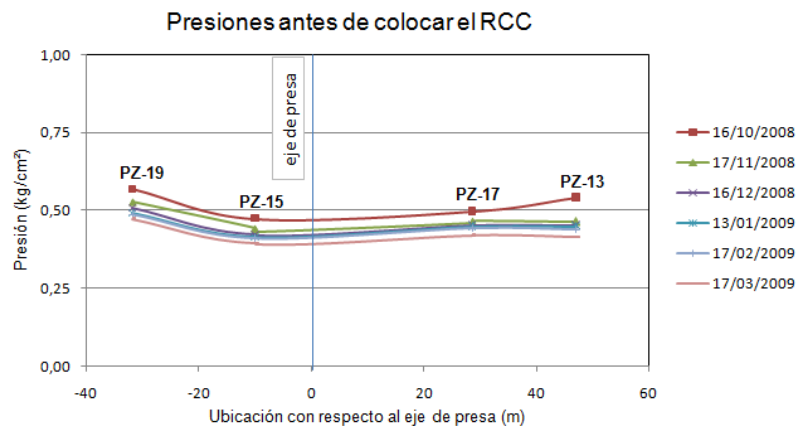


Figura 65. Comportamiento de los piezómetros, 19, 15, 17 y 13 antes de colocar RCC¹

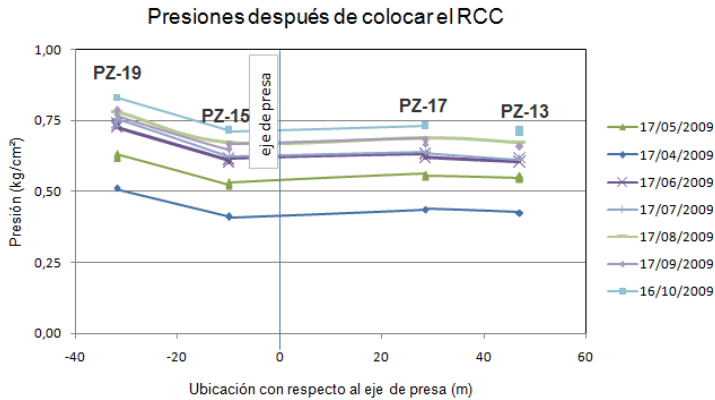


Figura 66. Comportamiento de los piezómetros, 19, 15, 17 y 13 después de iniciar con la colocación del RCC¹

Comportamiento de los piezómetros de fundación ubicados en la elevación 1092, estación 0+158

La presión de poros reportada en esta sección la realizan los siguientes piezómetros: 28, 30, 32 y 34. Como se observa en la figura 67, éstos se encuentran instalados tanto aguas arriba como aguas abajo.

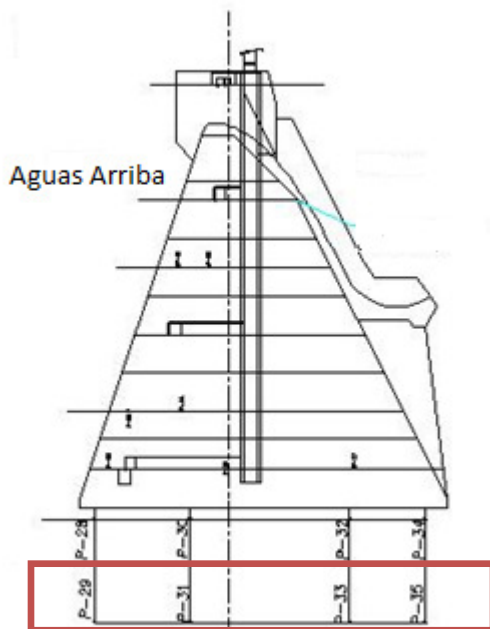


Figura 67. Ubicación de los piezómetros en la elevación 1092 m.s.n.m., estación 0+158. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

Las figuras 68 y 69 muestran los cambios de presión que sufre la fundación, a través del tiempo tanto antes como durante la colocación de RCC.

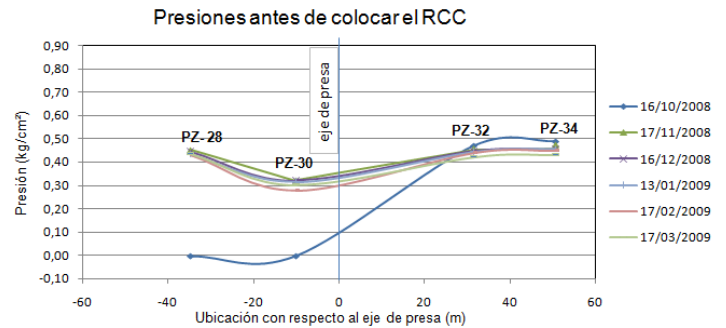


Figura 68. Comportamiento de los piezómetros, 28, 30, 32 y 34 antes de colocar RCC¹

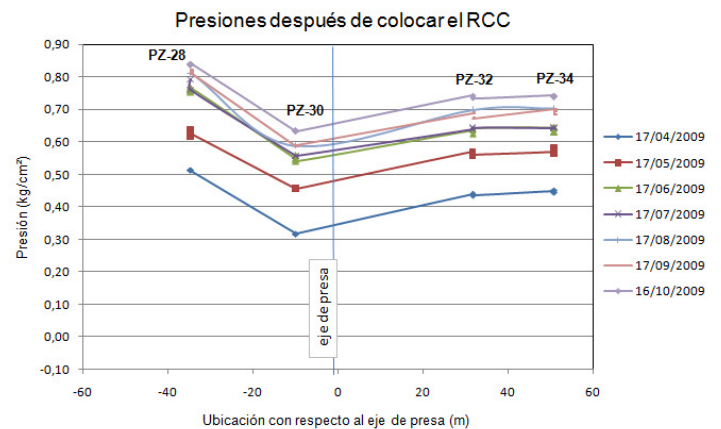


Figura 69. Comportamiento de los piezómetros, 28, 30, 32 y 34 después de iniciar con la colocación del RCC¹

Comportamiento de los piezómetros ubicados en el cuerpo de represa, en la elevación 1105, estación 0+158.

Los termómetros 25, 26 y 27, están instalados en el cuerpo de la represa. El piezómetro 25 se ubica aguas arriba, mientras que el piezómetro 26 se instala en el eje de represa y, por último, el piezómetro 27 se ubica aguas abajo. En la figura 70, se observa en detalle la ubicación de estos instrumentos.



Figura 70. Ubicación de los piezómetros en la elevación 1105 m.s.n.m., estación 0+158. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

La figura 71, señala el comportamiento de los piezómetros 25, 26 y 27, durante el proceso constructivo de la represa.

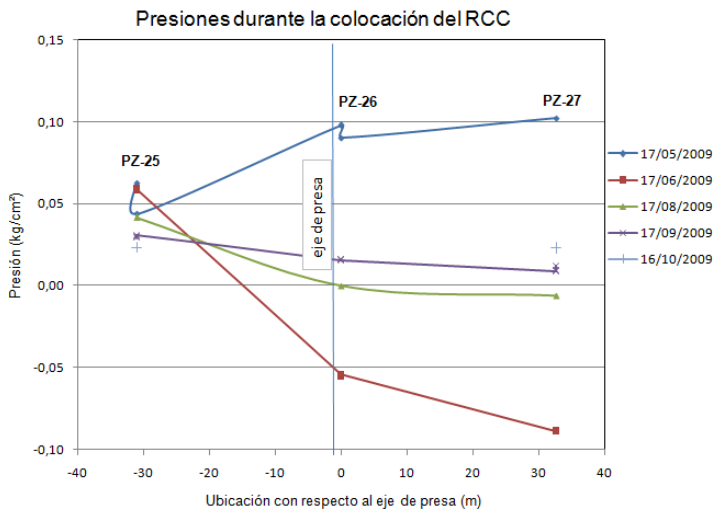


Figura 71. Comportamiento de los piezómetros, 25, 26 y 27 desde mayo hasta octubre del 2009.¹

Comportamiento del piezómetro ubicado en el cuerpo de represa, en la elevación 1113,85, estación 0+073.

En la siguiente figura se aprecia la ubicación del piezómetro 47, el cual fue instalado justamente en el eje de represa.

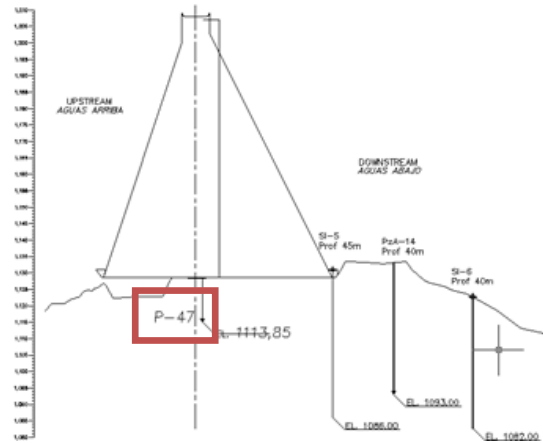


Figura 72. Ubicación del piezómetro 47 en la elevación 1113,85 m.s.n.m., estación 0+073. Fuente Emilia Ramírez, ICE, Departamento de Auscultación, 2009.

En la figura 73 se muestra la variación de la presión con respecto del tiempo, reportada por el piezómetro 47, el cual se encuentra muy cercano a la margen izquierda de la represa.

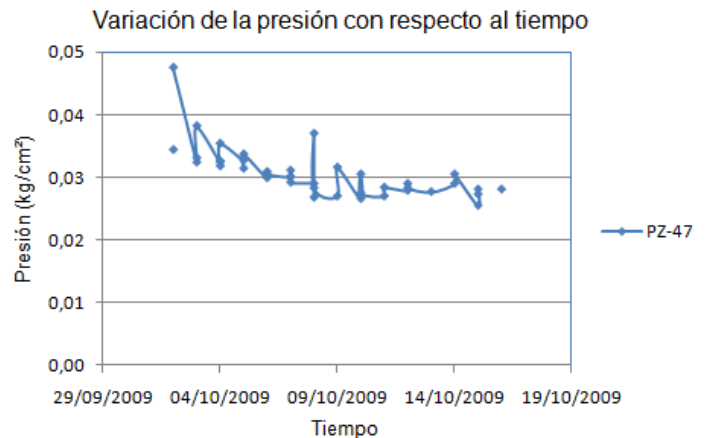


Figura 73. Variación de la presión registrada por el piezómetro 47 desde su instalación, el 1 de octubre del 2009.¹

Comportamiento de los piezómetros ubicados en el cuerpo de represa, en la cercanía de la elevación 1120 m.s.n.m., estación 0+105.

En esta zona, el monitoreo es realizado por los piezómetros 11 y 12. Ambos fueron instalados aguas arriba de la represa. En la figura 74 se muestra la ubicación de estos instrumentos.

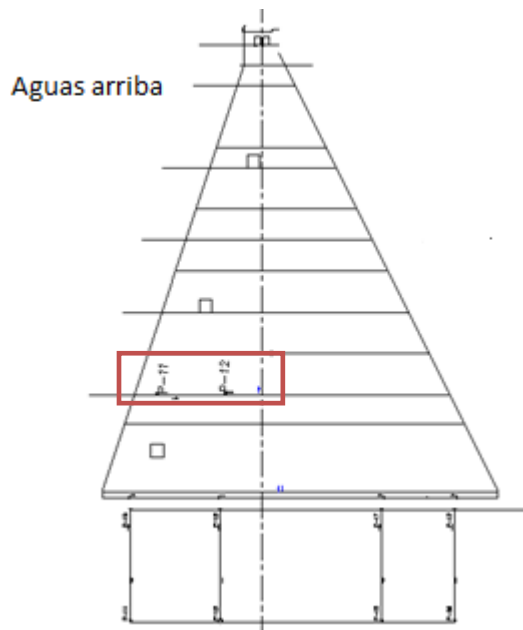


Figura 74. Ubicación de los piezómetros 11 y 12 en la elevación 1120 m.s.n.m., estación 0+105. Fuente Emilia Ramírez.

Las figuras 75 y 76 muestran las variaciones de presión registradas por los piezómetros 11 y 12 a través del tiempo. Es importante mencionar que estos dos gráficos son de consultas previamente programadas; pues los mostrados anteriormente se realizaron a partir de filtros de datos. Esto debido a que son consultas más específicas.

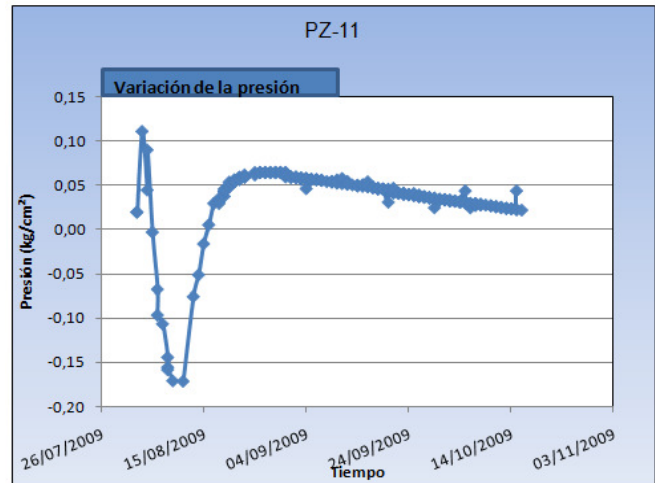


Figura 75. Variación de la presión registrada por el piezómetro 11 desde su instalación hasta la segunda semana de octubre.¹

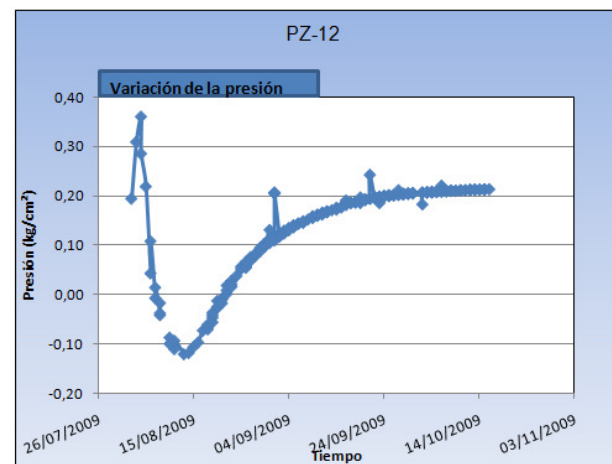


Figura 76. Variación de la presión registrada por el piezómetro 12 desde su instalación, hasta la segunda semana de octubre.¹

Comportamiento de los piezómetros ubicados en el cuerpo de represa, en la cercanía de la elevación 1120, estación 0+158

Los piezómetros 23 y 24 registran las presiones a las cuales se somete esta área de la represa. Éstos se ubican aguas arriba de la represa. La figura 77 muestra la ubicación de éstos.



Figura 77. Ubicación de los piezómetros 23 y 24 en la elevación 1120 m.s.n.m., estación 0+158. Fuente Emilia Ramírez.¹

Las variaciones de las presiones a través del tiempo registradas por estos piezómetros son mostradas en las figuras 78 y 79.

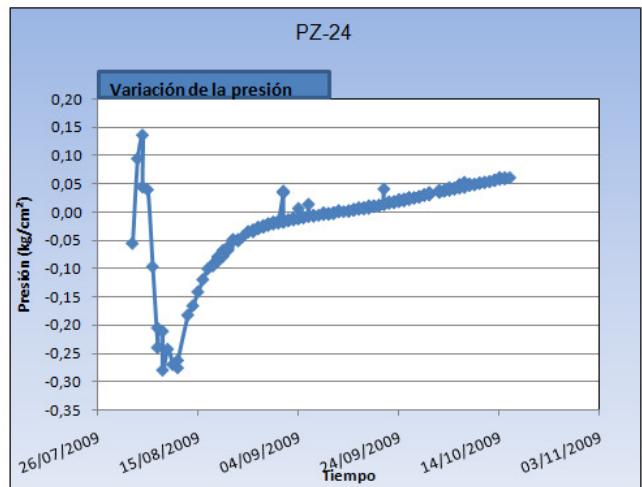


Figura 79. Variación de la presión registrada por el piezómetro 24 desde su instalación hasta la segunda semana de octubre.¹

Comportamiento de los piezómetros ubicados en las estación 0+058, y en las elevaciones 1119 m.s.n.m. y 1136 m.s.n.m.

Éstos se instalan siguiendo el mismo proceso constructivo que se siguió en los piezómetros de fundación. Al llegar a la elevación 1140 m.s.n.m., se realizaron las perforaciones para ubicarlos. Éstas fueron de 20 m de profundidad aproximadamente. Se realizaron tres y cada una albergó dos piezómetros. La siguiente figura muestra la ubicación de los piezómetros en la estación 0+058.

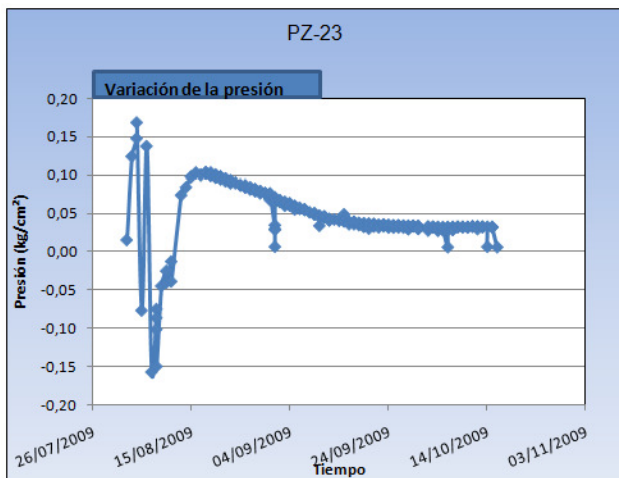


Figura 78. Variación de la presión registrada por el piezómetro 23 desde su instalación hasta la segunda semana de octubre.¹

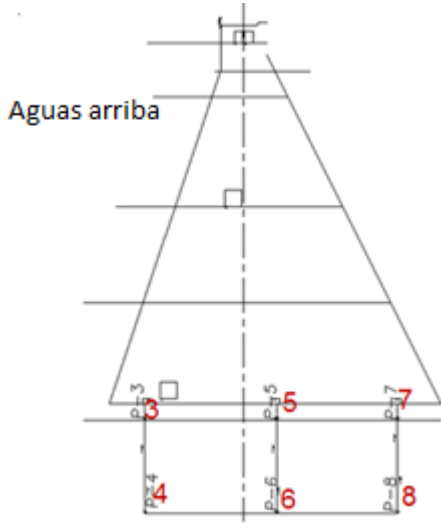


Figura 80. Ubicación de los piezómetros 3, 4, 5, 6, 7, y 8, en la estación 0+058. Fuente Emilia Ramírez.¹

Los piezómetros 4, 6 y 8 se instalaron en la elevación 1119 m.s.n.m. Estos instrumentos reportan las presiones mostradas en la figura 81.

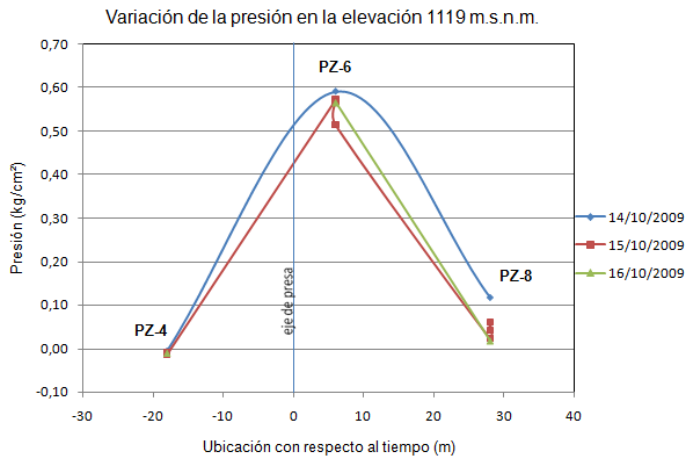


Figura 81. Variación de la presión registrada por los piezómetros ubicados en la elevación 1119 m.s.n.m., estación 0+058¹

Mientras que el comportamiento de los piezómetros 3, 5 y 8 se señalan en la figura 82. Estos instrumentos fueron instalados en la elevación 1136 m.s.n.m.

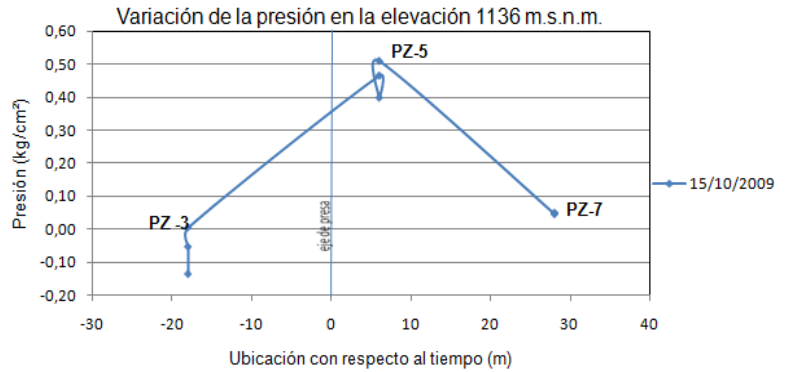


Figura 82. Variación de la presión registrada por los piezómetros ubicados en la elevación 1136 m.s.n.m., estación 0+058.¹

Comportamiento de los termómetros

Con el objetivo de monitorear la variación de la temperatura causada por el proceso del calor de hidratación del concreto, se colocaron los termómetros en puntos previamente establecidos. La comparación del comportamiento real con el teórico, se realizó a partir del modelo térmico, el cual se basó en el método de elementos finitos. Los termómetros instalados permitieron verificar las temperaturas reales con las propuestas según el modelo.

La ubicación de los termómetros se encuentra en forma tabulada en el anexo 1 y en planta en el anexo 2.

Temperaturas registradas por los termómetros ubicados en la estación 0+105.

En la figura 83 se ilustra el comportamiento de los termómetros 64, el cual se encuentra ubicado en el eje de represa y el 65, instalado aguas abajo. Ambos colocados en la elevación 1101,9 m.s.n.m.

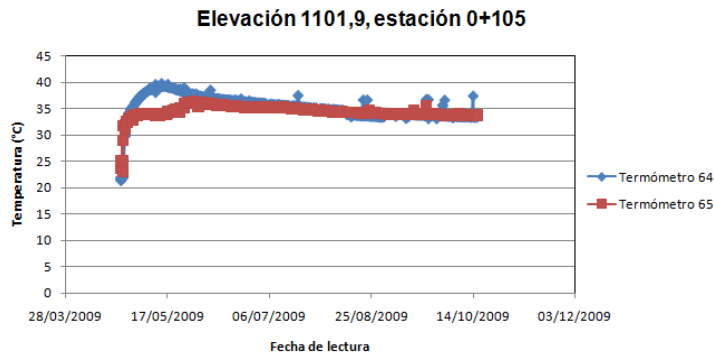


Figura 83. Variación de la temperatura a través del tiempo, registrada por los termómetros 64 y 65.

Los termómetros 62 V y 63 fueron instalados aguas arriba de la represa. Su comportamiento se muestra en la figura 84.¹

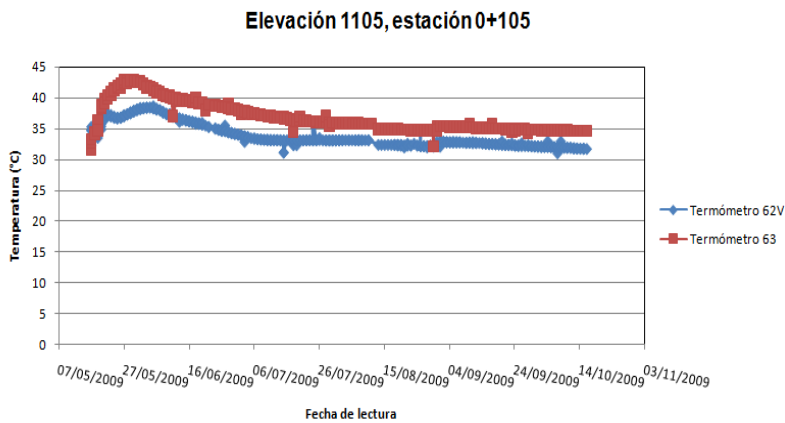


Figura 84. Variación de la temperatura a través del tiempo, registrada por los termómetros 62 v y 63.¹

En la elevación 1113 m.s.n.m., se ubica una serie de termómetros aguas abajo de la represa. Estos termómetros son los siguientes: 72, 73, 75, 76, 77, 78, 92 y 93. En la figura 85, se muestra la variación de la temperatura, registrada por ellos. Mientras que en la misma elevación pero aguas arriba se instalaron los siguientes termómetros: 91, 90, 83, 68, 69, 82 y 70. El comportamiento de éstos se observa en la figura 86.

Elevación 1113 m.s.n.m., estación 0+105 (aguas abajo)

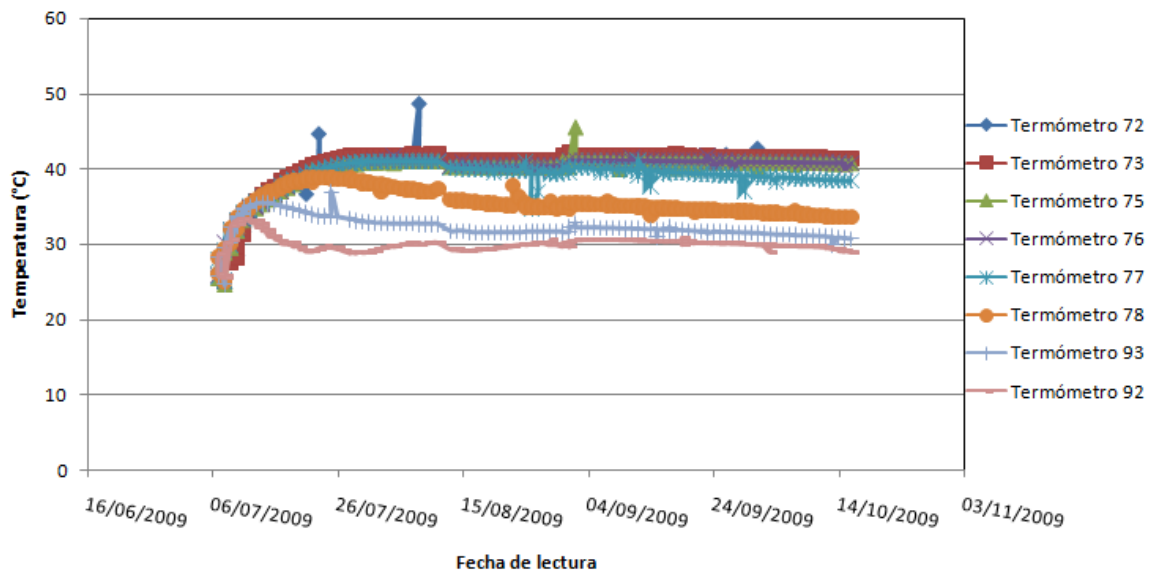


Figura 85. Variación de la temperatura registrada por una serie de termómetros instalados aguas abajo.¹

Elevación 1113 m.s.n.m., estación 0+105 (aguas arriba)

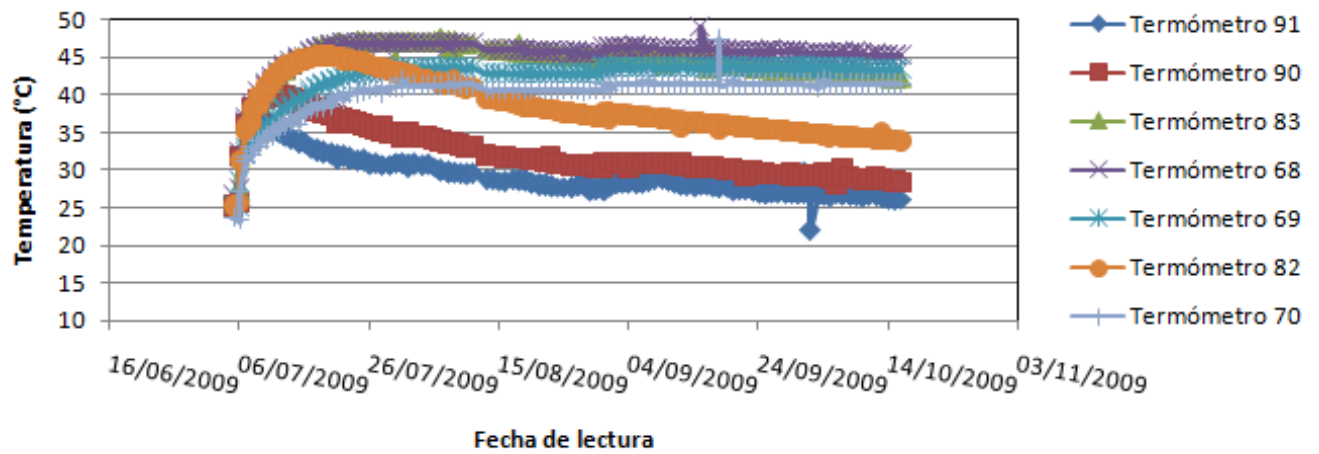


Figura 86. Variación de la temperatura registrada por una serie de termómetros instalados aguas arriba.¹

En la elevación 1122, 40 m.s.n.m., se instaló en el eje de represa, el termómetro 170, cuyo comportamiento se muestra, en la figura 87.

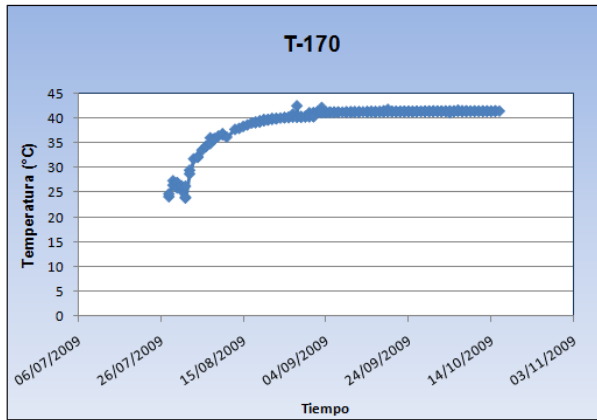


Figura 87. Variaciones de la temperatura con respecto del tiempo, registradas por el termómetro 170.¹

En la figura 88 se aprecia el comportamiento del termómetro 169. Éste se instaló en el eje de represa en la elevación 1125,40 m.s.n.m.

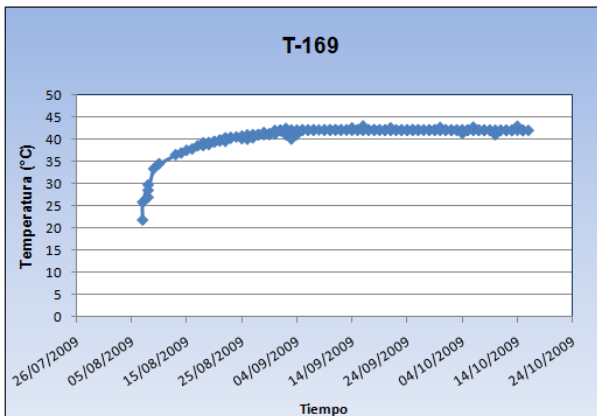


Figura 88. Temperaturas registradas por el termómetro 169, a través del tiempo.¹

El termómetro 188 se instaló en el eje de represa, en la elevación 1128,40 m.s.n.m. Éste reporta las temperaturas mostradas en la figura 89.

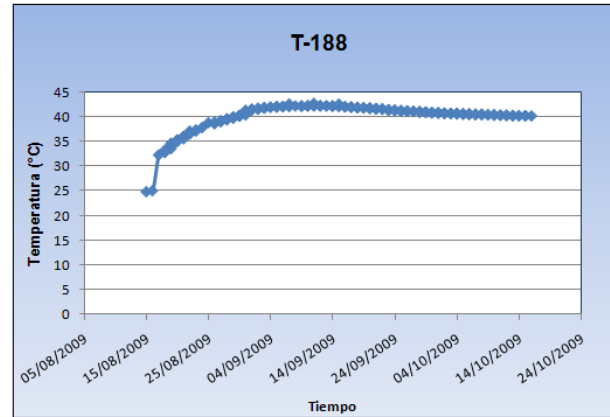


Figura 89. Variación de la temperatura a través del tiempo, medida por el termómetro 188.¹

En la elevación 1130 m.s.n.m., se realizó la instalación de 17 termómetros, de los cuales 9 se colocaron aguas debajo de la represa. Éstos corresponden a los siguientes: 178, 175, 84, 88, 87, 86, 94, 96 y 85. La variación de temperatura que registran estos instrumentos se muestra en la figura 90. Por otra parte, los 8 termómetros restantes se ubicaron aguas arriba de la represa, estos corresponden a los siguientes: 79, 80, 89, 97, 71, 176, 177 y 179. El comportamiento de este grupo de instrumentos se muestra en la figura 91.

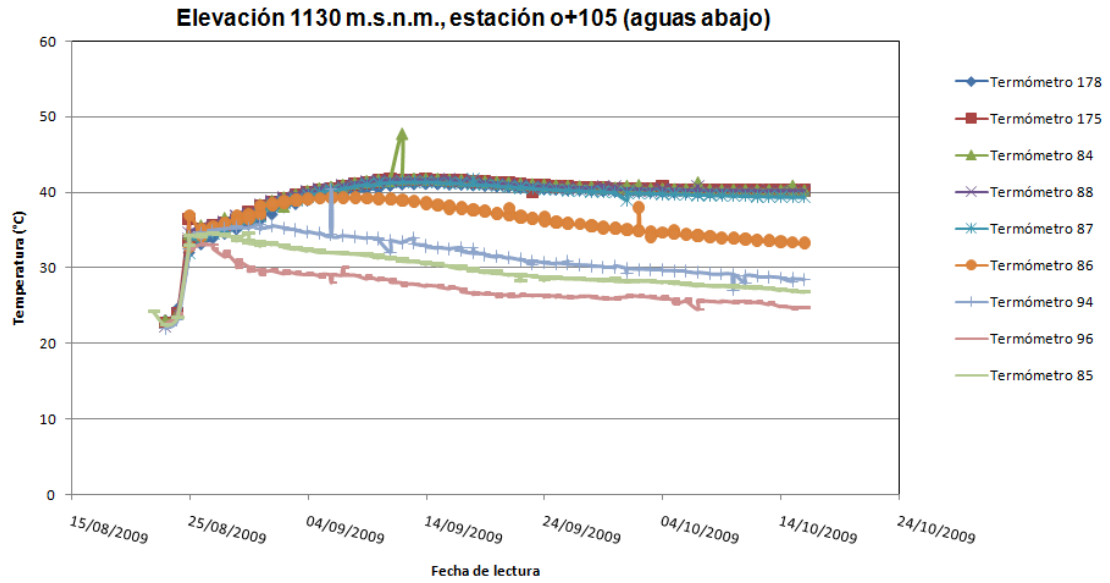


Figura 90. Variación de la temperatura registrada por una serie de termómetros instalados aguas abajo.¹

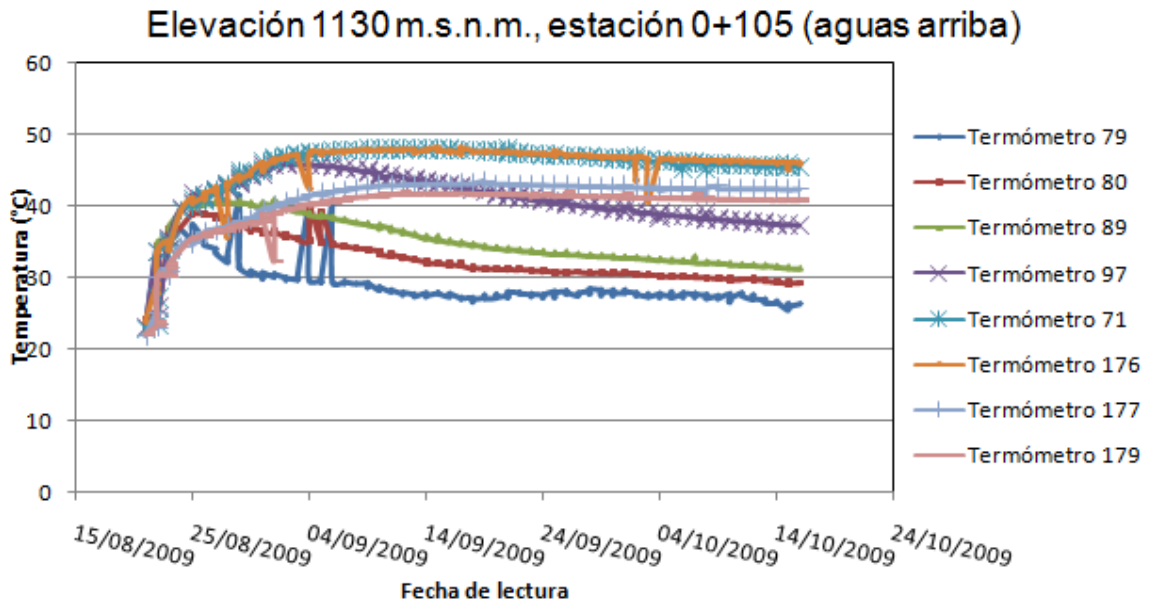


Figura 91. Variación de la temperatura registrada por una serie de termómetros instalados aguas arriba.¹

El termómetro 180 se colocó en la elevación 1131,60 m.s.n.m., justamente en el eje de represa. En la figura 92 se muestra como varía la temperatura en esa zona.

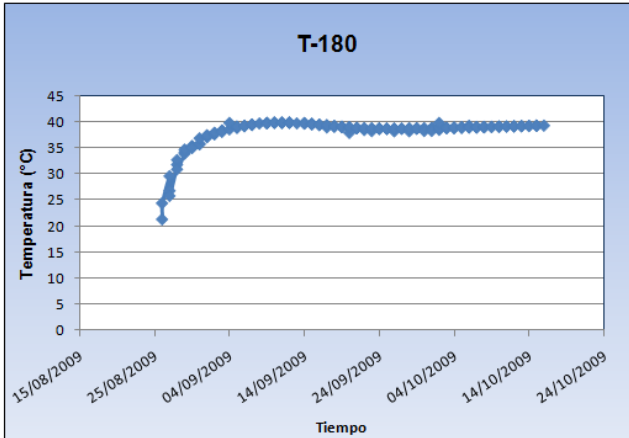


Figura 92. Variación de la temperatura con respecto del tiempo, según el termómetro 180.¹

En la elevación 1134,316 m.s.n.m., se instaló sobre el eje de represa el termómetro 95. El comportamiento de éste se puede observar en la figura 93.

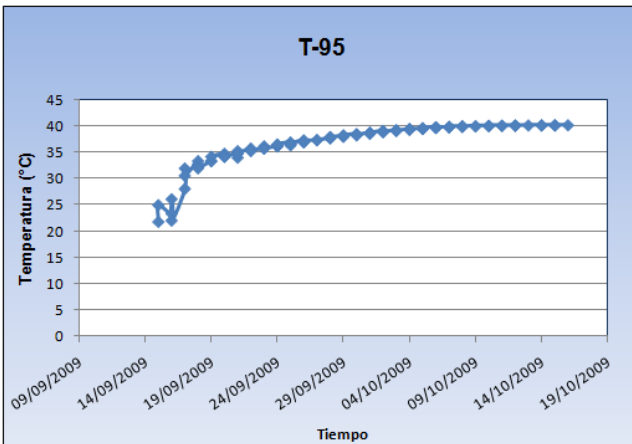


Figura 93. Temperaturas registradas por el termómetro 89.¹

Otro de los termómetros ubicados sobre el eje de represa, es el 171, pero en la elevación 1138,5 m.s.n.m. La variación de temperatura que registró este termómetro se muestra en la figura 94.¹

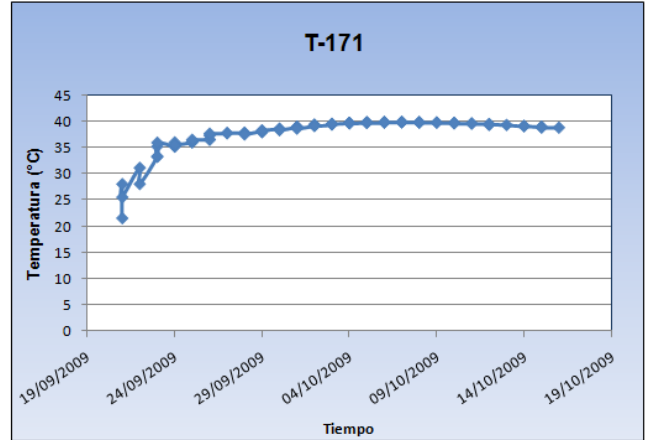


Figura 94. Variación de la temperatura registrada por el termómetro 171.¹

Por último, en esta estación, debido a que fue aquí donde se realizó el corte para trabajar en el presente proyecto, se localizó en la elevación 1140 m.s.n.m. el termómetro 46. Este instrumento se instaló aguas arriba de la represa. En la figura 95 se muestra su comportamiento.

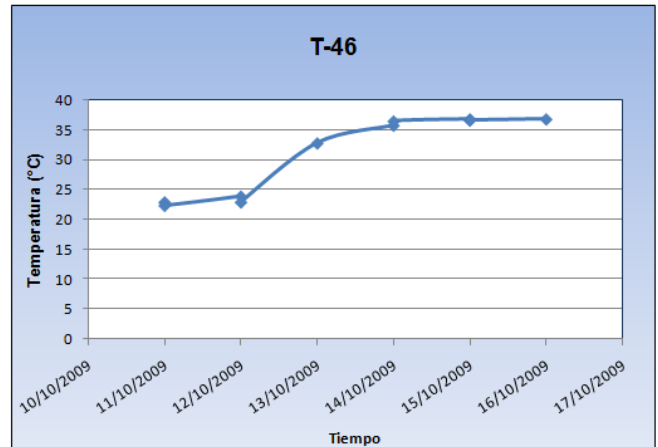


Figura 95. Variación de la temperatura con respecto del tiempo, reportada por el termómetro 46.¹

Temperaturas registradas por los termómetros ubicados en la estación 0+158

En el anexo 2 se ilustra el detalle en planta de la ubicación de cada uno de los termómetros en esta estación.

En la elevación 1101,9 m.s.n.m., se instalaron los termómetros 66 y 67. El 66 se ubica en el eje de represa, mientras que el 67 se colocó aguas arriba. En la figura 96, se muestran las temperaturas registradas por ambos termómetros.

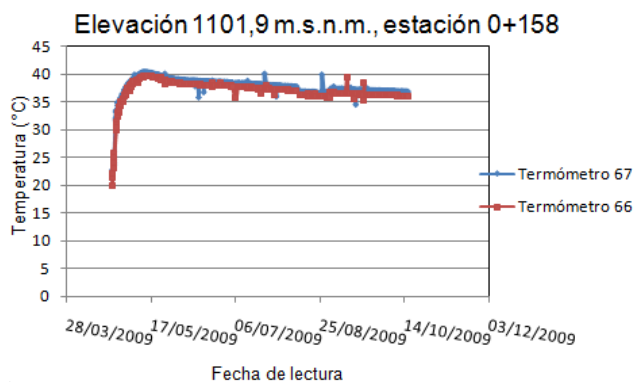


Figura 96. Variación de la temperatura en relación con el tiempo en la elevación 1101,9 m.s.n.m.¹

Los termómetros 158 y 159 se localizaron en la elevación 1112 m.s.n.m. Ambos fueron colocados aguas arriba de la represa. En la figura 97 se aprecia el comportamiento de estos termómetros.

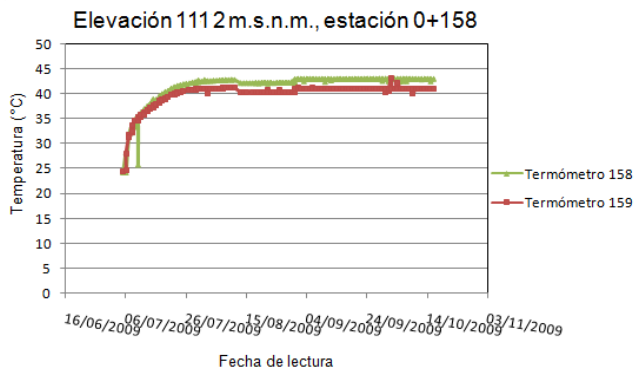


Figura 97. Variación de la temperatura con respecto del tiempo en la elevación 1112 m.s.n.m.¹

En la elevación 1113 m.s.n.m., se instalaron los siguientes termómetros: 182, 181, 155 y 156, todos colocados aguas arriba de la represa. En la figura 98, se muestra la variación de la temperatura en esta zona.

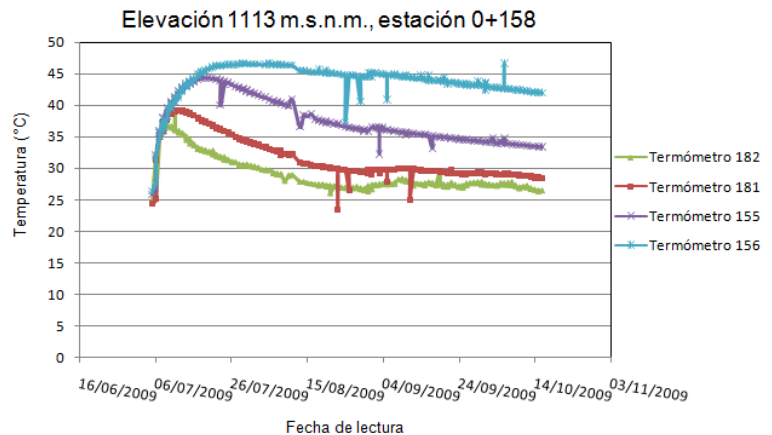


Figura 98. Variación de la temperatura con respecto del tiempo en la elevación 1113 m.s.n.m.¹

En la elevación 1119 m.s.n.m., aguas abajo, se colocaron 6 termómetros, los cuales son los siguientes: 173, 172, 187, 185 y 81. En la figura 99 se muestra el comportamiento de estos instrumentos.

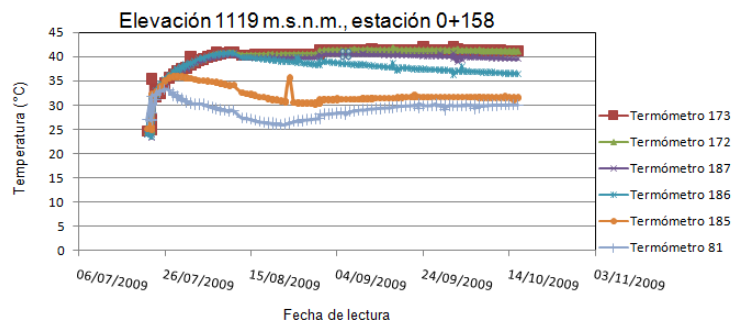


Figura 99. Variación de la temperatura en relación con el tiempo en la elevación 1119 m.s.n.m.¹

El termómetro 160 se colocó en el eje de represa y en la elevación 1122 m.s.n.m. En la figura 100 se muestra la variación de la temperatura registrada por este termómetro.

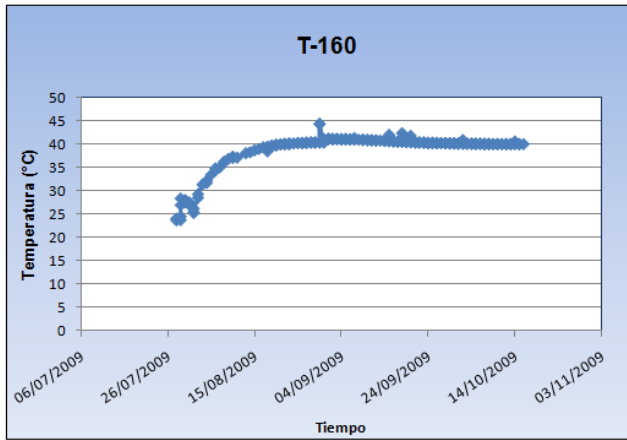


Figura 100. Comportamiento del termómetro 160.

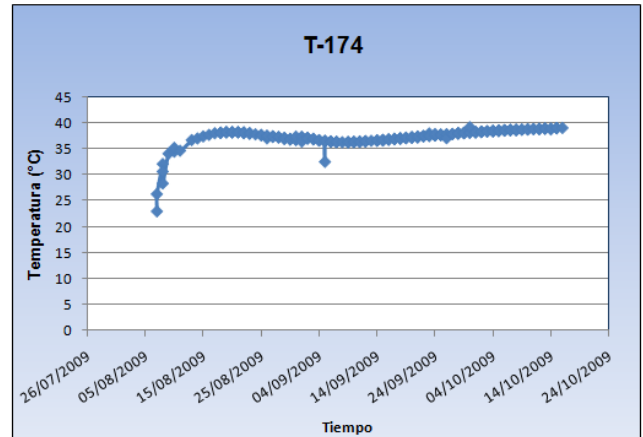


Figura 101. Variación de la temperatura con respecto del tiempo.¹

En la elevación 1125 m.s.n.m. se localiza el termómetro 174 muy cercano al eje de represa. El comportamiento de este termómetro se muestra en la figura 101.¹

En la elevación 1130 m.s.n.m., se instalaron 17 termómetros, de los cuales 9 fueron colocados aguas abajo (154, 38, 29, 30, 33, 40, 41, 168 y 32), los otros 8 se colocaron aguas arriba de la represa (36, 31, 39, 42, 28, 34, 35 y 37).

En las figuras 102 y 103, se muestran los comportamientos de estos termómetros.

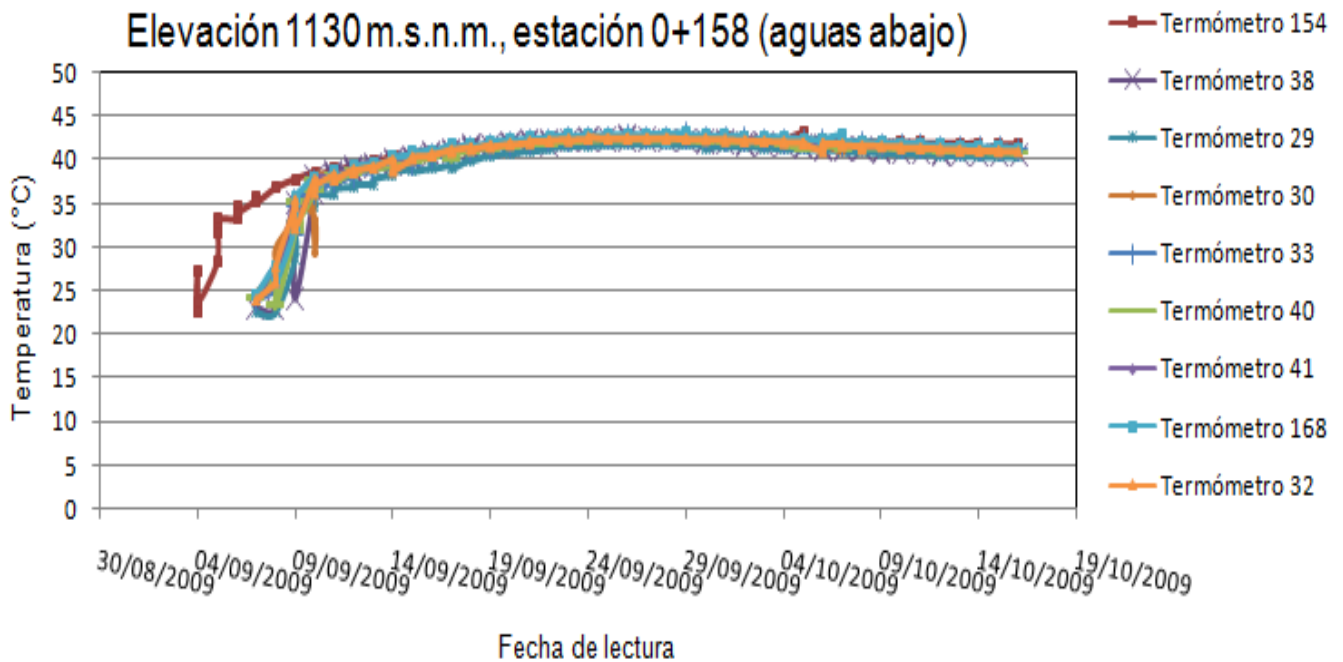


Figura 102. Se muestra la variación de los termómetros instalados aguas abajo de la represa, en la elevación 1130 m.s.n.m.¹

Elevación 1130 m.s.n.m., estación 0+158 (aguas arriba)

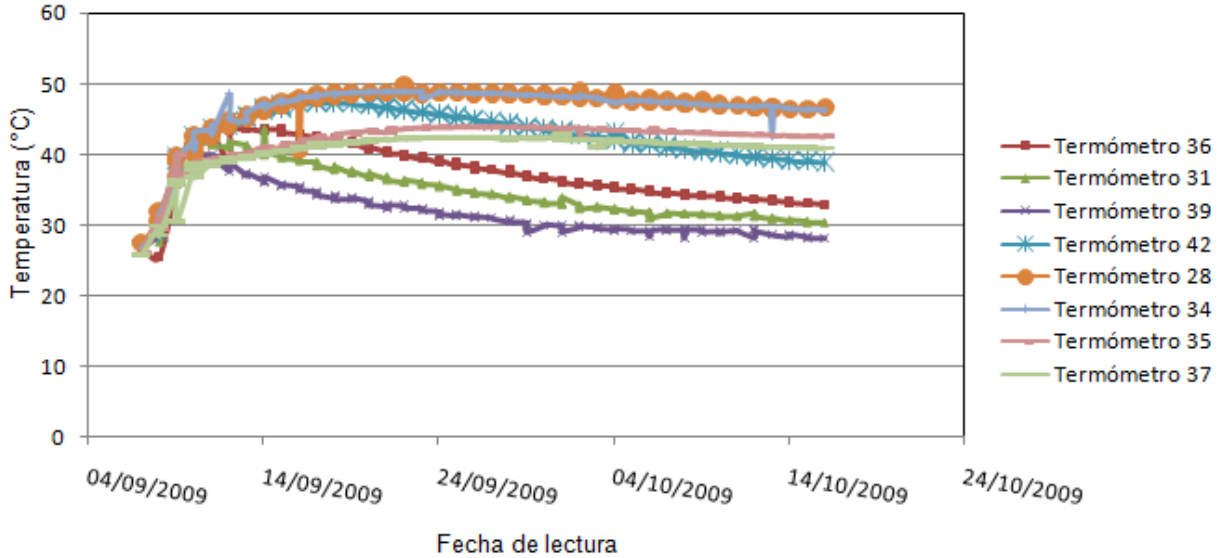


Figura 103. Se muestra la variación de los termómetros instalados aguas arriba de la represa, en la elevación 1130 m.s.n.m.¹

En la elevación 1132 m.s.n.m., se instaló el termómetro 153 muy cercano al eje de represa. En la figura 104 se muestra el comportamiento de este termómetro.

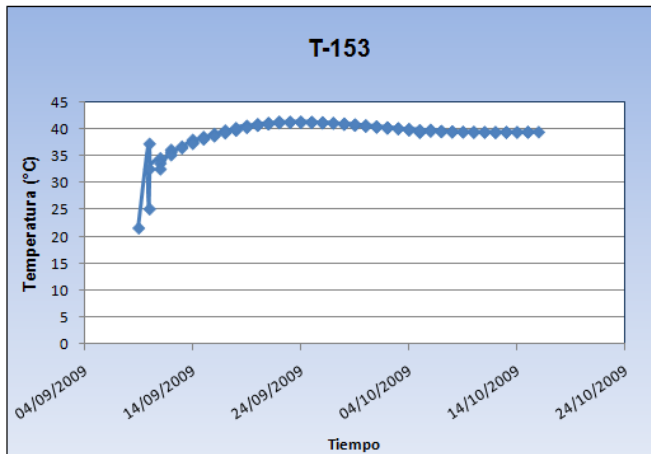


Figura 104. Variación de la temperatura en relación con el tiempo.¹

El termómetro 152 se colocó en la elevación 1135 m.s.n.m., muy cercano al eje de represa. En la figura 105, se observa la variación de la temperatura registrada por este termómetro.

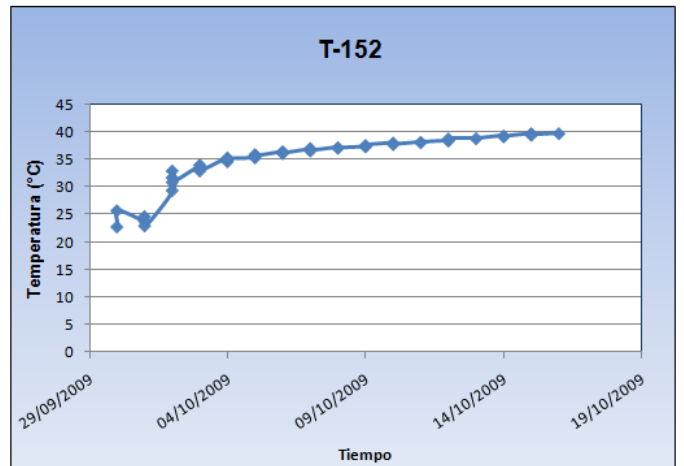


Figura 105. Temperaturas registradas por el termómetro 152.¹

En la elevación 1139 m.s.n.m. se ubicaron los termómetros 55 y 62, ambos muy cercanos al eje de represa. En la figura 106 se muestra el comportamiento de ambos instrumentos a través del tiempo.

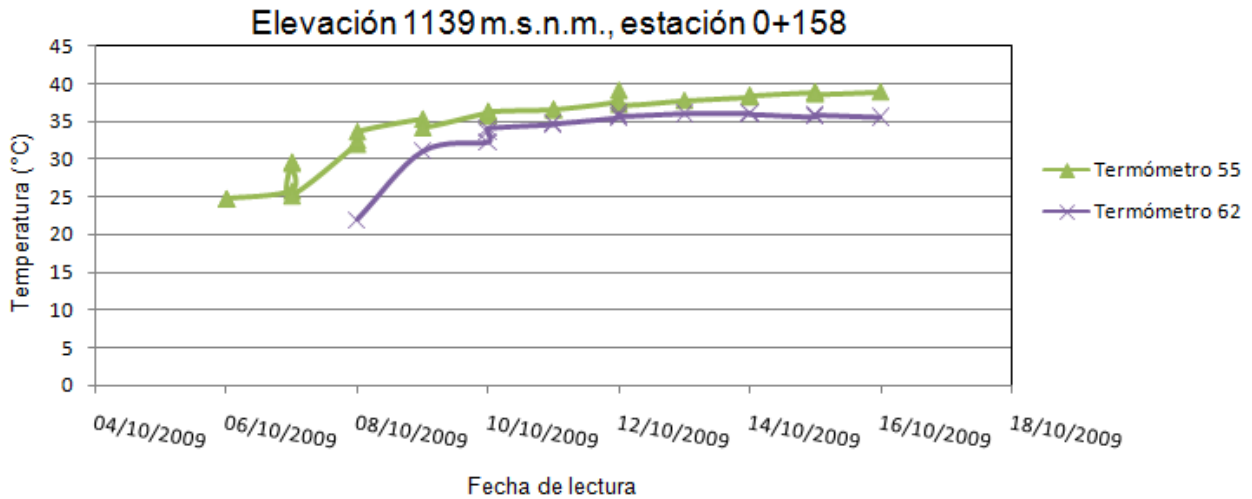


Figura 106. Temperaturas registradas por los termómetros 55 y 62, en la elevación 1139 m.s.n.m.¹

Comportamiento de los deformímetros

Los deformímetros fueron instalados con el fin de medir las deformaciones en la represa en tres direcciones diferentes. Esta convención de signos ya fue mencionada en el marco teórico.

Los deformímetros que se han instalado, se ubican básicamente en dos elevaciones, 1105 m.s.n.m. y 1123 m.s.n.m.

En el anexo 1 y 2 se encuentra el detalle de la ubicación de cada uno de los deformímetros instalados en la represa.

Comportamiento de los deformímetros instalados en la elevación 1105,3 m.s.n.m., estación 0+158.

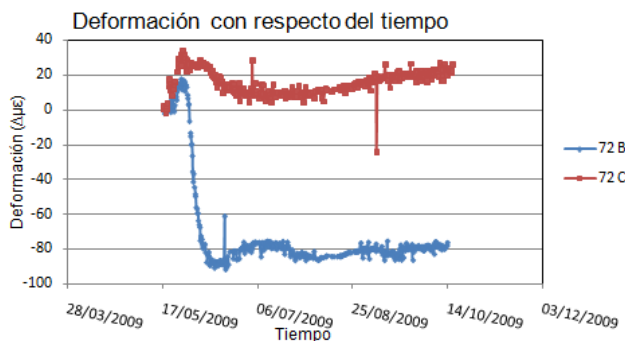


Figura 107. Comportamiento del deformímetro 72 en la orientación B y C.¹



Figura 108. Comportamiento del deformímetro 78 en la orientación A.¹

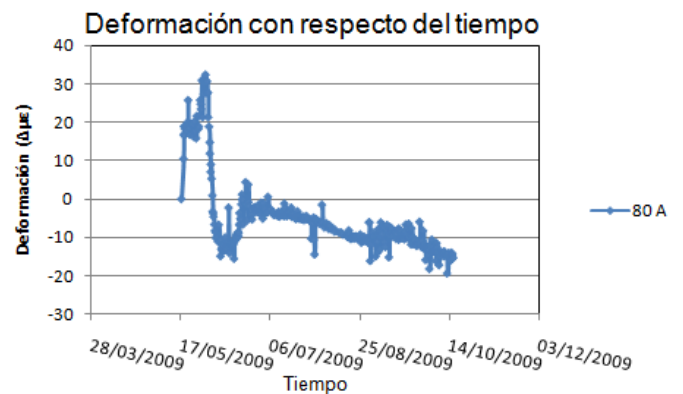


Figura 109. Comportamiento del deformímetro 80 en la orientación A.¹

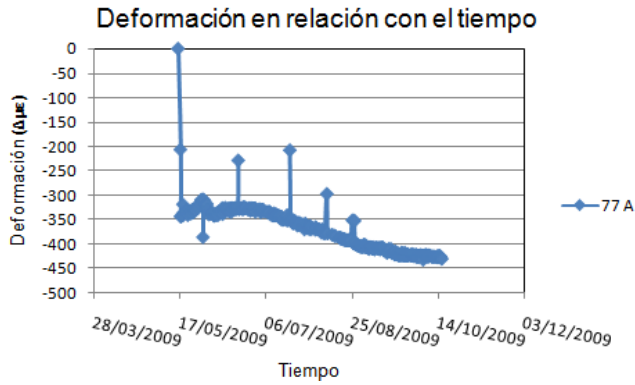


Figura 110. Comportamiento del deformímetro 77 en la orientación A-¹

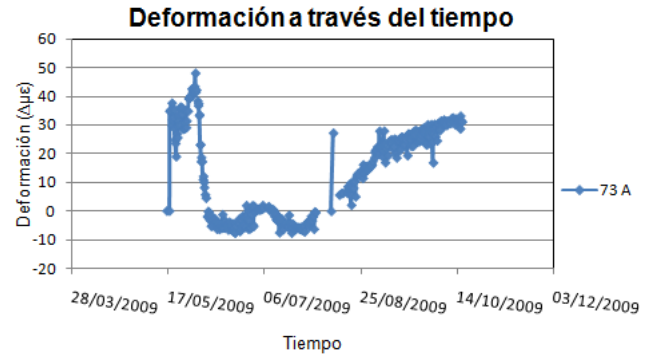


Figura 1113. Comportamiento del deformímetro 73 en la orientación A.¹

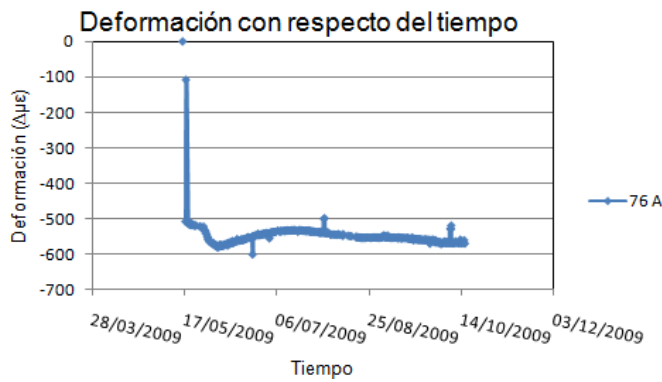


Figura 111. Comportamiento del deformímetro 76 en la orientación A.¹

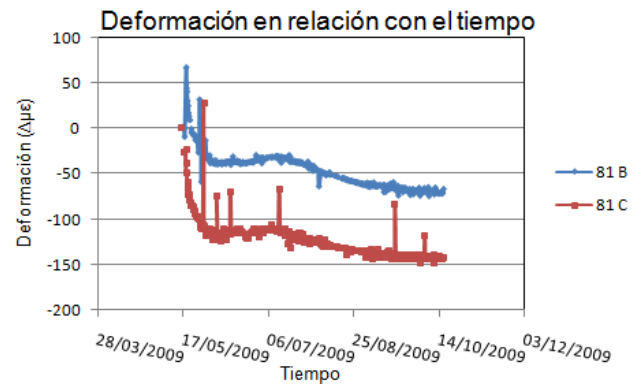


Figura 114. Comportamiento del deformímetro 81 en la orientación B y C.¹

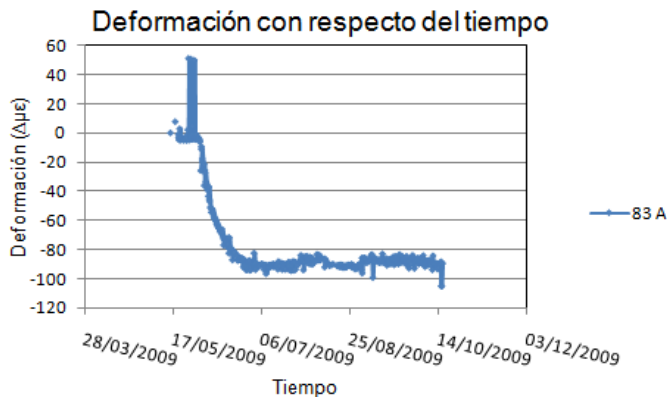


Figura 112. Comportamiento del deformímetro 83 en la orientación A.¹

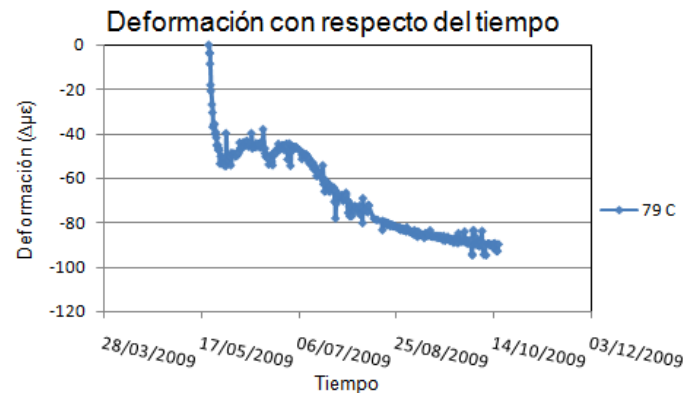


Figura 115. Comportamiento del deformímetro 79 en la orientación C.¹

Comportamiento de los deformímetros instalados cerca de la elevación 1123 m.s.n.m., estación 0+105.

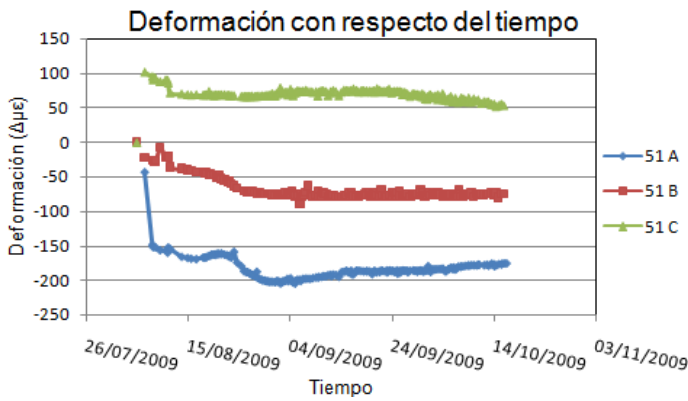


Figura 116. Comportamiento del deformímetro 51 en la orientación A, B y C.¹

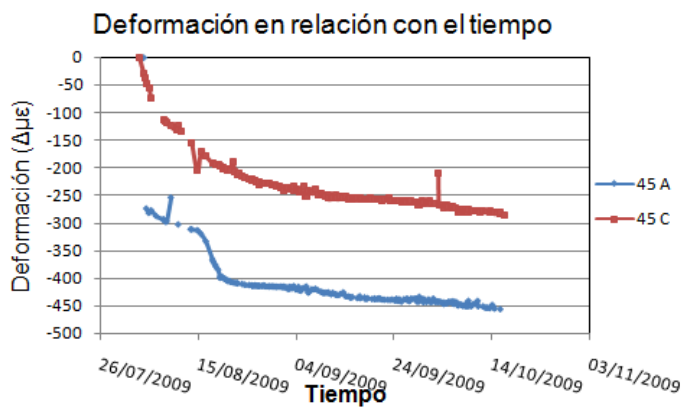


Figura 117. Comportamiento del deformímetro 45 en la orientación A y C.¹

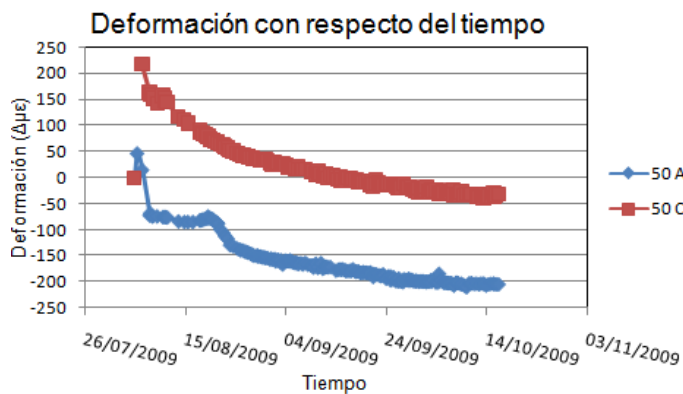


Figura 118. Comportamiento del deformímetro 50 en la orientación A y C.¹

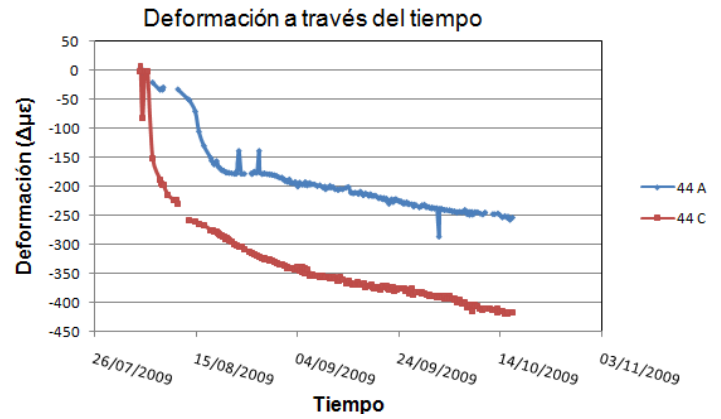


Figura 119. Comportamiento del deformímetro 44 en la orientación A y C.¹

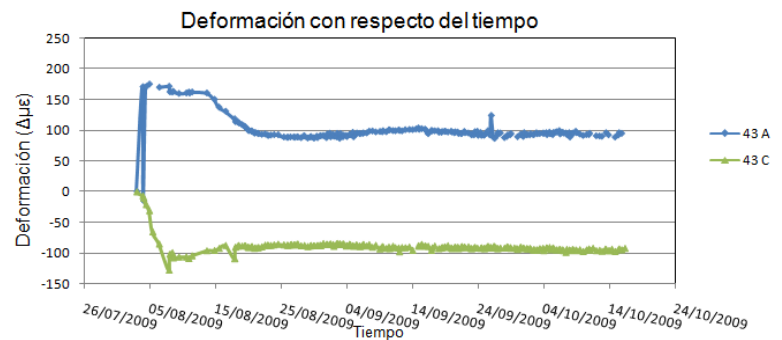


Figura 120. Comportamiento del deformímetro 43 en la orientación A y C.¹

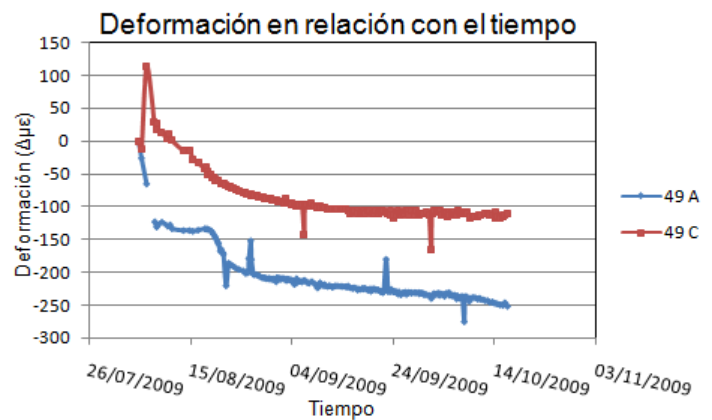


Figura 121. Comportamiento del deformímetro 49 en la orientación A y C.¹

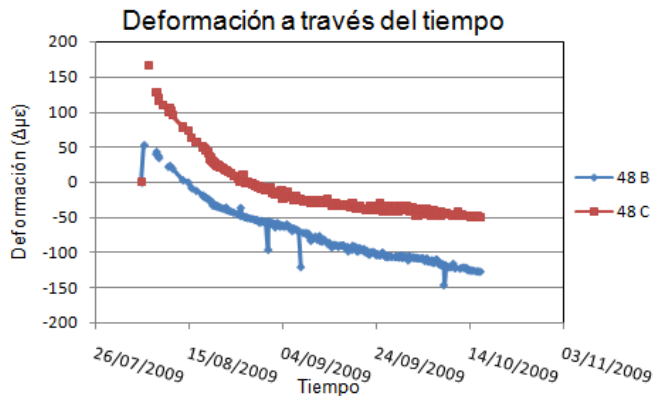


Figura 122. Comportamiento del deformímetro 48 en la orientación B y C.¹

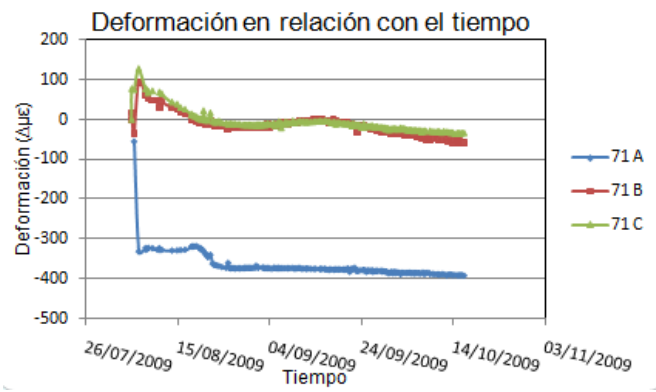


Figura 125. Comportamiento del deformímetro 71 en la orientación A, B v C.¹

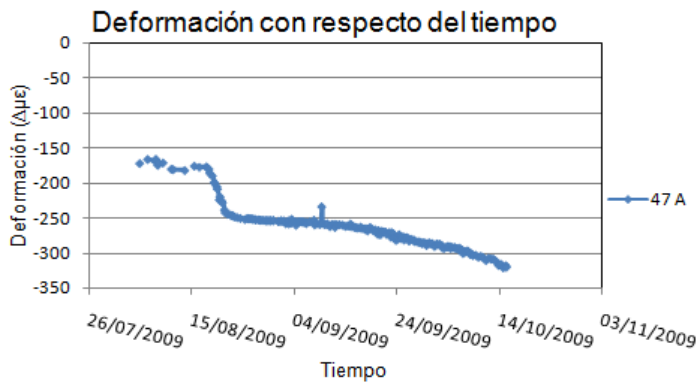


Figura 123. Comportamiento del deformímetro 47 en la orientación A.¹

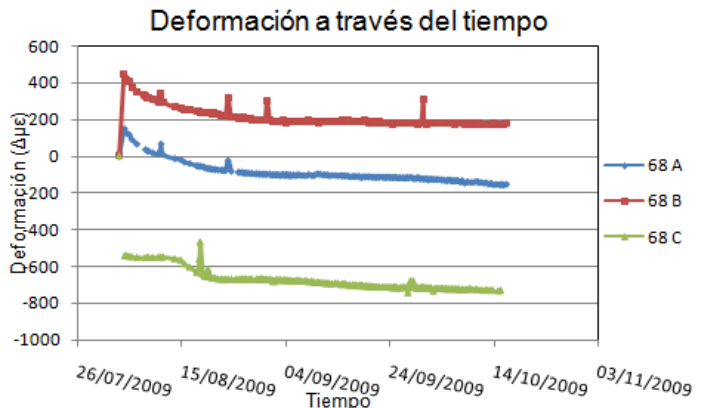


Figura 126. Comportamiento del deformímetro 68 en la orientación A, B y C.¹

Comportamiento de los deformímetros instalados cerca de la elevación 1123 m.s.n.m., estación 0+158.

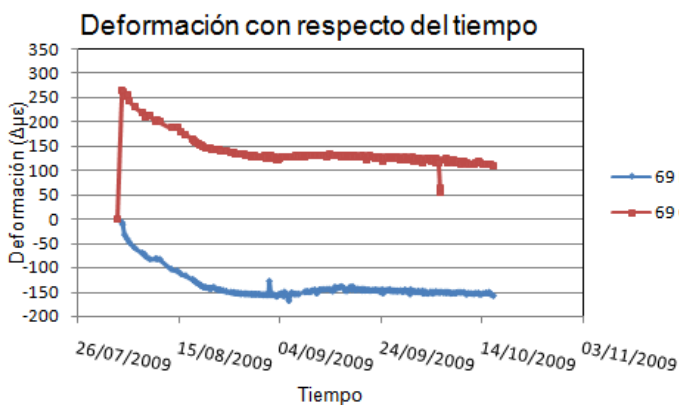


Figura 124. Comportamiento del deformímetro 69 en la orientación B y C.¹

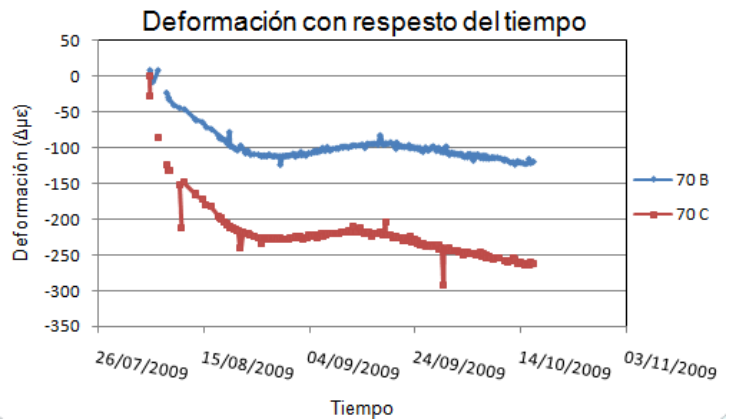


Figura 127. Comportamiento del deformímetro 70 en la orientación B y C.¹

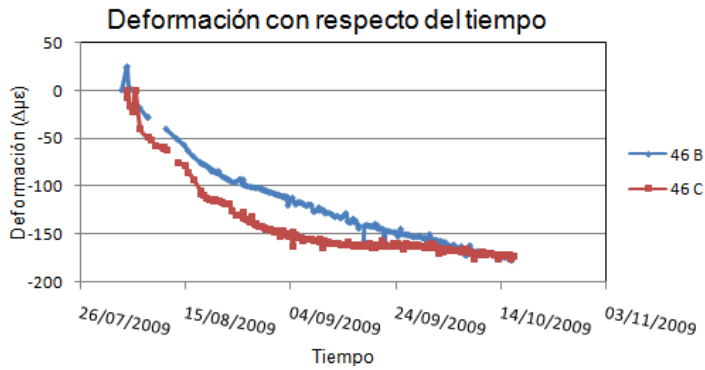


Figura 128. Comportamiento del deformímetro 46 en la orientación B y C.¹

Comportamiento y estado de los inclinómetros

Con el fin de medir y monitorear la deformación que sufrirán los macizos donde se cimentará la represa (margen izquierda y derecha), se han instalado 8 inclinómetros.

En la figura 129 se señala la ubicación de éstos. En la margen izquierda se encuentran los inclinómetros, 1, 2, 3, 4 y 6, donde aún falta por instalar el 5. Mientras que en la margen derecha se tiene el 7 y el 8.

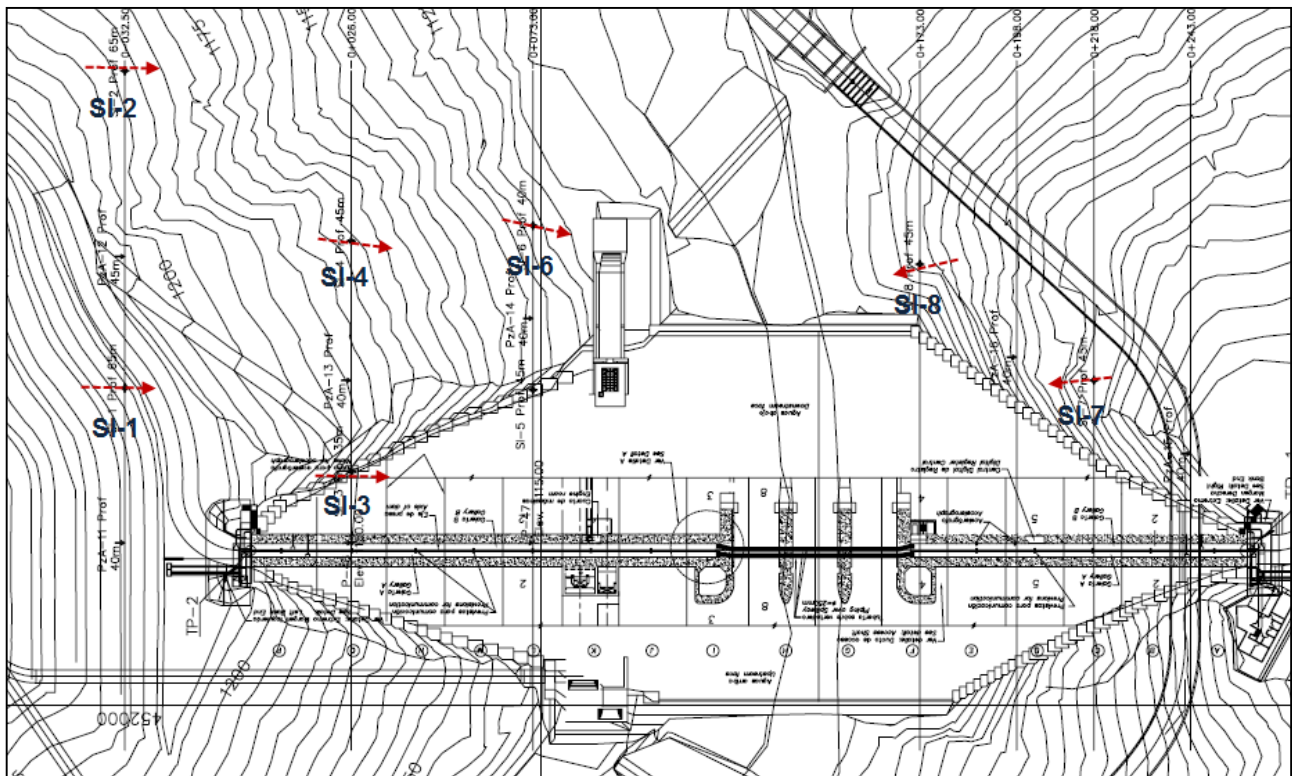


Figura 129. Ubicación de los inclinómetros instalados en las márgenes de la represa del PH Pirrís. Fuente. Emilia Ramírez

Para comprender los siguientes gráficos, es importante conocer la convención de signos con respecto de los movimientos registrados por los inclinómetros. La siguiente figura muestra la

convención de signos que se utiliza. En la figura anterior se demuestra por medio de flechas la dirección de los desplazamientos en el sentido de A+.

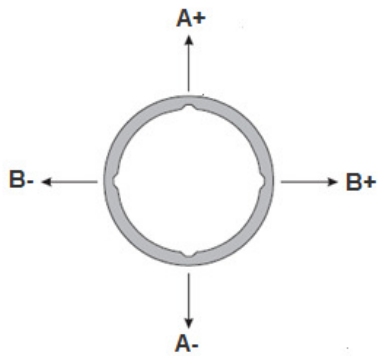


Figura 130. Convección de signos para los inclinómetros.
Fuente Autora.

Inclinómetros ubicados en la
margen izquierda.

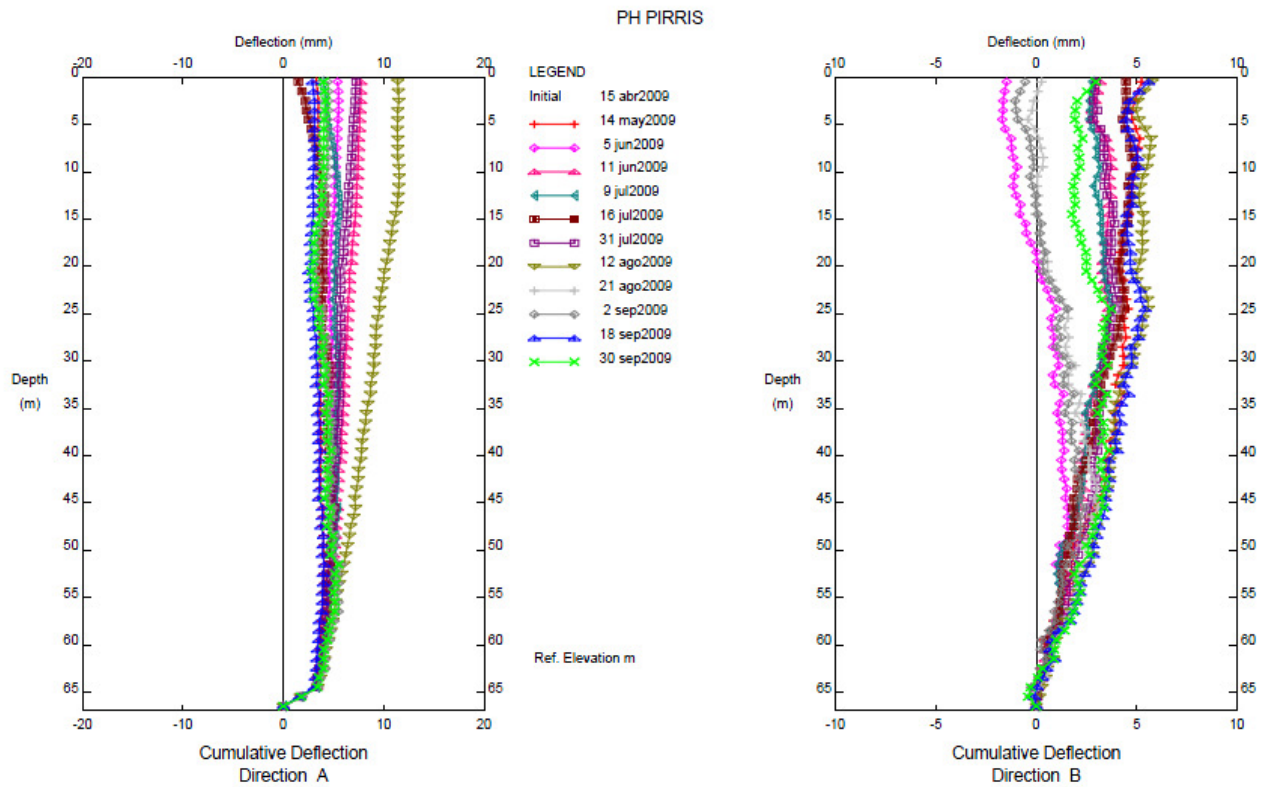


Figura 131. Comportamiento a través del tiempo registrado por del inclinómetro 1. Fuente Auscultación de Obras.

PH PIRRIS

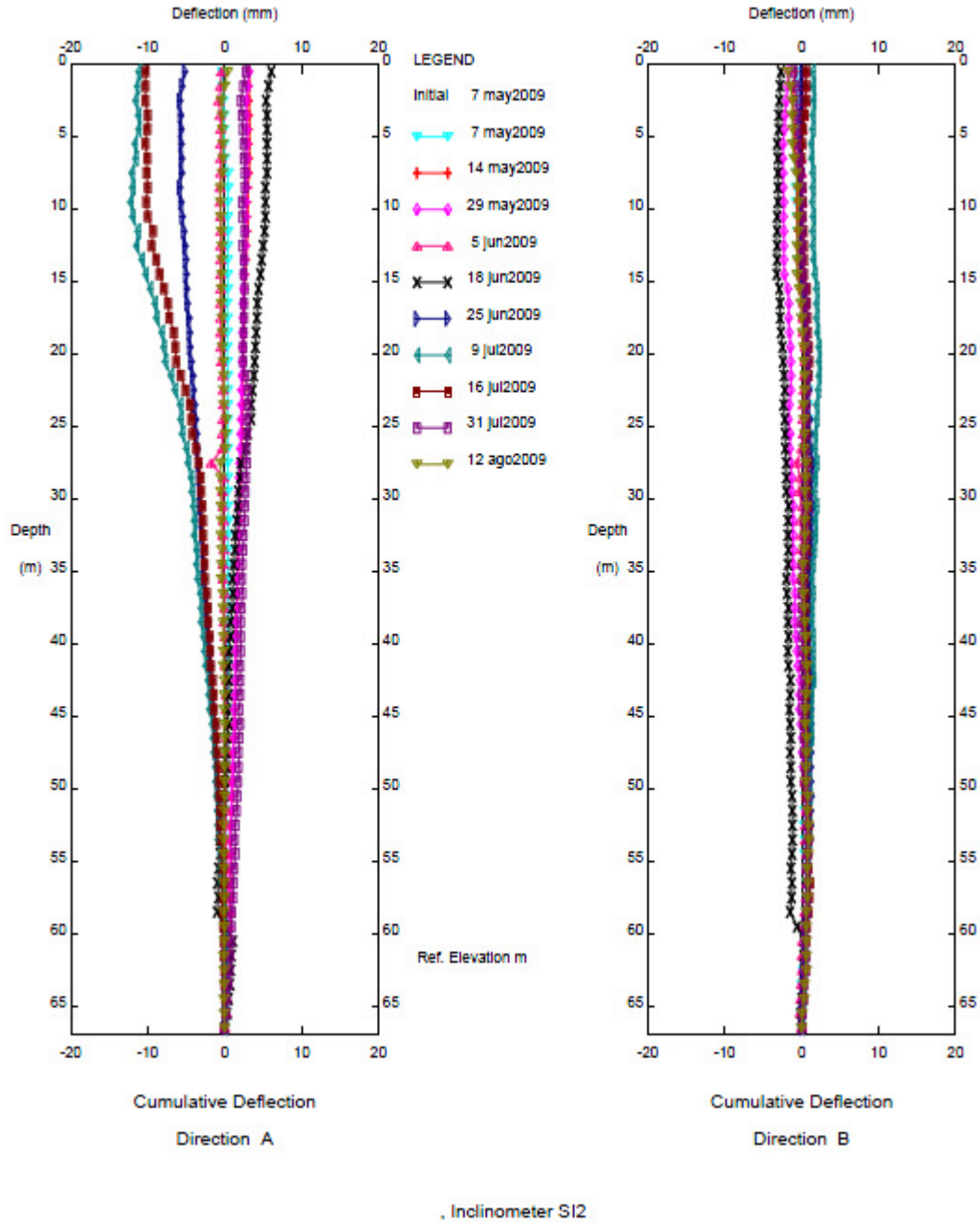


Figura 132. Inclinación del macizo reportada por el inclinómetro 2. Fuente Auscultación de Obras.

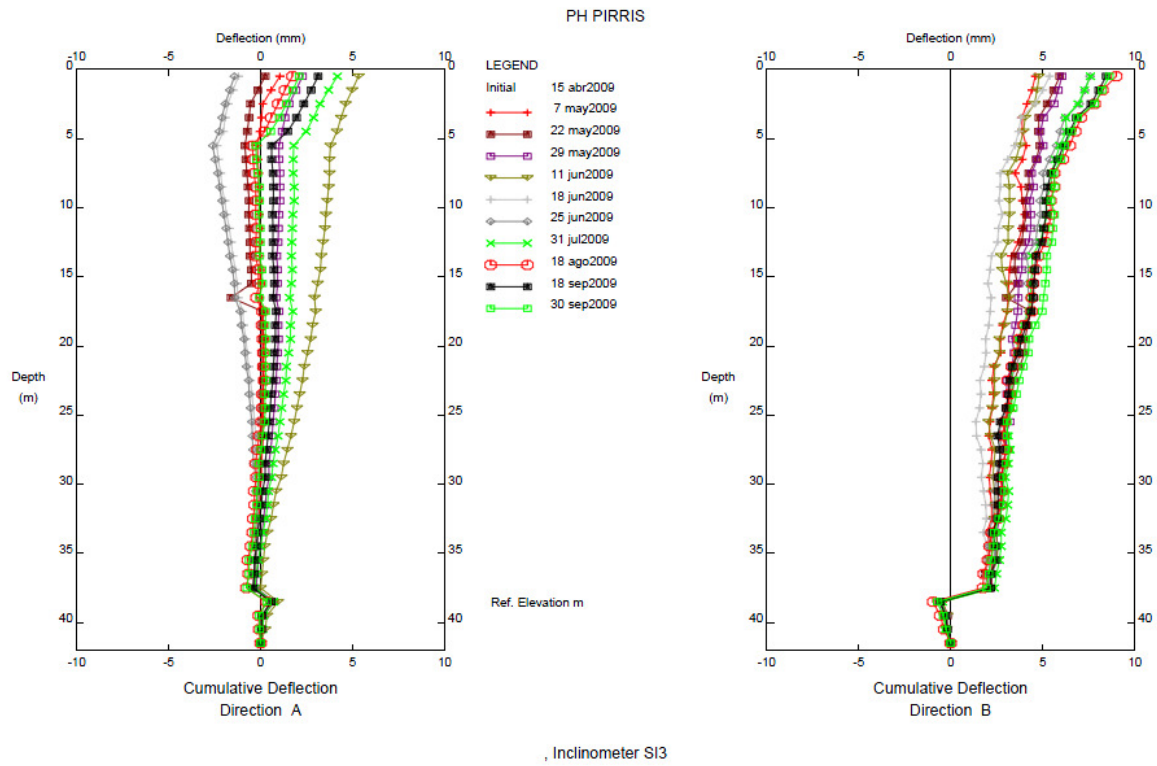


Figura 133. Comportamiento a través del tiempo del inclinómetro 3. Fuente Auscultación de Obras.

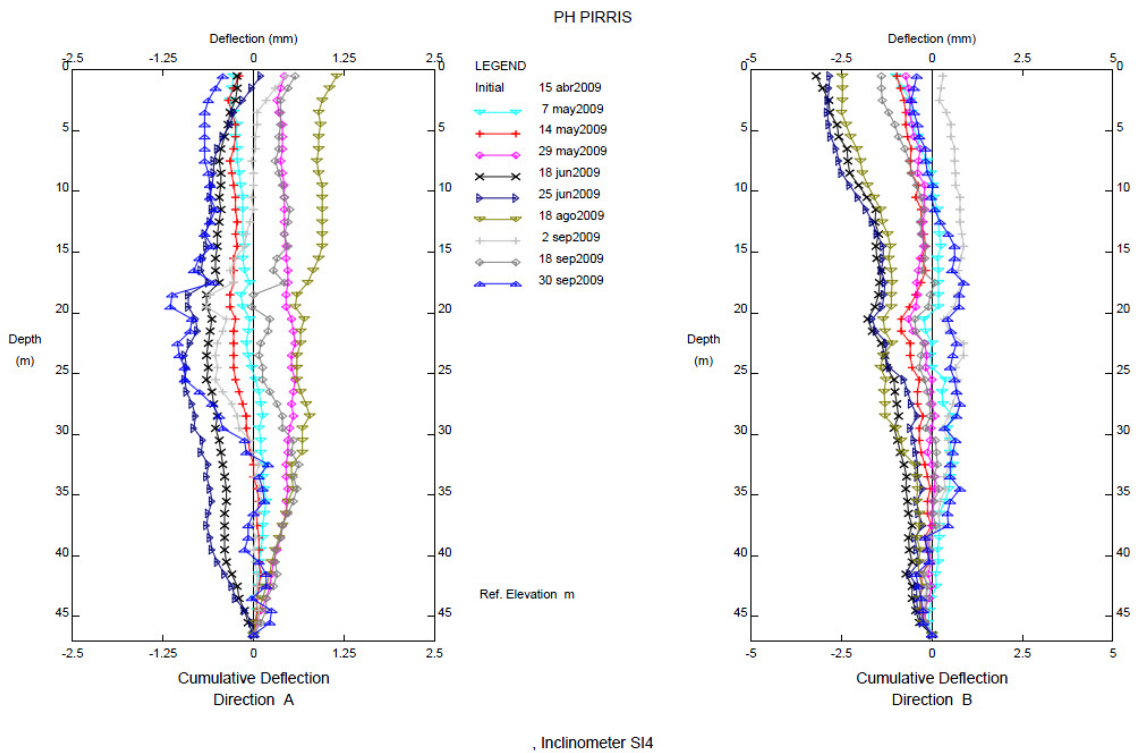


Figura 134. Inclinaciones del macizo reportadas por el inclinómetro 4. Fuente Auscultación de Obras.

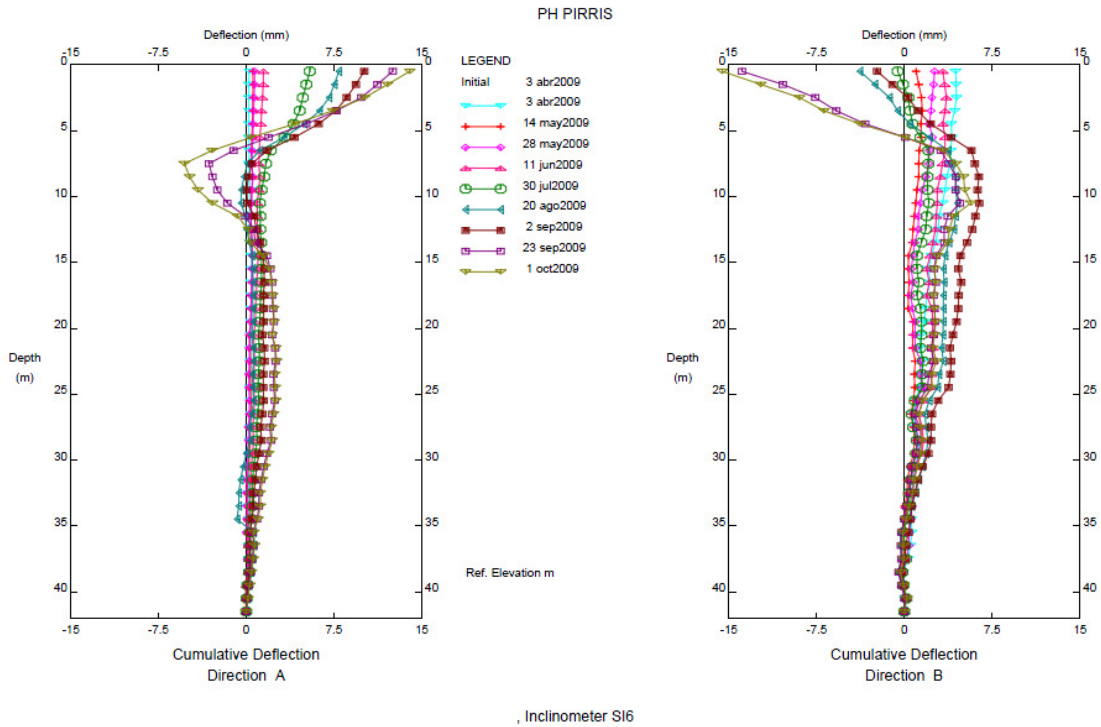


Figura 135. Comportamiento reportado por el inclinómetro 6. Fuente Auscultación de Obras.

Inclinómetros ubicados en la margen derecha.

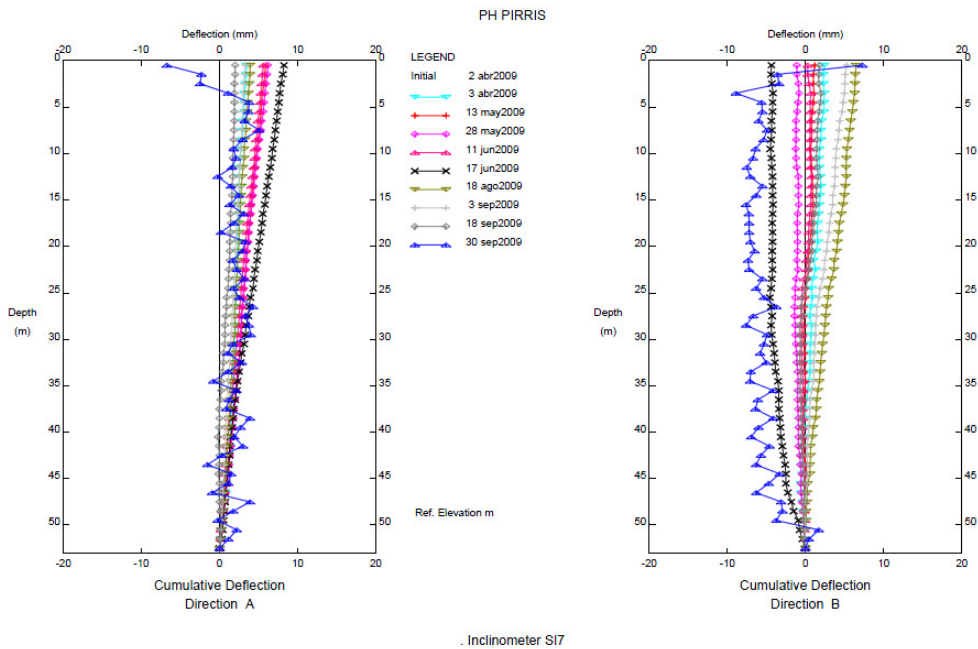


Figura 136. Inclinaciones reportadas por el inclinómetro 7. Fuente Auscultación de Obras.

PH PIRRIS

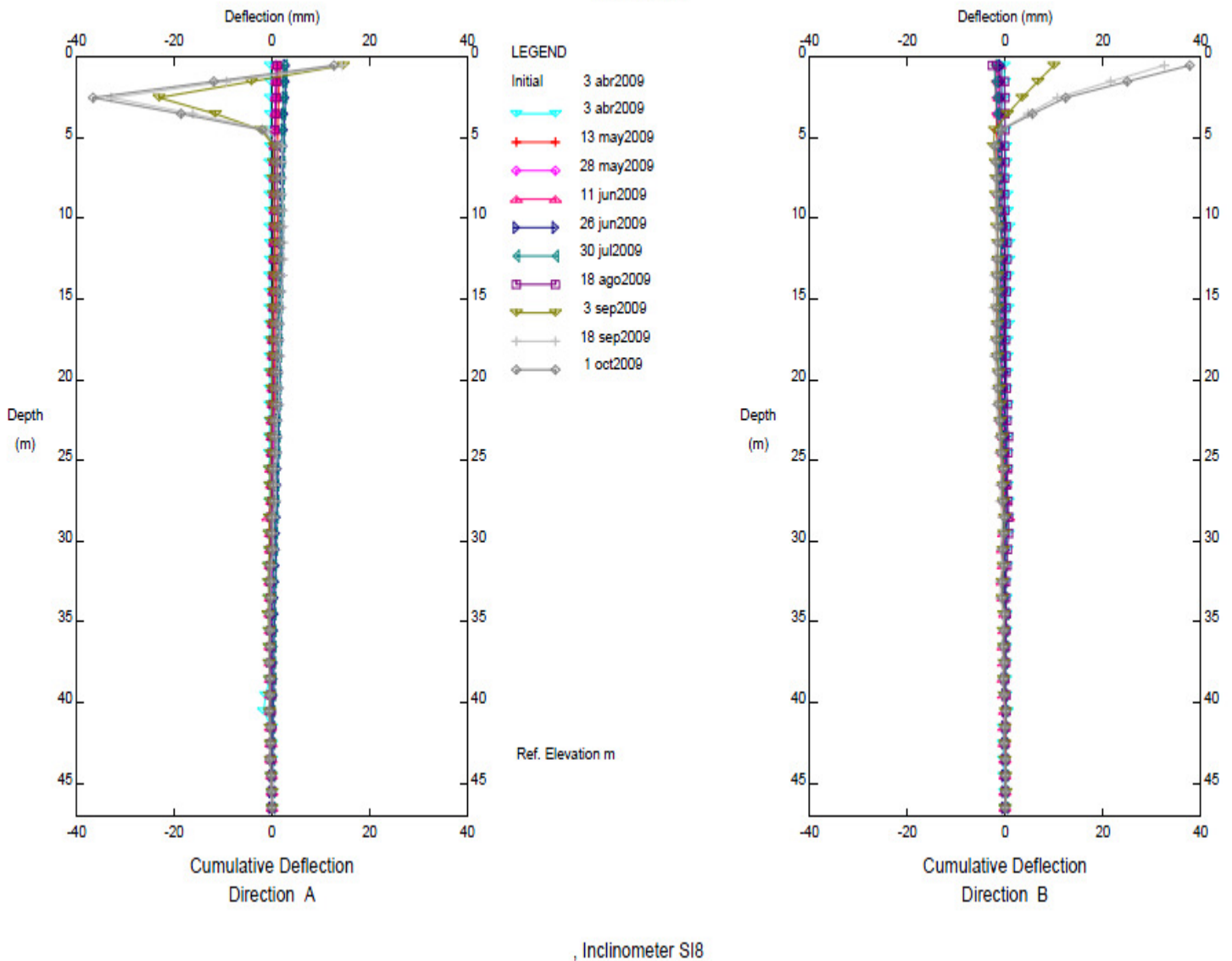


Figura 137. Comportamiento del macizo, reportado por el inclinómetro 8. Fuente Auscultación de Obras.

Comportamiento y estado de los piezómetros abiertos

Con el objetivo de medir la variación del nivel freático en las márgenes de la represa del PH

Pirris, se instalaron 6 piezómetros abiertos del tipo Casagrande. En la siguiente figura, se muestra la ubicación de cada uno de ellos. Los piezómetros 11,12, 13 y 14, se localizan en la margen izquierda, mientras que los piezómetros 15 y 16 en la margen derecha.

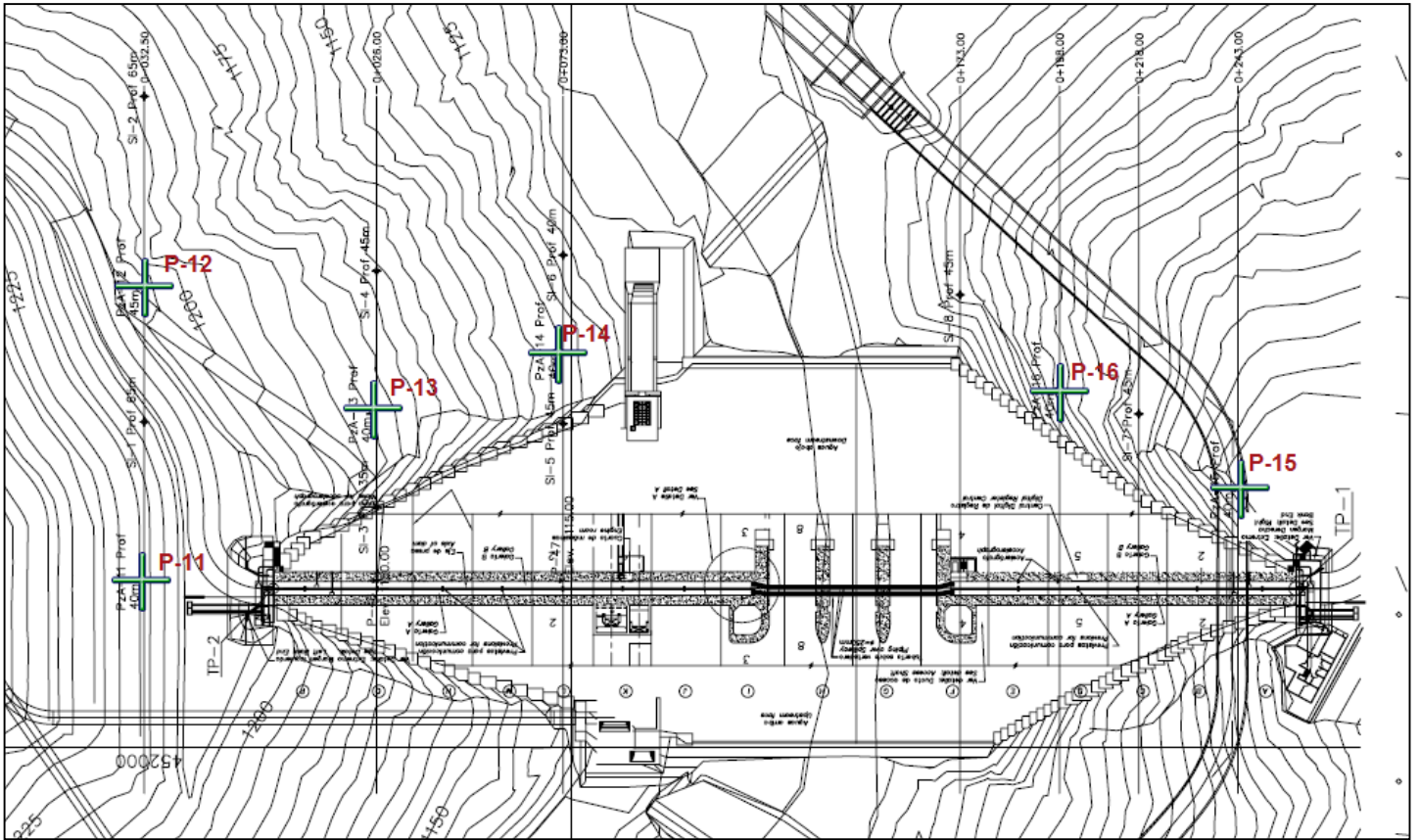


Figura 138. Ubicación de los piezómetros del tipo Casagrande en las márgenes de la represa. Fuente: Emilia Ramírez.

Piezómetros instalados en la margen izquierda



Figura 139. Variación del nivel freático, reportado por el piezómetro 11.¹

Variación del nivel freático para el piezómetro 12

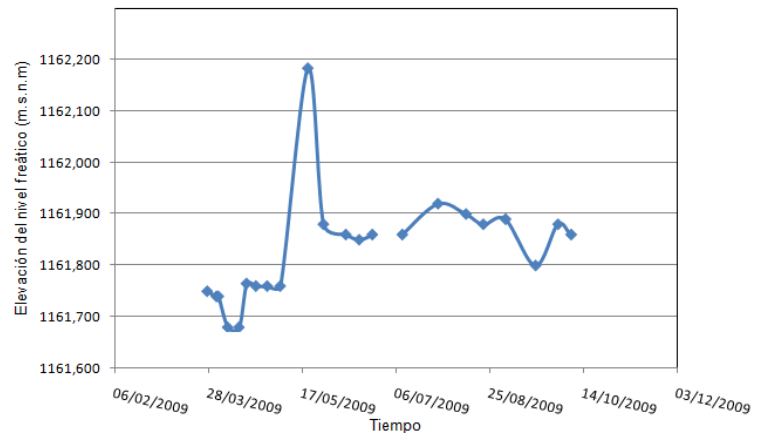


Figura 140. Nivel freático reportado por el piezómetro 12.¹

Piezómetros instalados en la margen derecha

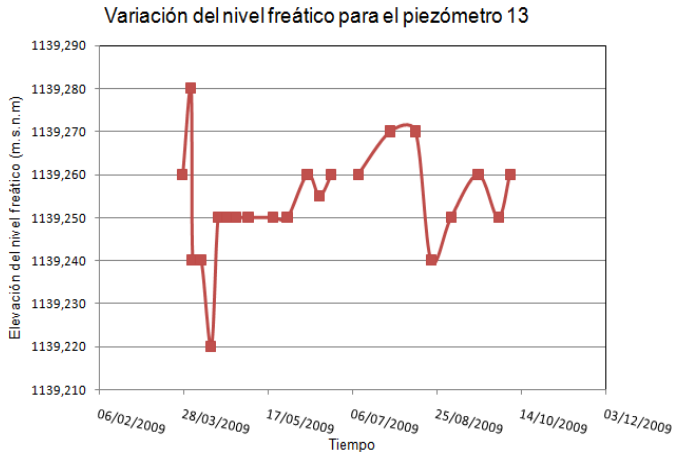


Figura 141. Nivel freático reportado por el piezómetro 13.¹

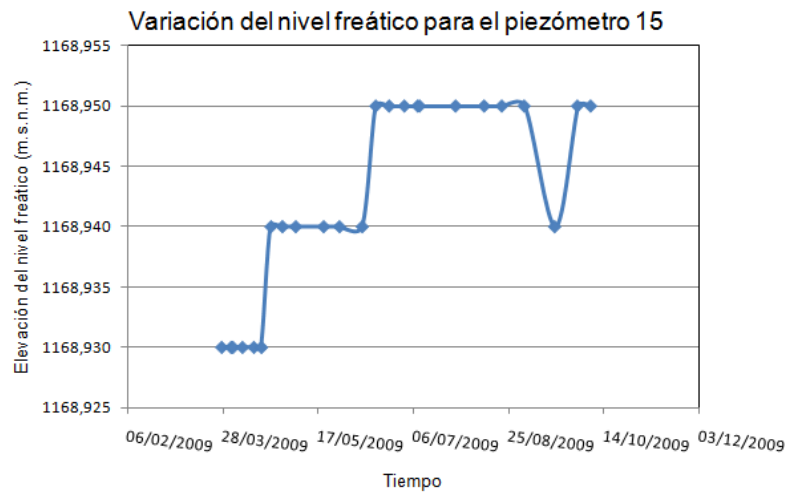


Figura 143. Niveles de agua en el terreno, monitoreados por el piezómetro 15.¹

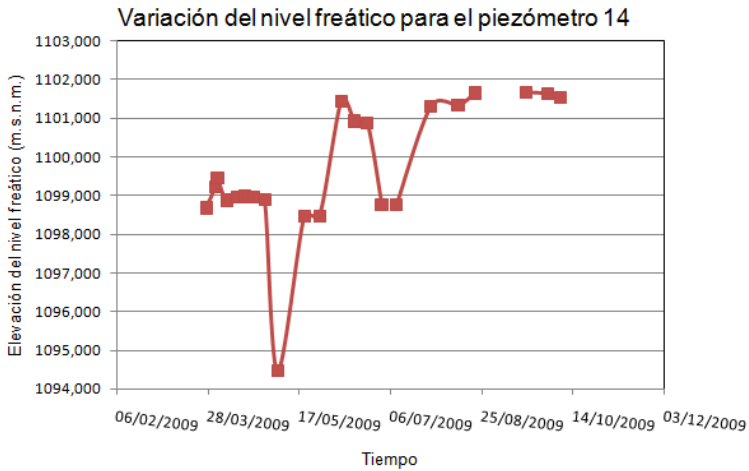


Figura 142. Niveles de agua en el macizo, monitoreados por el piezómetro 14.¹

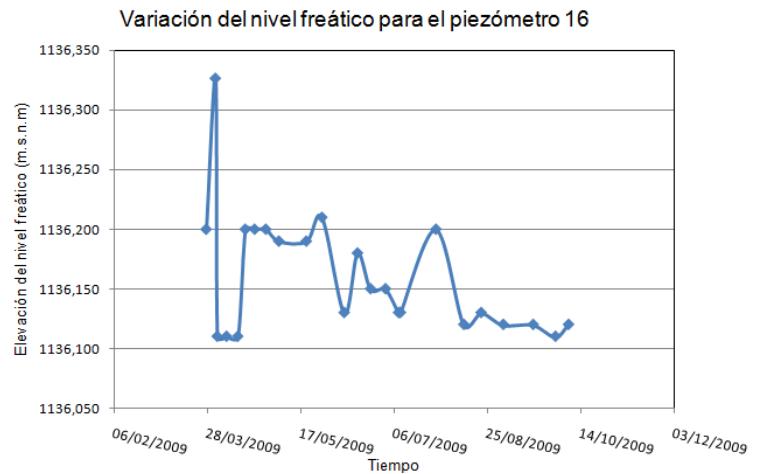


Figura 144. Comportamiento registrado por el piezómetro 16.¹

Análisis de los Resultados

Análisis de los resultados obtenidos de los piezómetros eléctricos.

Con base en los resultados obtenidos de los piezómetros eléctricos instalados en la fundación de la represa, se realizó un análisis sobre el comportamiento de la fundación, considerando periodos antes y después de iniciada la construcción de la represa.

Es importante aclarar que los piezómetros de fundación se instalaron en dos estaciones principales, la 0+105 y la 0+158.

Al analizar el comportamiento reportado en la estación 0+105, elevación 1065 m.s.n.m. (figura 58), se observa como la presión sufre una disminución desde octubre del 2008 hasta marzo del 2009 (figura 59). Una vez iniciada la construcción de la represa, en marzo del 2009, se refleja en la figura 60 un aumento progresivo de la presión en esa zona, alcanzando presiones máximas aguas arriba de la represa de aproximadamente $3,4 \text{ kg/cm}^2$, en octubre del presente año.

Siguiendo en la misma elevación, 1065 m.s.n.m., pero en la estación 0+158 (figura 61), el comportamiento fue muy similar al obtenido en la estación 0+105. En la figura 62 se observa que a pesar de que las presiones se mantienen en rangos muy constantes, hay una leve disminución de ésta. Una vez inicia la colocación de RCC, se muestra en la figura 63, como se da una elevación en la presión de poros, obteniendo presiones de hasta $3,50 \text{ kg/cm}^2$. Además, se aprecia en ambos gráficos que el piezómetro 33 muestra una anomalía en sus lecturas, hecho que aún se encuentra en investigación por sus posibles causas.

Si se analiza lo que ocurre 27 m más arriba, en la elevación 1092 m.s.n.m., estación 0+105 (figura 64), se observa que antes de iniciar con la

construcción de la represa, las presiones variaban alrededor de $0,50 \text{ kg/cm}^2$, según la figura 65; mientras que con la colocación del RCC, se presenta un aumento gradual de la presión en esos puntos de control, donde se obtienen valores de aproximadamente $0,77 \text{ kg/cm}^2$, lo cual se muestra en la figura 66.

Analizando la estación 0+158, en la misma elevación 1092 m.s.n.m., (figura 67), se nota en la figura 68 que la presión a la cual se somete la fundación en esta área se encuentra en un promedio de aproximadamente $0,40 \text{ kg/cm}^2$, lo cual empieza a aumentar de forma gradual, una vez iniciada la colocación de RCC. Esto se observa en la figura 69, donde se muestra el comportamiento mensual de los piezómetros desde abril del 2009 hasta octubre del mismo año.

En el cuerpo de represa se instalaron también algunos piezómetros eléctricos. En los siguientes párrafos, se realiza el análisis del comportamiento de éstos.

En la elevación 1105 m.s.n.m., se instalaron tres piezómetros (figura 70). En la figura 71, se observa la variación de la presión registrada en la estación 0+158. Es posible apreciar que en mayo hay una mayor presión aguas abajo de la represa, luego disminuye concentrándose aguas arriba, según lo refleja el piezómetro 25, zona que permanece muy estable en comparación con la que monitorea el piezómetro 27, donde hay variaciones desde $-0,10 \text{ kg/cm}^2$, hasta $0,10 \text{ kg/cm}^2$ aproximadamente.

En la elevación 1113,85 m.s.n.m., estación 0+073 (figura 72), según el gráfico mostrado en la figura 73, se aprecia la variación de la presión con respecto del tiempo, localizada aguas abajo, y hacia la margen izquierda de la represa, la cual varía en promedio de $0,03 \text{ kg/cm}^2$, manteniéndose prácticamente constante a través del tiempo.

Los piezómetros 11 y 12 se instalaron en la elevación 1120 m.s.n.m. (figura 74). En la figura 75 se observa que el piezómetro 11 registra valores negativos en un inicio, luego a mediados de agosto los registros en ese punto comenzaron a aumentar hasta alcanzar una presión de aproximadamente $0,07 \text{ kg/cm}^2$. En la primera semana de septiembre, se observa que comienza a descender de forma gradual pero en forma lenta, manteniéndose en un rango de 0 a $0,05 \text{ kg/cm}^2$, hasta la fecha. Al comparar el gráfico de la figura 76 con respecto del de la figura 75, se observa que las presiones tienden a ser mayores en el gráfico de la figura 76, el cual muestra los valores reportados por el piezómetro 12, ubicado a la derecha del piezómetro 11, tal y como se muestra en la figura 74. Al inicio, el piezómetro 12 reporta un descenso, hasta llegar a presiones negativas, pero para la segunda semana de agosto se da un incremento y alcanza valores de más de $0,10 \text{ kg/cm}^2$. A finales de septiembre, hubo presiones de alrededor de $0,20 \text{ kg/cm}^2$, manteniéndose estable hasta las últimas lecturas.

En la misma elevación, 1120 m.s.n.m., pero en la estación 0+158 (figura 77), se instalaron dos piezómetros aguas arriba de la represa. En la figura 78, se observa que la presión se incrementa desde principios de agosto, hasta alcanzar una máxima de aproximadamente $0,10 \text{ kg/cm}^2$. Luego se da un decrecimiento de ésta, manteniéndose constante a partir de la segunda mitad del mes de septiembre y registró valores de alrededor de $0,03 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que al analizar el piezómetro 24, se observa en la figura 79, que la presión en este punto sufre un incremento desde la segunda semana de agosto, hasta sus últimas lecturas, alcanzado valores de $0,05 \text{ kg/cm}^2$.

En la figura 80, se aprecia la instalación de seis piezómetros en tres perforaciones. Las figuras 81 y 82, muestran el comportamiento de éstos. Al realizar una comparación entre los piezómetros ubicados en la elevación 1119 m.s.n.m. y en la elevación 1136 m.s.n.m., se nota que la máxima presión de poros registrada en esa estación (0+058) se encuentra entre $0,50 \text{ kg/cm}^2$ y $0,60 \text{ kg/cm}^2$. Estos valores son registrados por los piezómetros 5 y 6.

Análisis del comportamiento térmico, registrado por los termómetros.

Al tratarse de una represa de concreto, el control térmico debe ser debidamente tratado. En el caso de la represa del PH Pirrís, como se mencionó capítulos atrás, se colocan dos tipos de mezclas (RCC-A y RCC-B). Según la composición de la mezcla, las temperaturas variaron, por ello se esperó obtener las mayores temperaturas en la zona donde se coloca la mezcla RCC-A, pues ésta contiene mayor cantidad de material cementante.

En la figura 145, se observa un aproximado de la colocación de ambos tipos de mezcla.

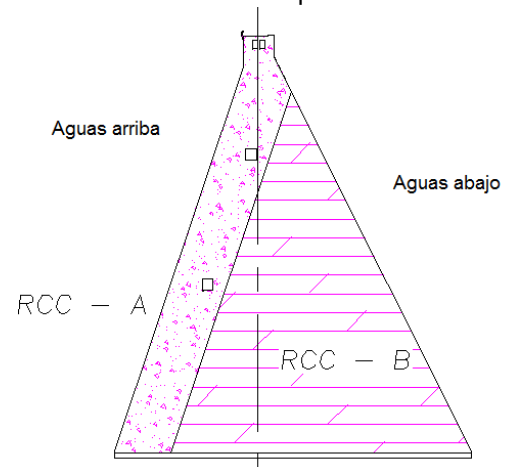


Figura 145. Ubicación de los tipos de mezcla. Fuente Autora.

Para facilitar el análisis térmico, se hará primero sobre las temperaturas registradas en la estación 0+105, y considerando los termómetros desde la elevación más baja hasta la 1140 m.s.n.m. Posteriormente se analizará la estación 0+158.

En la elevación 1101,9 m.s.n.m. se encuentran los termómetros 64 y 65. En la figura 83, se observa que la tendencia de la temperatura para esta elevación, se mantiene constante a partir de junio del presente año, con temperaturas cercanas a los $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los termómetros 62v y 63 se localizan en la elevación 1105 m.s.n.m. En la figura 84 estos termómetros muestran temperaturas constantes entre $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $35 \text{ }^\circ\text{C}$, para la elevación 1105 m.s.n.m. Éstas se registraron a partir del 26 de julio aproximadamente.

En la elevación 1113 m.s.n.m., se hayan instalados 15 termómetros. Como se puede observar en la figura 85, donde se ilustra el comportamiento de los ubicados aguas abajo, se encuentran entre 30°C y 40°C aproximadamente, mientras que los que se instalaron aguas arriba (figura 86), reportan temperaturas en un rango de 25°C y 35°C. De esta forma se verificó que las mayores temperaturas se encuentran aguas arriba.

En las figuras 87, 88 y 89 se señalan los comportamientos de tres termómetros instalados sobre el eje de represa, pero a distintas elevaciones. Todos reportan temperaturas muy cercanas a los 40 °C.

Las figuras 90 y 91 contienen las variaciones de temperaturas reportadas por los termómetros instalados en la elevación 1130 m.s.n.m. En la figura 90 se muestra el comportamiento aguas abajo de la represa se obtuvieron temperaturas entre 25°C y 40°C aproximadamente. La variación se debe a que en los extremos, la represa tiende a enfriarse más rápido, debido a la exposición de éstos a las condiciones del tiempo. Por otra parte, en figura 91 se observa el comportamiento de los termómetros aguas arriba, donde los valores térmicos, alcanzan casi los 50°C. Al igual que en la elevación 1113 m.s.n.m., se cumple el hecho de que las mayores temperaturas se encuentran aguas arriba.

De la figura 92 a la 94 se detalla el comportamiento obtenido por tres termómetros ubicados en el eje de represa, pero todos a diferentes elevaciones. Según se observa, la temperatura en el centro de la represa, se mantiene alrededor de los 40°C.

Para concluir en la estación 0+105, el termómetro 46, se encuentra instalado en la elevación 1140 m.s.n.m., aguas arriba de la represa. En la figura 95, se observa que éste reporta temperaturas mayores a los 35°C.

Como se mencionó al principio, se analizará ahora, el comportamiento térmico encontrado en la estación 0+158.

En la elevación 1101,9 m.s.n.m., se colocaron los termómetros 66 y 67, de los cuales se muestra su comportamiento en la figura 96, la cual indica que en esta zona, la temperatura varía entre los 35°C y los 40°C.

Al observar la elevación 1112 m.s.n.m., en la cual se instalaron dos termómetros aguas arriba

de la represa; se observa en la figura 97 que los reportes de ambos rondan los 43°C.

La elevación 1113 m.s.n.m. contiene cuatro termómetros, instalados aguas arriba, de los cuales se obtienen reportes de temperatura que varían entre 25°C y 43°C aproximadamente, lo cual se muestra en la figura 98.

En la figura 99 se ilustra el comportamiento obtenido de seis termómetros, los cuales se instalaron en la elevación 1119 m.s.n.m., aguas debajo de la represa. Los registros en esta zona varían entre 30°C y 40°C aproximadamente.

En las figuras 100 y 101, se reflejan las temperaturas reportadas por dos termómetros, ubicados sobre el eje de represa, pero a diferentes elevaciones. Según los gráficos se observa que las temperaturas en el centro de la represa son cercanas a los 40°C.

En la elevación 1130 m.s.n.m., se ubicaron 17 termómetros. En la figura 102 se muestran los comportamientos de los localizados aguas abajo, donde las temperaturas andan muy cerca de los 40°C. Mientras que en la figura 103 se aprecian las temperaturas registradas por los instalados aguas arriba. En esta zona se notan variaciones de temperaturas dentro de los parámetros establecidos, 40°C aproximadamente, pero si se han reportado mayores datos que las de aguas abajo.

Por último, hay cuatro termómetros instalados muy cerca del eje de represa pero en las siguientes elevaciones: 1132 m.s.n.m., 1135 m.s.n.m. y los últimos dos en la 1139 m.s.n.m. Las variaciones de temperatura reportadas por estos termómetros se muestran en las figuras 104, 105 y 106. Se observa que en promedio todos reportan temperaturas alrededor de los 40°C.

Análisis de los resultados obtenidos de los deformímetros

Los deformímetros miden las deformaciones generadas en el cuerpo de represa debido, a las diversas condiciones de carga a las cuales se encuentra sometida.

Los cambios de deformación pueden ser en compresión o en tensión.

Según la ubicación de los deformímetros en la represa del PH Pirrís, se espera que en la dirección A, ésta reporte deformaciones por compresión, mientras que en las direcciones de B y C, serían deformaciones en tensión.

A continuación se realizará el análisis de los deformímetros instalados en las cercanías de dos elevaciones, en la 1105,3 m.s.n.m. y en la 1123.

En las figuras de la 107 a la 115 se muestran los deformímetros colocados en la elevación 1105,3 m.s.n.m., estación 0+105. Según los gráficos mostrados en las figuras, se observa que esta zona de la represa se halla sometida a compresión.

Unos metros más arriba, en la elevación 1123 m.s.n.m., en la estación 0+105, se colocaron ocho deformímetros, cuyos comportamientos se ven en las figuras de la 116 a la 123. Al igual que en la elevación anterior, los gráficos muestran que la represa en esta área se encuentra casi en su totalidad sometida a esfuerzos de compresión.

En la misma elevación, 1123 m.s.n.m., pero en la estación 0+158, se instalaron cinco deformímetros, ubicando los sensores en las direcciones predeterminadas. Según las figuras de la 124 a la 128 estos muestran que esta zona, se encuentra sometida tanto a esfuerzos en tensión como en compresión.

Análisis del comportamiento registrado por los inclinómetros.

En las márgenes de la represa se han instalado seis inclinómetros, cuatro en la margen izquierda y dos en la margen derecha.

En los siguientes párrafos, se analizará el comportamiento de las márgenes registrada por los inclinómetros.

En la figura 131 se muestra el gráfico de la inclinación registrada por el instrumento 1, ubicado en la margen izquierda. Éste muestra que a partir de los 60m de profundidad hacia la superficie, hay una tendencia de desplazamiento hacia la represa en un promedio de aproximadamente 5mm. Lo mismo sucede si se observa el comportamiento en el gráfico de la derecha, donde el desplazamiento se da en la

magnitud de 5mm, pero en dirección aguas arriba.

El comportamiento del inclinómetro 2 en la margen izquierda se observa en la figura 132. En el gráfico de la izquierda, se muestra mucha dispersión en las lecturas, las cuales pueden ser causadas por un error humano en el momento de la medición. Pero a pesar de esto las últimas lecturas se mantienen estables. Por otra parte, se aprecia en el gráfico de la derecha se pueda decir que el macizo no ha sufrido movimientos.

En la figura 133, se señala el comportamiento del inclinómetro 3, ubicado en la margen izquierda, el comportamiento, el cual, se muestra estable desde la elevación, 1.173,25 m.s.n.m., hasta la elevación 1.142,98 m.s.n.m. A partir de ahí, aparentemente el instrumento sufre una tendencia hacia el río, con desplazamientos de aproximadamente 4 mm de magnitud en promedio. En el gráfico de la derecha, se observa que a partir de los 38 m de profundidad hacia la superficie, existe una clara tendencia del desplazamiento hacia aguas arriba con magnitudes del orden de los 6 mm.

El inclinómetro 4 se instaló en la margen izquierda y su comportamiento se muestra en la figura 134, en la cual se observa en el gráfico de la izquierda que el instrumento, no tiene una tendencia definida, por ello se puede decir que no hay movimiento. Mientras que en el gráfico de la derecha se puede apreciar, que éste se desplaza en la dirección aguas abajo desde los 40 m de profundidad hasta la superficie en magnitudes de 2 mm.

El último de los inclinómetros instalado en la margen derecha en funcionamiento, es el número 6. En la figura 135 se muestra el comportamiento de este instrumento. Para este inclinómetro, el desplazamiento que se registra a partir del 30 de junio, puede estar asociado más que a un movimiento natural del terreno, a los rellenos o acumulación de material para construir la rampa de acceso del colocado del RCC.

En la figura 136, se observa el comportamiento del inclinómetro 7, el cual se encuentra instalado en la margen derecha. En la figura se aprecia que este instrumento desde abril hasta setiembre la tendencia del desplazamiento es hacia el río, con magnitudes del orden de 5 mm, pero esa tendencia se termina o cambia a

partir del 30 de setiembre. Esto podría asociarse a la colocación del RCC.

Por último, el inclinómetro 8, se ubicado en la margen derecha. El comportamiento de este instrumento se muestra en la figura 137. Al igual que el inclinómetro 6, se vio afectado por la colocación de material para la construcción de la rampa. Además es importante aclarar que tanto el inclinómetro 6 como el 7, quedaron a un nivel inferior de la rampa, por lo tanto, los datos que registran los inclinómetros, posiblemente no reflejen el movimiento natural del terreno, mas bien se deban los esfuerzos generados por la construcción de la rampa.

Análisis del nivel freático en las márgenes de la Represa

En las márgenes de la represa se instalaron seis piezómetros abiertos, su distribución se muestra en la figura 138.

En la figura 139, se ilustra el comportamiento del piezómetro 11, el cual muestra la variación del nivel freático reportado por el instrumento, ubicado en la margen izquierda. Su elevación llega a los 1180,67 m.s.n.m. Aquí se observa un aumento progresivo del nivel de agua a través del tiempo, debido a que en los últimos meses la intensidad de lluvia aumentó.

El comportamiento del piezómetro 12, el cual se ubica en la margen derecha, se observa en la figura 140. Este piezómetro tiene una profundidad de 44,50 m, llegando a la elevación 1161,46 m.s.n.m., en el fondo de la perforación. Se nota que el mayor nivel de agua alcanzado en esta área, fue para mediados de mayo. Luego se ve un descenso en el nivel freático, manteniéndose más o menos constante en las últimas lecturas. Éstas fueron realizadas en octubre.

El piezómetro 13 se encuentra localizado en la margen izquierda, su comportamiento se observa en el gráfico de la figura 141. El piezómetro 13 tiene una profundidad que llega a los 1139,26 m.s.n.m. Muestra una variación en el nivel freático muy inestable, a excepción de las primeras semanas de mayo, donde se mantiene constante, debido a que en ese mes las precipitaciones fueron bajas, por lo tanto, no hubo

un incremento importante en los niveles de agua subterránea.

En la figura 142, se observa el comportamiento del piezómetro 14. Su elevación desciende hasta los 1093,68 m.s.n.m. Los niveles de agua en este punto de control son muy variables, pero en general, contemplan una tendencia a aumentar en las últimas semanas, debido al incremento de la intensidad lluviosa típica de la estación climática.

El comportamiento del piezómetro 15 se muestra en la figura 143. La profundidad de éste llega a los 1168,95 m.s.n.m. Se observa en la figura, que los niveles de agua en este punto tienden a ser constantes por periodos, producto de los cambios estacionarios, propios del clima de Costa Rica.

El piezómetro 16, se localiza en la margen derecha, y su comportamiento se observa en la figura 144. Su profundidad llega a los 1115,55 m.s.n.m. Se muestra en el gráfico que a pesar que el nivel de agua es muy variable, tiende a descender en las últimas semanas.

Conclusiones

Los siguientes puntos corresponden a las conclusiones obtenidas de la elaboración del presente proyecto.

- A partir de la información brindada y las visitas de campo, se logró procesar la información en una base de datos del tipo relacional, la cual permite mostrar la información de una manera más ordenada para ser analizada e interpretada.
- Con la conexión de la base de datos, creada en Microsoft Access con Microsoft Excel, se logran relacionar ciertos parámetros importantes que permiten realizar los gráficos que reflejan el comportamiento de la represa.
- Con respecto de las presiones registradas por los piezómetros eléctricos, tanto los de fundación como los instalados en el cuerpo de represa, se observa que la presión de poros aumenta en forma gradual conforme pasa el tiempo, debido a que en el proceso constructivo, produce un confinamiento tanto en la fundación, como en el cuerpo de represa, evita que el agua drene de forma continua, por ello aumenta la presión de poros.
- Según las temperaturas registradas por los termómetros instalados en la represa, se puede concluir que, los valores son muy similares a los establecidos en el modelo térmico. Se obtuvieron así las máximas temperaturas en la zona donde se coloca el tipo de mezcla RCC-A, como es lo esperado.
- En el caso de los deformímetros, según los gráficos y la convención de signos establecida, se observa que, por lo general y especialmente en la dirección de A (ver figura 47), los cambios de deformación, señalen compresiones en el cuerpo de represa. Esto debido a que la dirección, corresponde a la dirección en la que se coloca el RCC, generando así compresiones.
- Según la información reportada por los inclinómetros, se observa que los macizos que componen las márgenes de la represa, tienden a inclinarse en la dirección de A+, o lo que es igual, hacia el cuerpo de represa. Aunque los movimientos reportados están en su mayoría, dentro del grado de error del instrumento. Estos instrumentos mostraran mayores desplazamientos, una vez llenado el embalse, debido a la presión hidrostática sobre las márgenes.
- En lo que concierne a los niveles freáticos encontrados en las márgenes de la estructura, se observa que a pesar de que las precipitaciones en los primeros meses del año fueron muy bajas, éstos tienden a aumentar con el tiempo, debido a los trabajos que se realizaran para la construcción de la represa.

Recomendaciones

Las siguientes son algunas recomendaciones que deben seguirse tanto en el uso de esta base de datos, como en la recolección de éstos.

- En el momento de realizar las lecturas a los instrumentos se recomienda ser ordenado para que la información que se introduce en la base de datos, sea la más confiable posible.
- En el llenado de la base de datos, es preferible contar con una persona capacitada en el tema de instrumentación y bases de datos, que le dé seguimiento adecuado y si es necesario realizar los respectivos cambios para mejorar la base de datos.
- Como recomendación se sugiere en la medida posible, acondicionar las galerías, de tal forma que se inicie con la instalación eléctrica adecuada, para así buscar la posibilidad de instalar “dataloggers”, con el fin de agilizar la recolección de lecturas. Con esto se facilita la extracción de los datos, además que se evita cometer errores humanos en las lecturas.
- Dar mantenimiento y limpieza a la base de datos, de tal manera que se mejore el funcionamiento de ésta.

Anexos

Los siguientes son los anexos utilizados en desarrollo del proyecto:

- Anexo 1. Instrumentos Instalados en la represa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, según la información brindada por el Equipo de Auscultación de Obras del ICE.
- Anexo 2. Ubicación de los instrumentos instalados por estación. Planos realizados por la dibujante del ICE Emilia Ramírez.

Referencias

- Piedra, J et al. 2002. **Modelo Geológico – Geotécnico. Diseño final.** Volumen 2. ICE UEN Proyectos y Servicios Asociados.
- Tapia, M. Apuntes del curso Procesos Constructivos. I semestre 2009.
- Pérez, Ángel. **Reflexiones sobre la instrumentación de represas. Instrumentación automática. Enfoque actual en España.** http://ropdigital.ciccp.es/public/de_talle_articulo.php?registro=5877
- Londoño, C. 1992. **Represas de Concreto Compactado con Rodillo.** http://www.ficem.org/site/media/REP_RESAS%20DE%20CONCRETO%20COMPACTADO%20CON%20RODILLO.pdf
- Santaella, L. 1999. **Comentarios sobre el Concreto Compactado con Rodillo (CCR).** <http://www.umng.edu.co/www/resources/8n1art1-pdf>
- Slope Indicator. <http://www.slopeindicator.com/>
- Moreno, G. et al. http://www.cuerda_vibrante.blogspot.com/
- Geokon. http://www.geokon.com/products/inclinometers_probes.php.
- **Diseño de base de datos.** <http://office.microsoft.com/es-es/access/CH100645693082.aspx>

Anexo 1. Instrumentos instalados en la presa del PH Pirrís.

CUADRO. INSTRUMENTOS INSTALADOS AL 27 DE OCTUBRE DEL 2009

Nombre	Tipo	Elevación	Norte	Este	Ubicación Eje Presa	Estación	Fecha y Hora de Instalación
SI-1	Inclinómetro	1207,46	399092,28	451915,9	44,105	0-033,50	
SI-2	Inclinómetro	1193,58	399092,28	451836	124	0-033,50	
SI-3	Inclinómetro	1173	399150,95	451939,5	20,5	0+025,17	
SI-4	Inclinómetro	1164,42	399150,95	451880	80	0+025,17	
SI-6	Inclinómetro	1122,64	399197,95	451876	84	0+072,17	
SI-7	Inclinómetro	1121,26	399291,28	451886	74	0+165,50	
SI-8	Inclinómetro	1180,46	399342,78	451916	44	0+217,00	
PZA-11	Piezómetro abierto	1220,45	399092,28	451958	2	0-033,50	
PZA-12	Piezómetro abierto	1205,96	399092,28	451888	72	0-033,50	
PZA-13	Piezómetro abierto	1178,86	399150,95	451916	44	0+025,17	
PZA-14	Piezómetro abierto	1133,05	399197,95	451900	60	0+072,17	
PZA-15	Piezómetro abierto	1208,35	399367,78	451932	28	0+242,00	
PZA-16	Piezómetro abierto	1154,24	399332,63	451914,85	45,147	0+206,85	
PZ-3	Piezómetro eléctrico	1136	399183,78	451978	-18	0+058	12/10/2009
PZ-4	Piezómetro eléctrico	1119	399183,78	451978	-18	0+058	09/10/2009
PZ-5	Piezómetro eléctrico	1136	399183,78	451954	6	0+058	15/10/2009
PZ-6	Piezómetro eléctrico	1119	399183,78	451954	6	0+058	14/10/2009
PZ-7	Piezómetro eléctrico	1136	399183,78	451932	28	0+058	15/10/2009
PZ-8	Piezómetro eléctrico	1119	399183,78	451932	28	0+058	14/10/2009
PZ-11	Piezómetro eléctrico	1123,25	399230,78	451985,01	-25,01	0+105	02/08/2009
PZ-12	Piezómetro eléctrico	1122,99	399230,73	451969,06	-9,06	0+105	02/08/2009
PZ-13	Piezómetro eléctrico	1092	399231,78	451913,52	46,98	0+105	08/10/2008
PZ-14	Piezómetro eléctrico	1065	399231,78	451991,9	-31,91	0+105	02/10/2008
PZ-15	Piezómetro eléctrico	1092	399231,78	451970	-10	0+105	08/10/2008
PZ-16	Piezómetro eléctrico	1065	399231,78	451970	-10	0+105	02/10/2008
PZ-17	Piezómetro	1092	399231,78	451931,14	28,56	0+105	08/10/2008

	eléctrico						
PZ-18	Piezómetro eléctrico	1065	399231,78	451931,14	28,56	0+105	01/10/2008
PZ-19	Piezómetro eléctrico	1092	399231,78	451991,9	-31,91	0+105	09/10/2008
PZ-20	Piezómetro eléctrico	1065	399231,78	451913,52	46,48	0+105	01/10/2008
PZ-23	Piezómetro eléctrico	1123,075	399283,78	451985,96	-25,96	0+158	02/08/2009
PZ-24	Piezómetro eléctrico	1122,85	399283,69	451972,04	-12,04	0+158	02/08/2009
PZ-25	Piezómetro eléctrico	1105	399283,78	451991	-31	0+158	01/05/2009
PZ-26	Piezómetro eléctrico	1105	399283,78	451960	0	0+158	01/05/2009
PZ-27	Piezómetro eléctrico	1105	399283,78	451927,33	32,67	0+158	01/05/2009
PZ-28	Piezómetro eléctrico	1092	399283,63	451994,69	-34,69	0+158	22/10/2008
PZ-29	Piezómetro eléctrico	1065	399283,63	451994,69	-34,69	0+158	14/10/2008
PZ-30	Piezómetro eléctrico	1092	399283,66	451970	-10	0+158	16/10/2008
PZ-31	Piezómetro eléctrico	1065	399283,66	451970	-10	0+158	14/10/2008
PZ-32	Piezómetro eléctrico	1092	399283,64	451928,35	31,65	0+158	14/10/2008
PZ-33	Piezómetro eléctrico	1065	399283,64	451928,35	31,65	0+158	11/10/2008
PZ-34	Piezómetro eléctrico	1092	399283,76	451909,2	50,8	0+158	09/10/2008
PZ-35	Piezómetro eléctrico	1065	399283,76	451909,2	50,8	0+158	21/06/2008
PZ-47	Piezómetro eléctrico	1113,85	399196,45	451958	2	0+073.00	01/10/2009
TS-43	Deformímetro	1123,15	399230,73	451988,93	-28,93	0+105	02/08/2009
TS-44	Deformímetro	1123,13	399230,83	451982,97	-22,97	0+105	02/08/2009
TS-45	Deformímetro	1123,08	399230,72	451972,99	-12,99	0+105	02/08/2009
TS-46	Deformímetro	1123,93	399230,63	451962,94	-2,937	0+105	02/08/2009
TS-47	Deformímetro	1123,44	399230,73	451952,99	7,01	0+105	04/08/2009
TS-48	Deformímetro	1123,35	399230,7	451943,48	16,52	0+105	04/08/2009
TS-49	Deformímetro	1123,21	399230,71	451933,49	26,51	0+105	04/08/2009
TS-50	Deformímetro	1123,08	399230,77	451922,86	37,14	0+105	04/08/2009

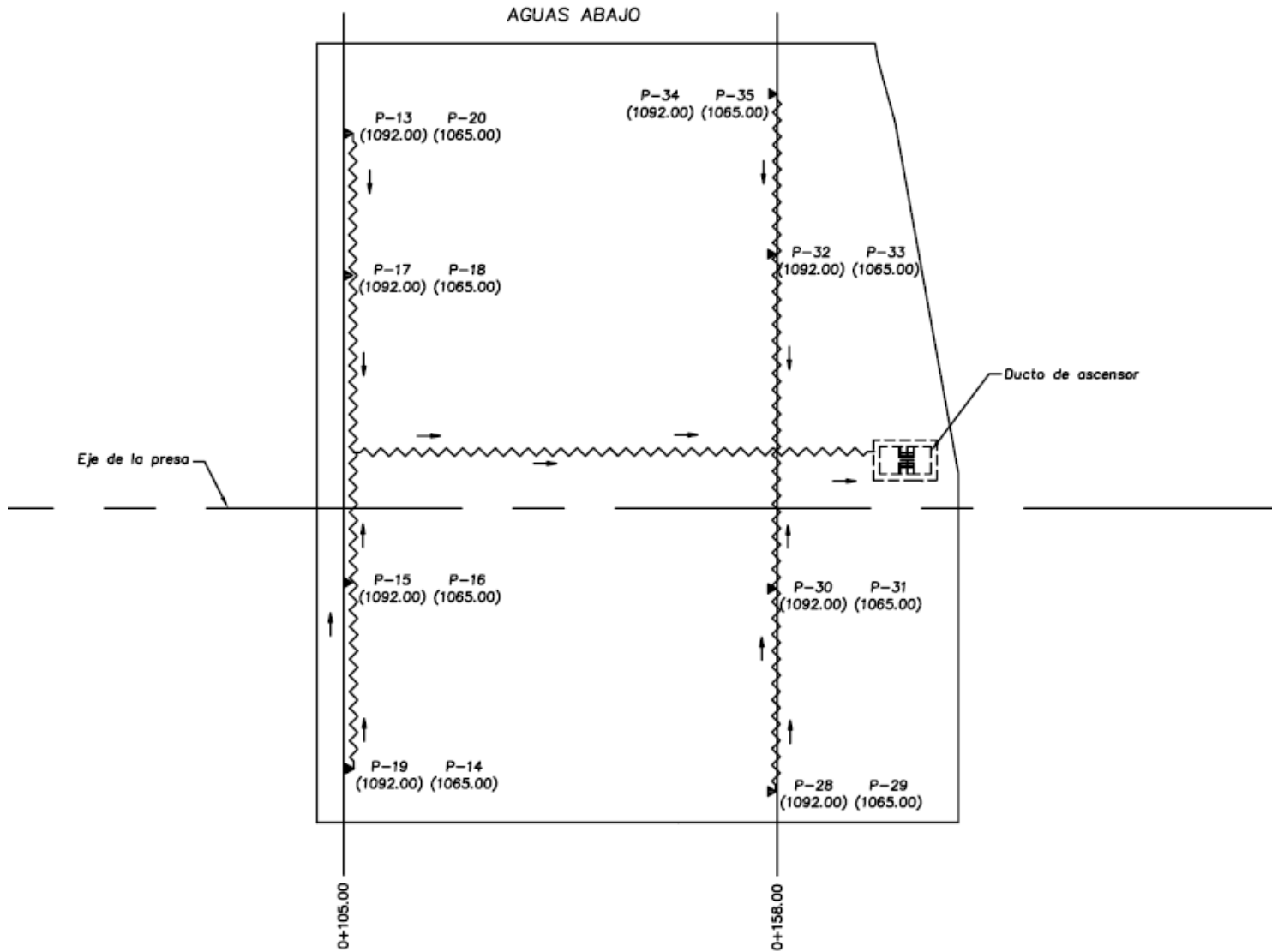
TS-51	Deformímetro	1122,93	399230,7	451917,44	42,56	0+105	04/08/2009
TS-68	Deformímetro	1123,1	399283,74	451984,01	-24,01	0+158	02/08/2009
TS-69	Deformímetro	1122,91	399283,63	451967,93	-7,934	0+158	02/08/2009
TS-70	Deformímetro	1123,24	399283,69	451943,73	16,27	0+158	04/08/2009
TS-71	Deformímetro	1122,95	399283,83	451919,84	40,16	0+158	04/08/2009
TS-72	Deformímetro	1105,3	399283,78	451995,5	-35,5	0+158	01/05/2009
TS-73	Deformímetro	1105,76	399283,78	451992,5	-32,5	0+158	01/05/2009
TS-74	Deformímetro	1105,78	399283,78	451989,5	-29,5	0+158	01/05/2009
TS-76	Deformímetro	1105,4	399283,78	451980,5	-20,5	0+158	17/05/2009
TS-77	Deformímetro	1105,37	399283,78	451968	-8	0+158	17/05/2009
TS-78	Deformímetro	1105,3	399283,78	451962	-2	0+158	17/05/2009
TS-79	Deformímetro	1106,61	399283,78	451952	8	0+158	17/05/2009
TS-80	Deformímetro	1105,33	399283,78	451947	13	0+158	17/05/2009
TS-81	Deformímetro	1105,91	399283,78	451936	24	0+158	17/05/2009
TS-82	Deformímetro	1105,91	399283,78	451932	28	0+158	17/05/2009
TS-83	Deformímetro	1105,69	399283,78	451917	43	0+158	17/05/2009
TS-84	Deformímetro	1105,95	399283,78	451911	49	0+158	17/05/2009
TS-87	Deformímetro	1105,69	399283,78	451905,5	54,5	0+158	17/05/2009
T-60V	Termómetro	1107,9	399230,78	451982,57	-22,57	0+105	21/06/2009
T-61	Termómetro	1107,9	399230,78	451987,57	-27,57	0+105	21/06/2009
T-62V	Termómetro	1105,3	399230,78	451987	-27	0+105	16/05/2009
T-63	Termómetro	1105,3	399230,78	451979,83	-19,83	0+105	16/05/2009
T-64	Termómetro	1101,9	399230,78	451960	0	0+105	24/04/2009
T-65	Termómetro	1101,9	399230,78	451948	12	0+105	24/04/2009
T-66	Termómetro	1101,9	399283,78	451960	0	0+158	24/04/2009
T-67	Termómetro	1101,9	399283,78	451972	-12	0+158	24/04/2009
T-68	Termómetro	1113,041	399230,79	451982,16	-22,162	0+105	05/07/2009
T-69	Termómetro	1112,97	399230,73	451976,13	-16,127	0+105	05/07/2009
T-70	Termómetro	1112,997	399230,75	451970,22	-10,217	0+105	05/07/2009
T-72	Termómetro	1113,773	399230,91	451951,22	8,78	0+105	09/07/2009
T-73	Termómetro	1113,706	399230,83	451939,88	20,121	0+105	09/07/2009
T-74	Termómetro	1113,576	399230,73	451934,01	25,993	0+105	09/07/2009
T-75	Termómetro	1112,991	399230,8	451927,98	32,081	0+105	07/07/2009
T-76	Termómetro	1112,958	399230,82	451921,97	38,035	0+105	07/07/2009
T-77	Termómetro	1112,869	399230,79	451915,91	44,091	0+105	07/07/2009
T-78	Termómetro	1112,786	399230,73	451913	47	0+105	07/07/2009
T-79	Termómetro	1130,09	399230,73	451987,14	-27,139	0+105	21/08/2009
T-80	Termómetro	1130,062	399230,73	451986,79	-26,791	0+105	21/08/2009

T-81	Termómetro	1118,863	399283,91	451906,44	53,565	0+158	22/07/2009
T-82	Termómetro	1113,12	399230,773	451991,183	-31,183	0+105	05/07/2009
T-83	Termómetro	1113,089	399230,78	451988,18	-28,175	0+105	05/07/2009
T-84	Termómetro	1130,043	399230,82	451936,4	23,6	0+105	23/08/2009
T-86	Termómetro	1129,79	399230,84	451921,43	38,57	0+105	23/08/2009
T-87	Termómetro	1129,9	399230,7	451924,49	35,512	0+105	23/08/2009
T-88	Termómetro	1129,95	399230,9	451930,45	29,55	0+105	23/08/2009
T-89	Termómetro	1130,075	399230,74	451986,45	-26,452	0+105	21/08/2009
T-90	Termómetro	1113,131	399230,76	451992,31	-32,306	0+105	05/07/2009
T-91	Termómetro	1113,319	399230,84	451992,81	-32,813	0+105	05/07/2009
T-92	Termómetro	1112,78	399230,65	451911,28	48,718	0+105	07/07/2009
T-93	Termómetro	1112,771	399230,71	451911,86	48,138	0+105	07/07/2009
T-94	Termómetro	1129,67	399230,85	451920,44	39,561	0+105	23/08/2009
T-96	Termómetro	1129,774	399230,85	451919,74	40,263	0+105	23/08/2009
T-97	Termómetro	1130,022	399230,82	451985,45	-25,453	0+105	21/08/2009
T-155	Termómetro	1113,071	399283,71	451991,18	-31,181	0+158	05/07/2009
T-156	Termómetro	1113,034	399283,78	451988,14	-28,136	0+158	05/07/2009
T-157	Termómetro	1130	399283,75	451982,18	-22,178	0+158	05/07/2009
T-158	Termómetro	1112,89	399283,75	451976,17	-16,165	0+158	05/07/2009
T-159	Termómetro	1112,789	399283,93	451973,97	-13,965	0+158	05/07/2009
T-160	Termómetro	1121,898	399283,75	451959,94	0	0+158	28/07/2009
T-161	Termómetro	1113,728	399283,75	451951,73	8,272	0+158	09/07/2009
T-162	Termómetro	1113,606	399283,79	451939,95	20	0+158	09/07/2009
T-163	Termómetro	1113,517	399283,81	451933,98	26	0+158	09/07/2009
T-164	Termómetro	1112,966	399283,8	451927,99	32	0+158	07/07/2009
T-165	Termómetro	1112,915	399283,79	451922,07	37	0+158	07/07/2009
T-166	Termómetro	1112,803	399283,83	451915,99	44	0+158	07/07/2009
T-167	Termómetro	1112,786	399283,82	451913,06	46	0+158	07/07/2009
T-169	Termómetro	1124,359	399230,88	451960,92	-0,917	0+105	07/08/2009
T-170	Termómetro	1122,02	399230,71	451959,88	0	0+105	28/07/2009
T-172	Termómetro	1119	399283,76	451918,1	41	0+158	22/07/2009
T-173	Termómetro	1119,07	399283,71	451924,2	35	0+158	22/07/2009
T-174	Termómetro	1124,269	399284	451960,78	-0,22	0+158	07/08/2009
T-175	Termómetro	1130,12	399230,66	451942,45	17,549	0+105	23/08/2009
T-176	Termómetro	1129,894	399230,72	451976,42	-16,415	0+105	21/08/2009
T-177	Termómetro	1129,893	399230,87	451970,54	-10,538	0+105	21/08/2009
T-178	Termómetro	1130,296	399230,87	451954,43	5,574	0+105	23/08/2009
T-179	Termómetro	1129,756	399230,79	451964,43	-4,425	0+105	21/08/2009

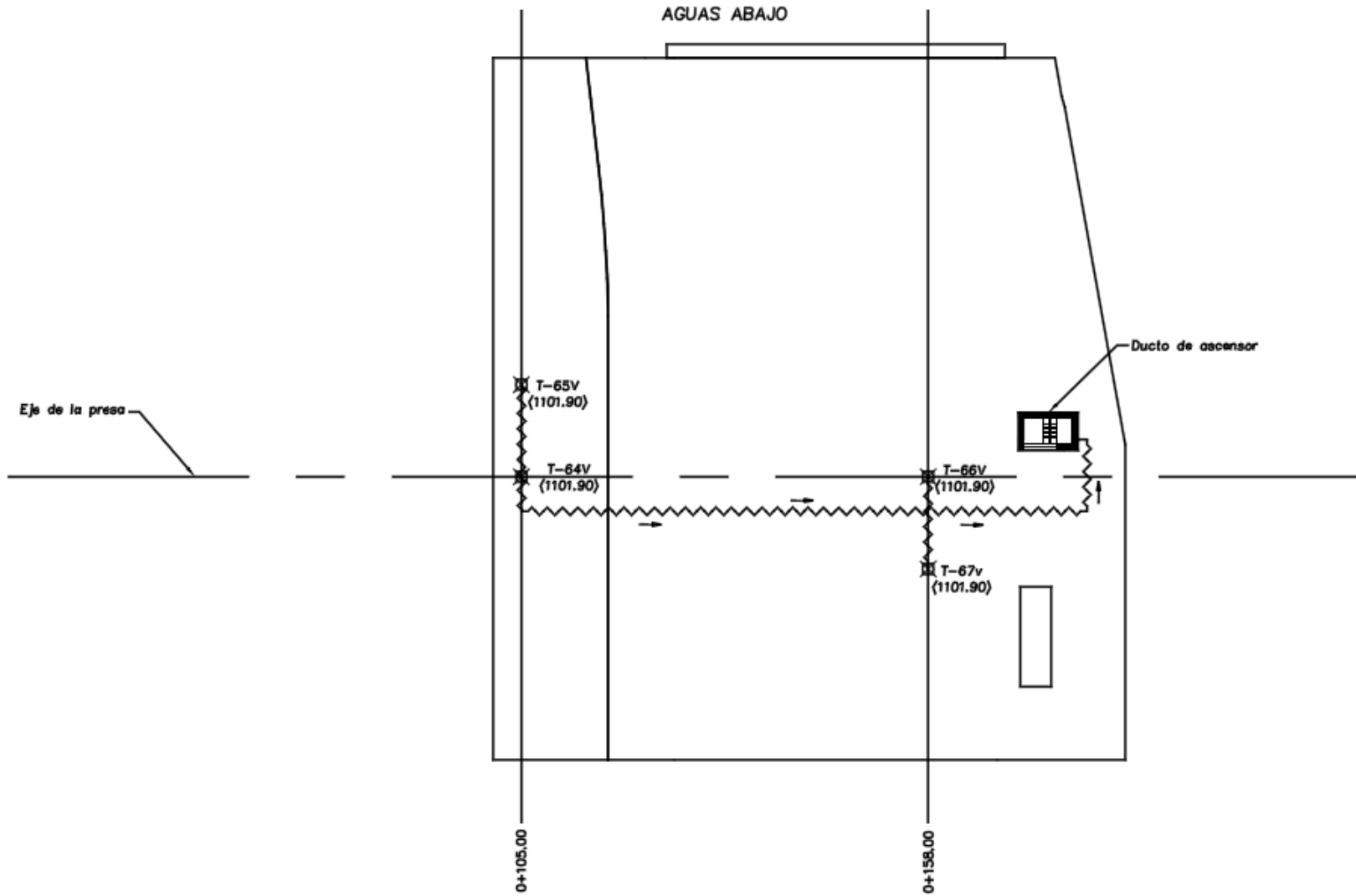
T-180	Termómetro	1131,242	399230,65	451960,02	0	0+105	26/08/2009
T-181	Termómetro	1113,113	399283,8	451992,27	-32,272	0+158	05/07/2009
T-182	Termómetro	1113,042	399283,86	451992,73	-32,729	0+158	05/07/2009
T-183	Termómetro	1112,821	399283,85	451911,87	48,127	0+158	07/07/2009
T-184	Termómetro	1112,773	399283,88	451911,27	48,733	0+158	07/07/2009
T-185	Termómetro	1118,921	399283,77	451907,08	52	0+158	22/07/2009
T-186	Termómetro	1118,934	399283,76	451909,08	50,918	0+158	22/07/2009
T-187	Termómetro	1118,985	399283,79	451912,05	47	0+158	22/07/2009
T-188	Termómetro	1127,537	399230,85	451960	0	0+105	15/08/2009
T-28	Termómetro	1130,272	399283,85	451982,54	-22	0+158	07/09/2009
T-29	Termómetro	1129,908	399283,66	451936,49	23	0+158	07/09/2009
T-30	Termómetro	1129,289	399283,86	451930,48	29	0+158	07/09/2009
T-31	Termómetro	1130,41	399283,89	451986,7	-26	0+158	07/09/2009
T-32	Termómetro	1129,366	399283,85	451920	40	0+158	07/09/2009
T-33	Termómetro	1129,324	399283,8	451924,46	35	0+158	07/09/2009
T-34	Termómetro	1130,195	399283,87	451976,38	-16	0+158	07/09/2009
T-35	Termómetro	1130,085	399283,71	451970,51	-10	0+158	07/09/2009
T-36	Termómetro	1130,436	399283,88	451986,41	-26	0+158	07/09/2009
T-37	Termómetro	1130,052	399283,67	451964,38	-4	0+158	07/09/2009
T-38	Termómetro	1130,06	399283,98	451948,49	11	0+158	07/09/2009
T-39	Termómetro	1130,453	399283,87	451986,95	-26	0+158	07/09/2009
T-40	Termómetro	1129,352	399283,88	451921,61	38	0+158	07/09/2009
T-41	Termómetro	1129,356	399283,8	451920,45	39	0+158	07/09/2009
T-42	Termómetro	1130,35	399283,87	451985,47	-25	0+158	07/09/2009
T-153	Termómetro	1131,32	399283,78	451959,79	0,208	0+158	09/09/2009
T-154	Termómetro	1128,3	399283,78	451960	0	0+158	04/09/2009
T-168	Termómetro	1129,34	399283,84	451919,76	40	0+158	07/09/2009
T-48	Termómetro	1138,497	399230,83	451959,87	0,132	0+105.00	24/09/2009
T-95	Termómetro	1134,316	399230,73	451959,97	0,29	0+105.00	15/09/2009
T-152	Termómetro	1134,357	399283,8	451960	0,03	0+158.00	30/09/2009
T-71	Termómetro	1129,92	399230,78	451982,54	-22,54	0+105.00	21/08/2009
T-85	Termómetro	1129,717	399230,9	451920,16	40,844	0+105	23/08/2009
T-171	Termómetro	1137,242	399230,87	451960,15	-0,847	0+105	21/09/2009
T-46	Termómetro	1139,696	399230,73	451975,96	-15,964	0+105	11/10/2009
T-55	Termómetro	1137,35	399283,76	451959,93	0,068	0+158	06/10/2009
T-62	Termómetro	1138,266	399283,61	451959,83	0,17	0+158	08/10/2009

Anexo 2. Ubicación de los instrumentos instalados por elevación.

Elevación 1096,50 m.s.n.m.

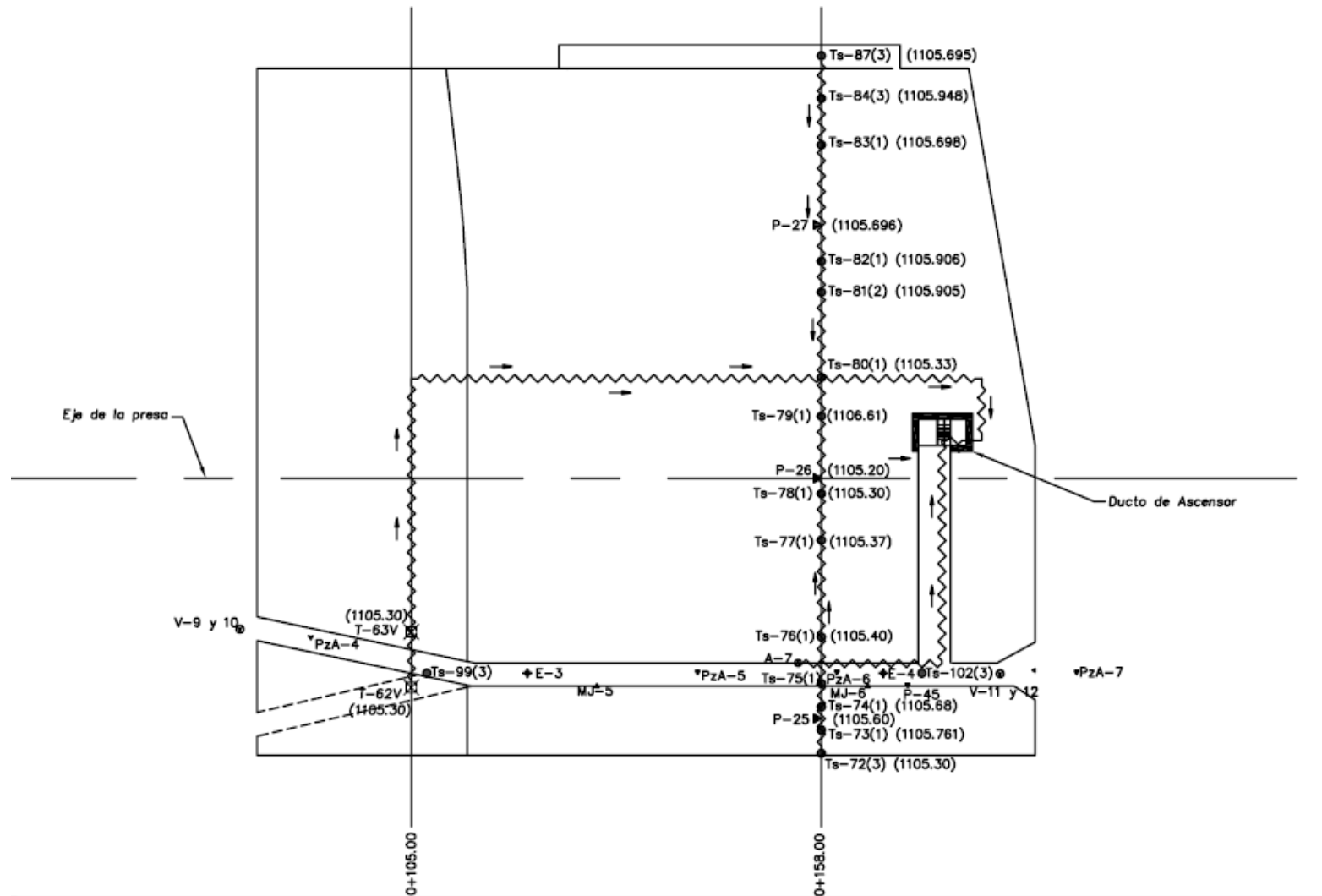


Elevación 1101,90 m.s.n.m.

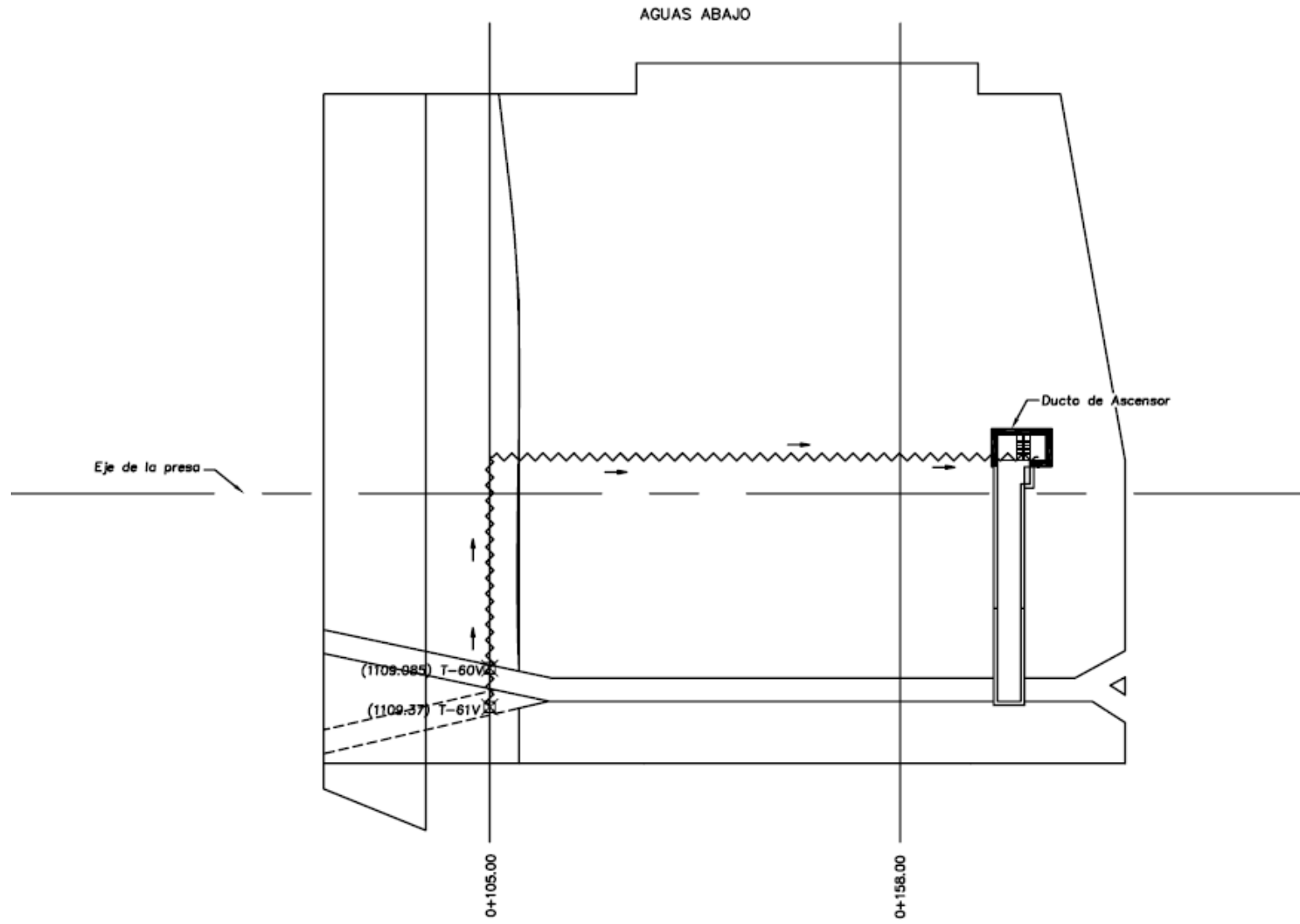


Elevación 1105 m.s.n.m.

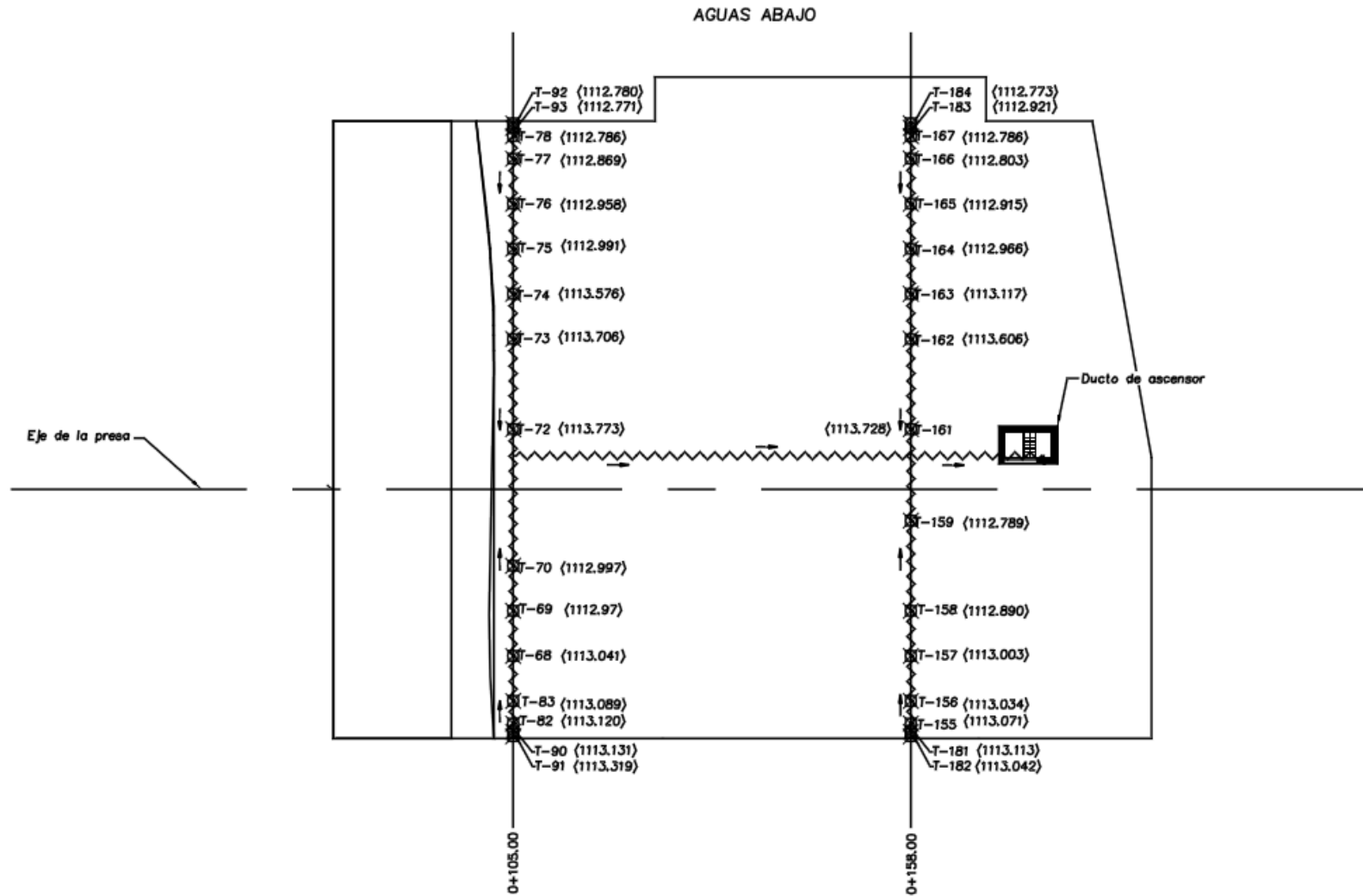
AGUAS ABAJO



Elevación 1109 m.s.n.m.

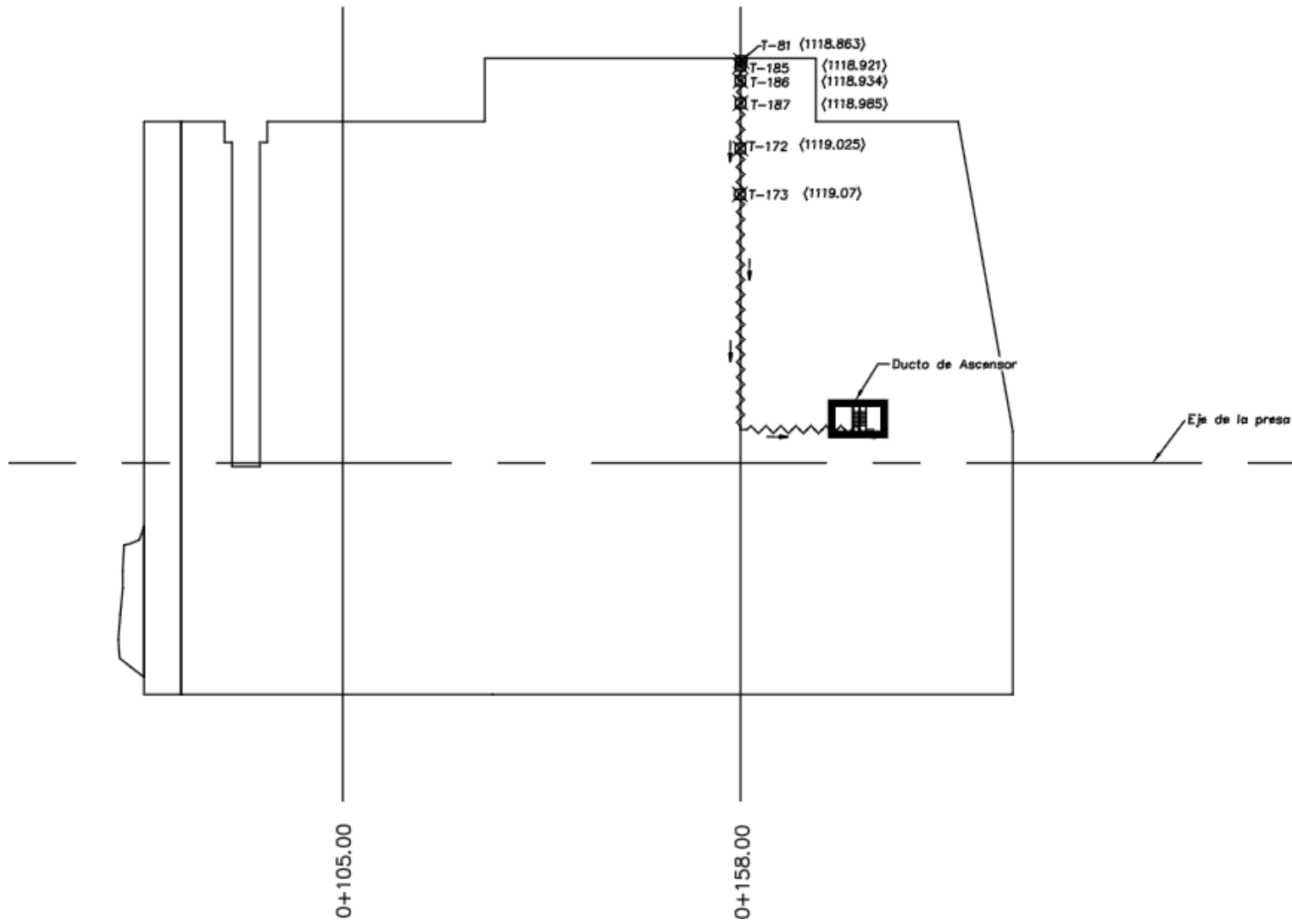


Elevación 1113 m.s.n.m.

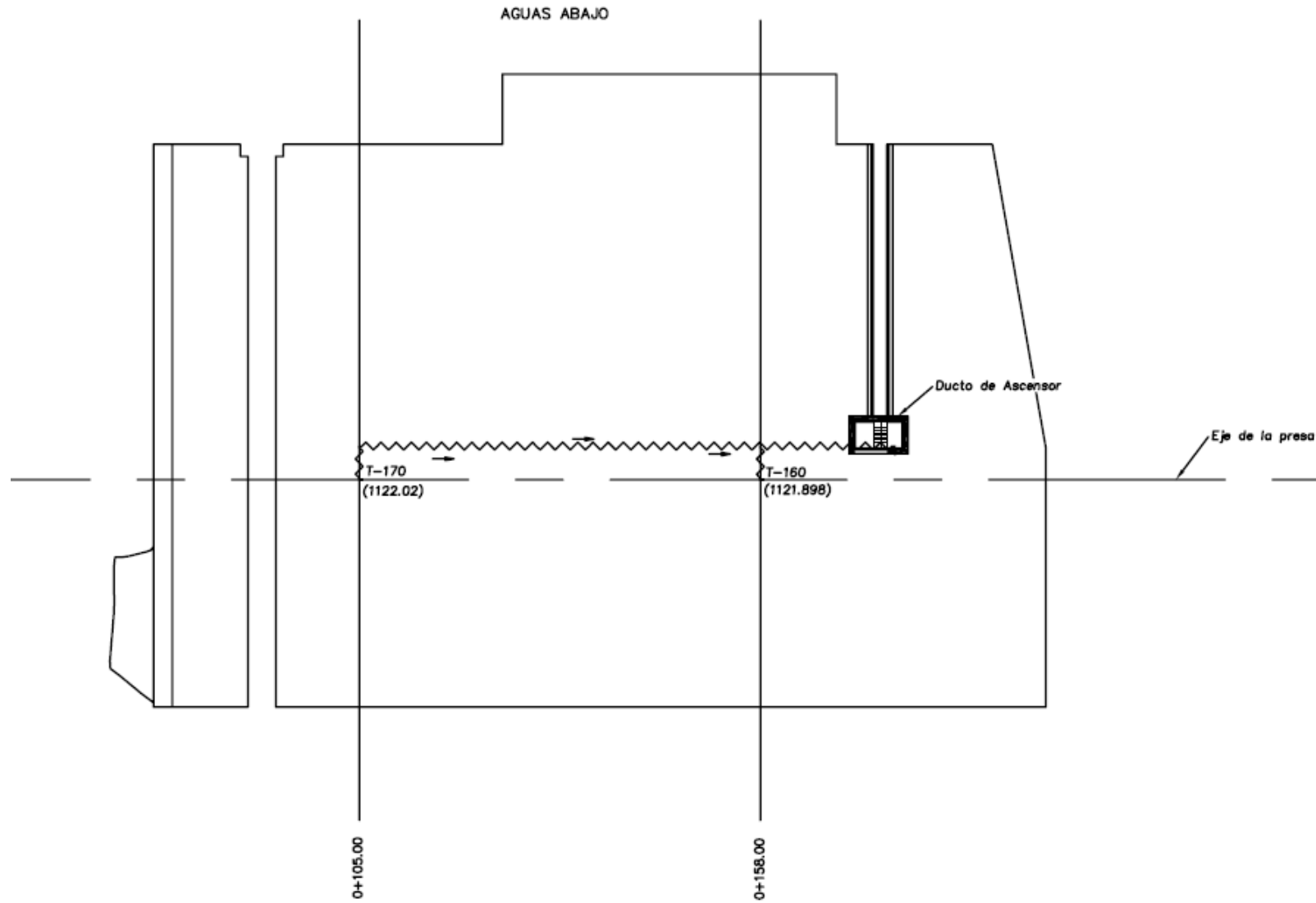


Elevación 1120 m.s.n.m.

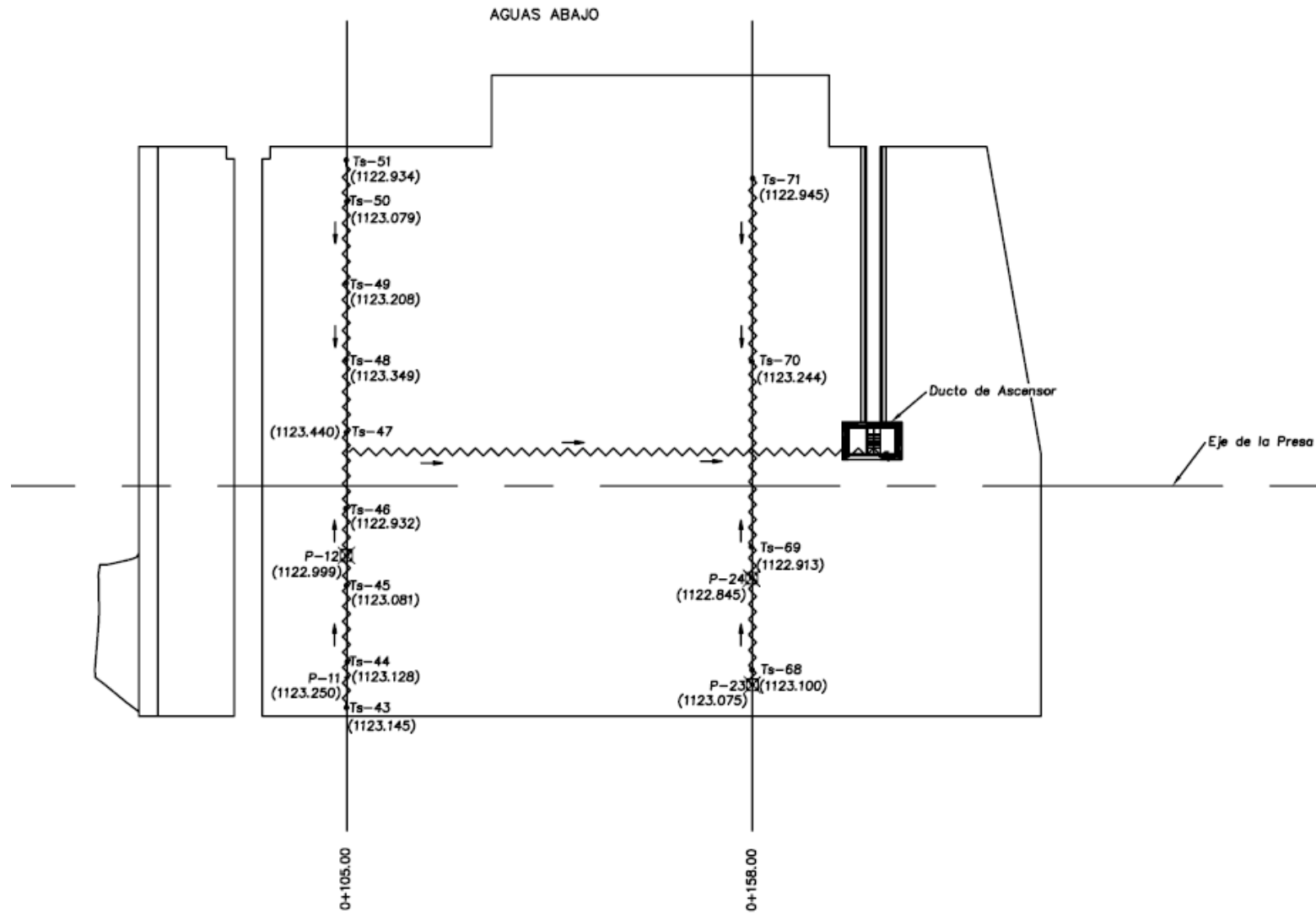
AGUAS ABAJO



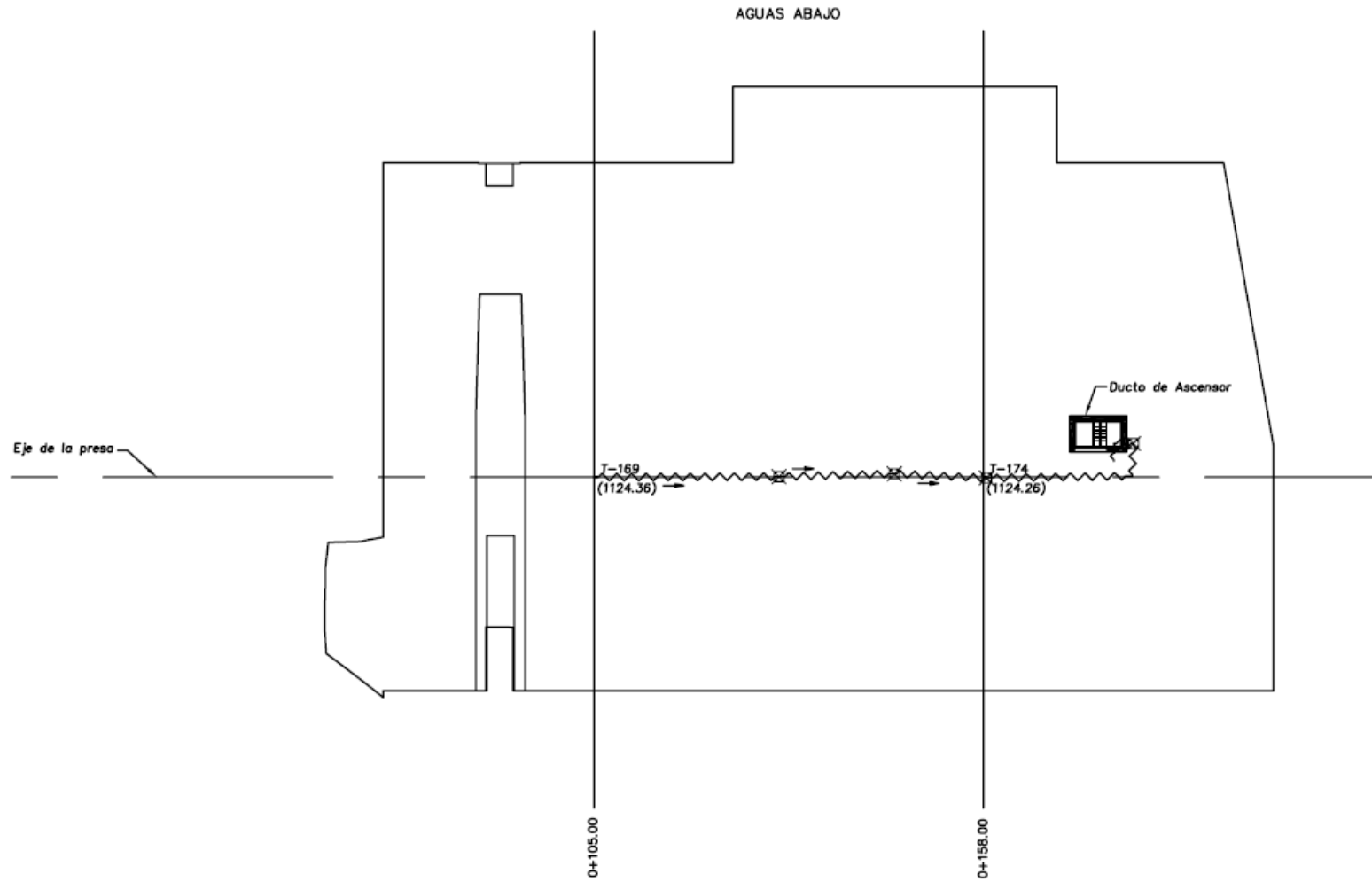
Elevación 1122,40 m.s.n.m.



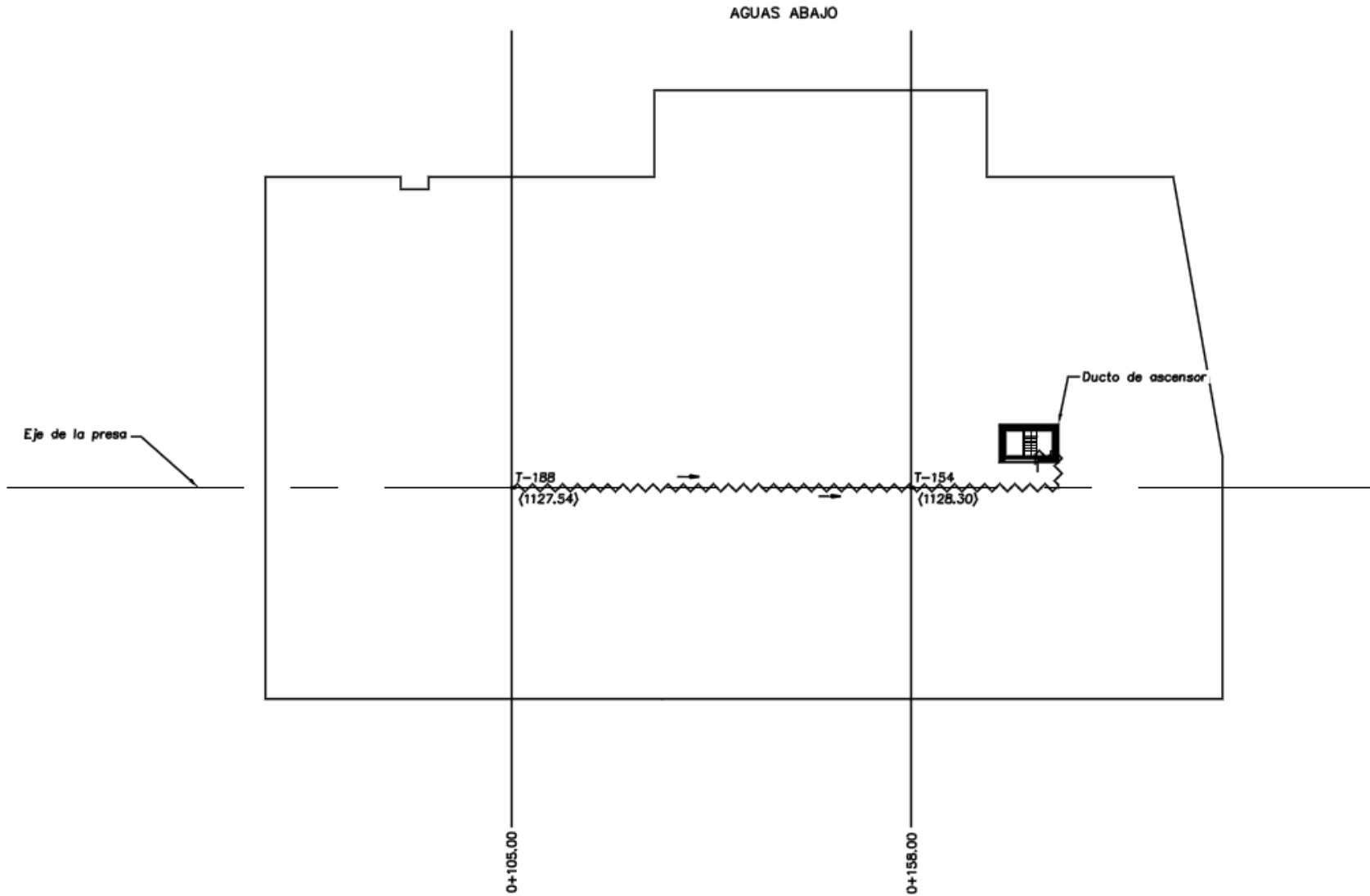
Elevación 1123,40 m.s.n.m.



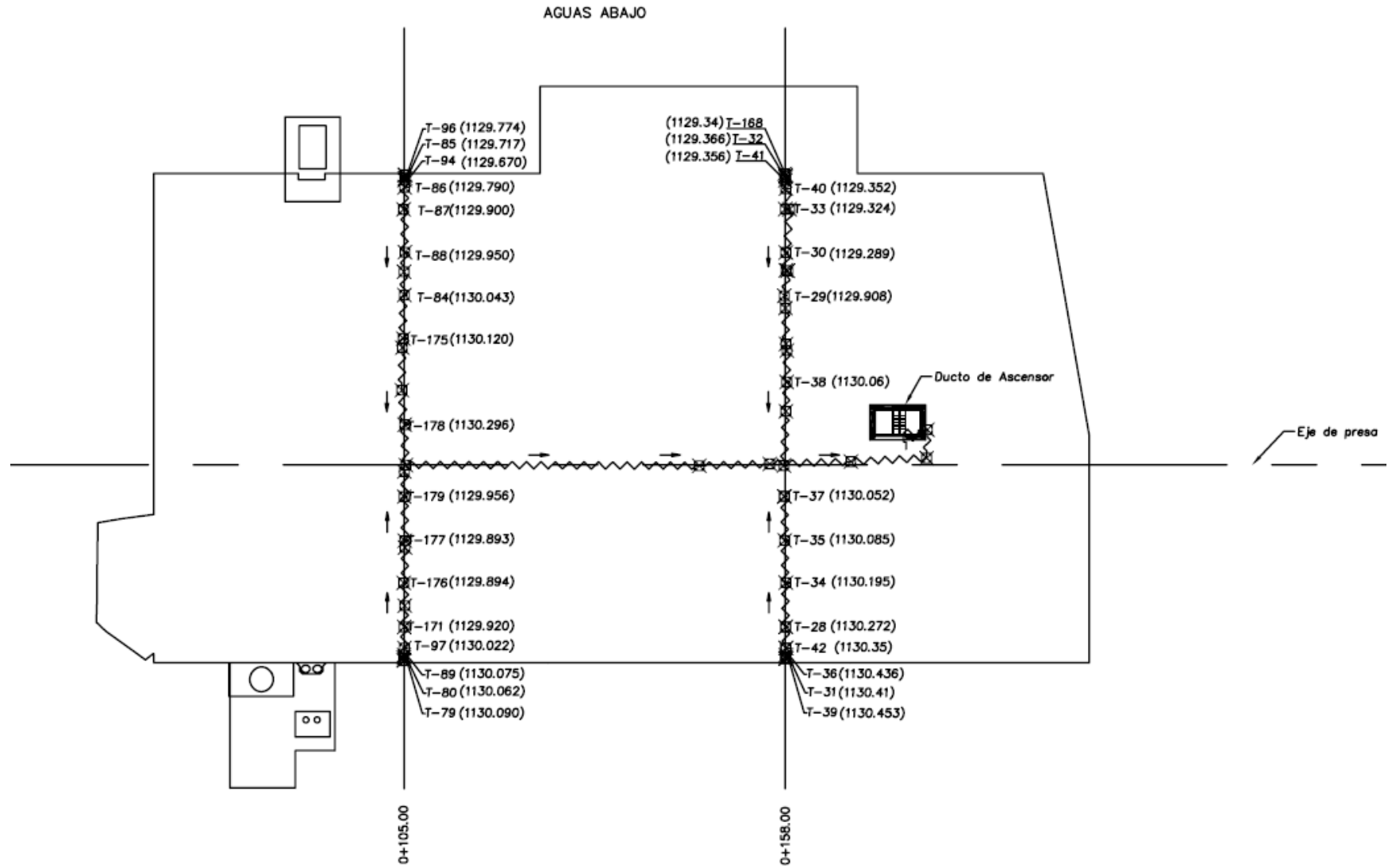
Elevación 1125,40 m.s.n.m.



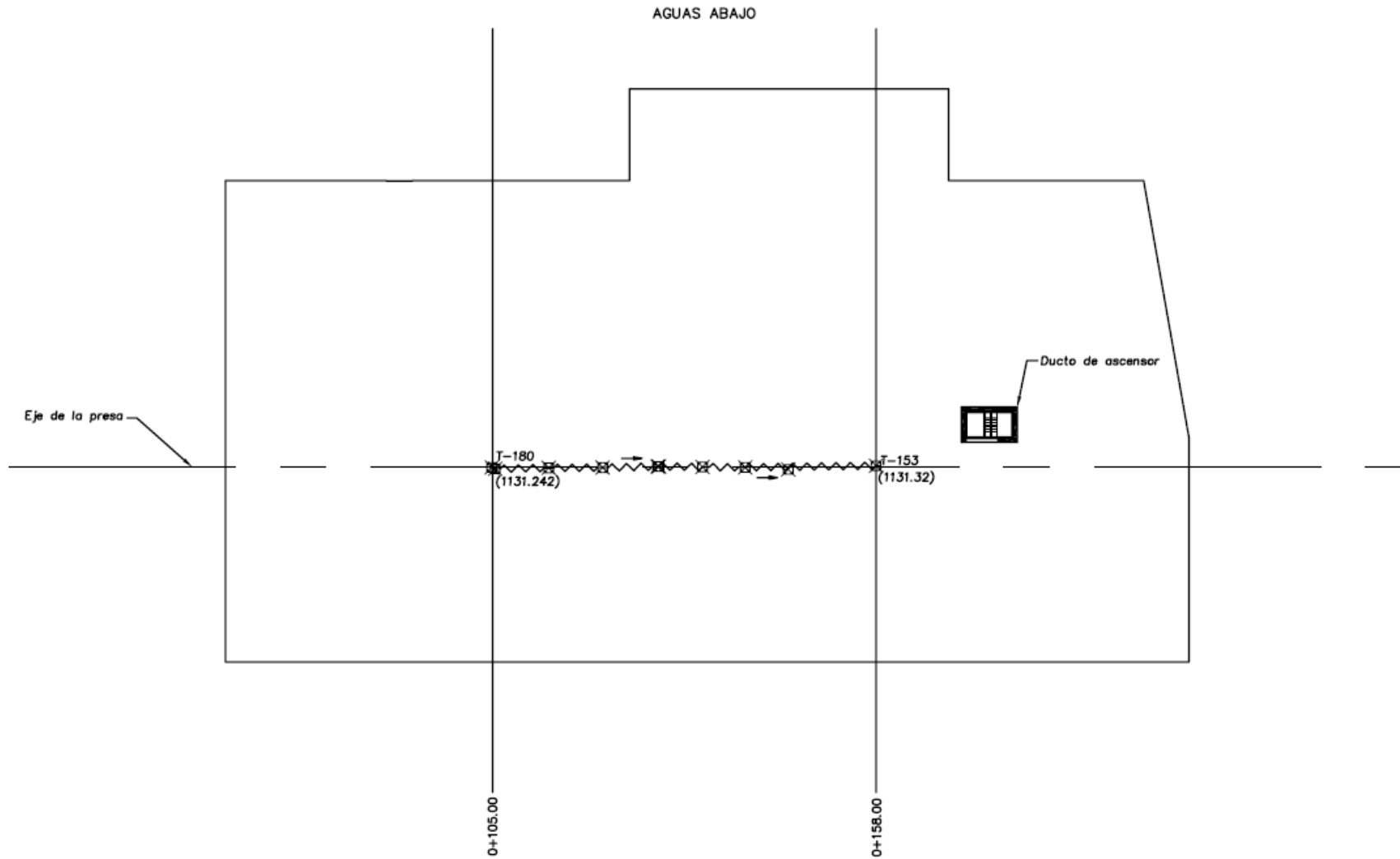
Elevación 1128,40 m.s.n.m.



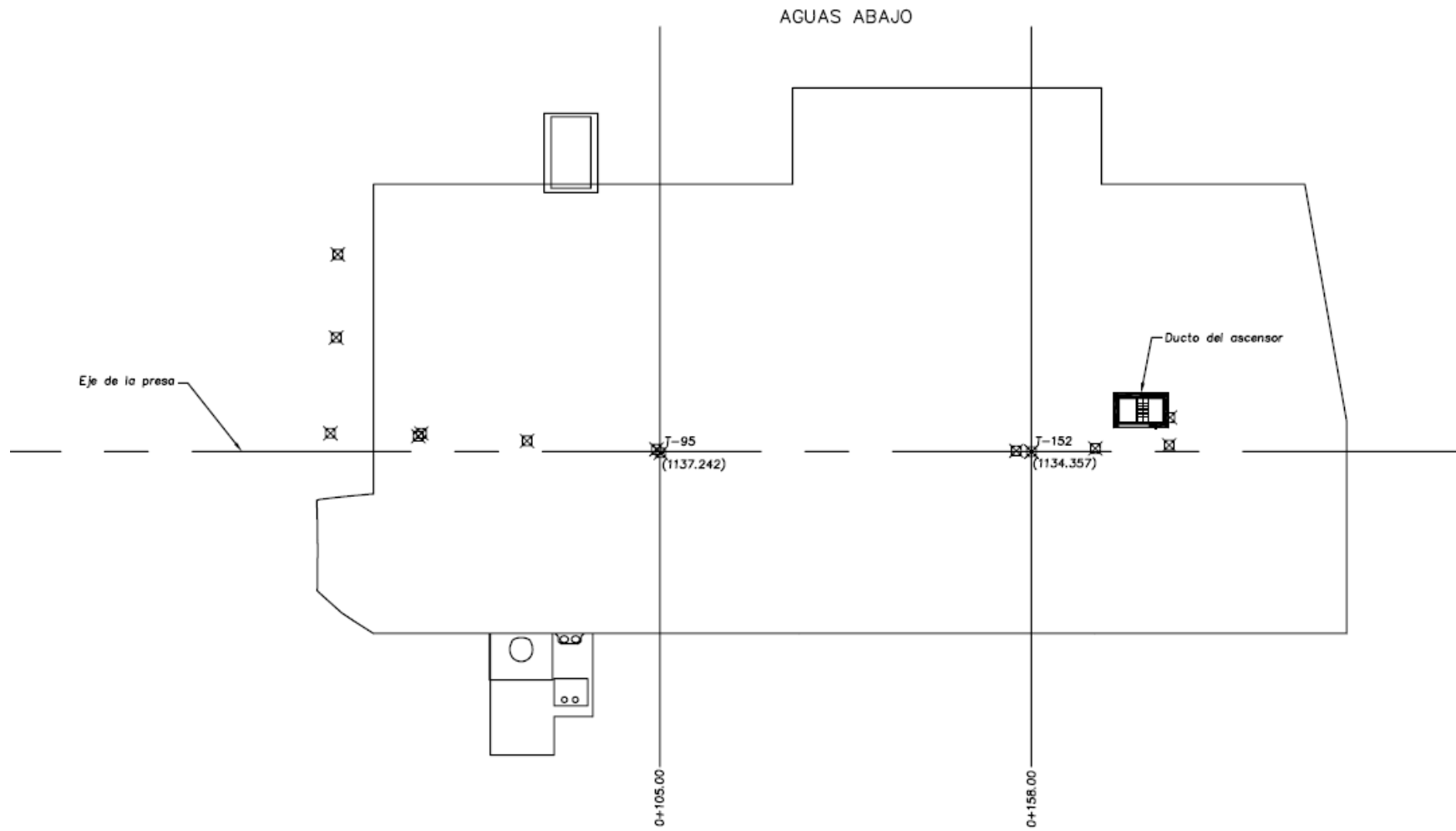
Elevación 1130 m.s.n.m.



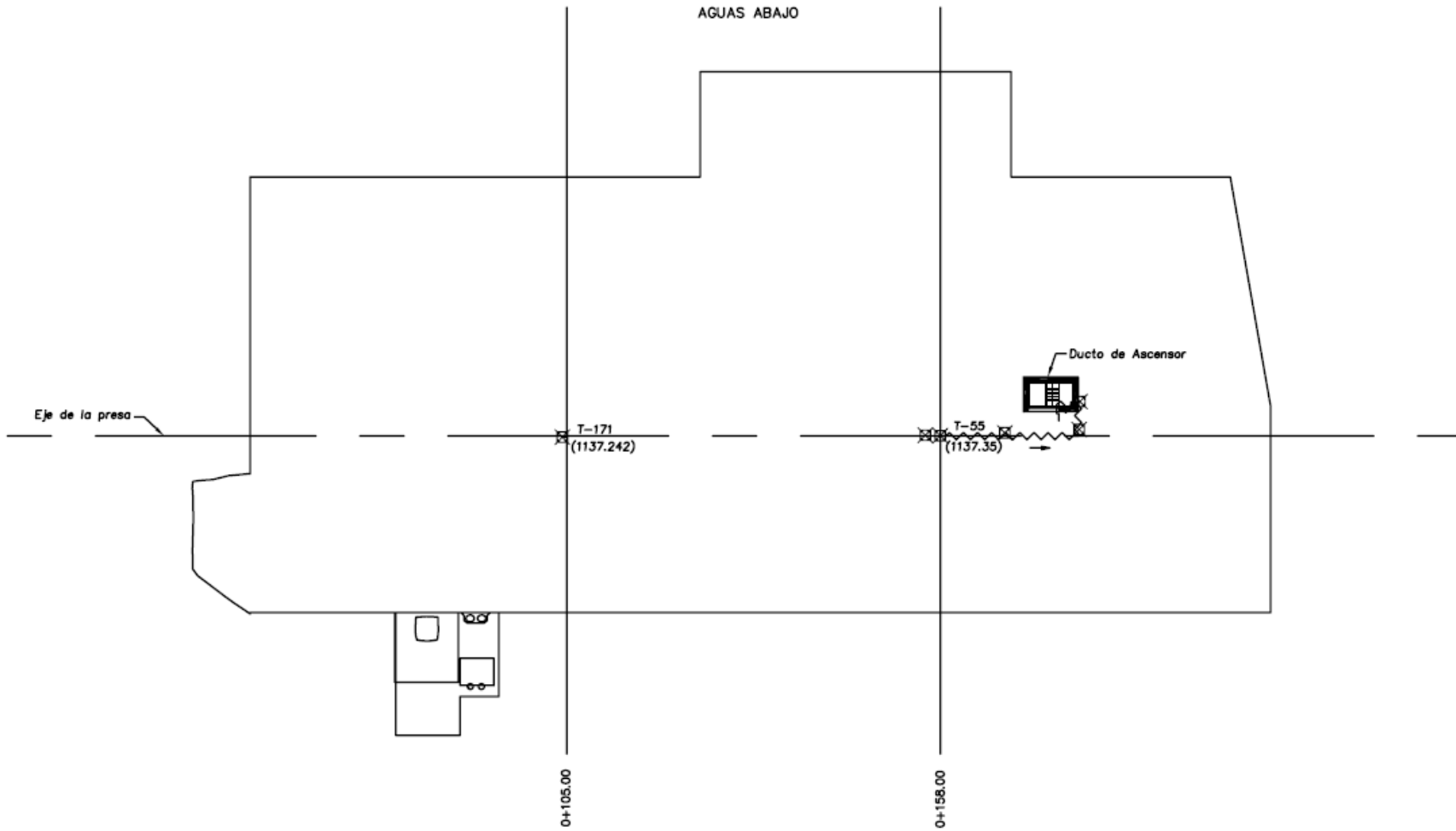
Elevación 1131,60 m.s.n.m.



Elevación 1134,60 m.s.n.m.



Elevación 1137,60 m.s.n.m.



Elevación 1138,80 m.s.n.m.

