

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Nuestro país posee una cantidad considerable de recursos hídricos, por lo que la construcción de presas actualmente es una de las alternativas más viables para optimizar la explotación de los mismos. Ya sea con fines de consumo, riego, o generación de energía eléctrica, es evidente que este tipo de proyectos alcanzan dimensiones considerables, tanto económicamente como en cantidad de beneficiarios, por lo que en dichos proyectos recae la responsabilidad de garantizar el suministro de agua para las diferentes necesidades de la población del país.

Lamentablemente se ha tenido descuido en cuanto a la seguridad de las presas, pues no existe un marco legislativo o técnico que sirva de referencia en Bolivia, y por ende, en nuestro departamento. Generalmente se asume que las presas cumplirán con su funcionamiento según se tiene previsto en el diseño, y no se prevé una forma de tener información del comportamiento real de estas obras a lo largo de su construcción y de su vida útil. Sin embargo, la seguridad de presas es una temática muy amplia y su puesta en práctica no puede ser repentina, al contrario, se deben adquirir conocimientos gradualmente para así poder mejorar la seguridad en este tipo de obras.

En el departamento de Tarija, se construyen mayormente presas de materiales sueltos (presas de tierra), por lo que es importante tomar iniciativa en el tema de la seguridad de estas obras, priorizando el cuerpo de la presa, debido a que es la estructura de mayor envergadura dentro de este tipo de proyectos, y es la que cumple la función principal de embalsar el agua.

La región del chaco tarijeño se ve afectada constantemente por la escasez de agua, así que los proyectos de construcción de presas son demandados por la población. En la presente gestión el proyecto de la presa Ipa comenzará su ejecución, por lo que se ve la necesidad de prever una mejora en la seguridad de esta obra, específicamente en el cuerpo de la misma.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede mejorar la seguridad del cuerpo de la presa Ipa?

Con el fin de saber si existe algún posible riesgo que comprometa la integridad de la presa, es importante tener conocimiento del comportamiento real de la misma, empleando instrumentos colocados de forma estratégica, con el fin de tomar mediciones periódicamente de los fenómenos que puedan influir de manera directa y negativa, revelando así las anomalías o tendencias adversas que puedan presentarse, conforme avance la construcción de la presa, y lo más importante, durante el primer llenado y los primeros años de su vida útil.

1.1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Para dar alternativas a la solución del problema planteado se debe dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ❖ ¿Con qué información se dispone de la presa Ipa?
- ❖ ¿Cómo definir qué fenómenos se van a monitorear en el cuerpo de la presa Ipa y qué instrumentos se van a emplear para este fin?
- ❖ ¿Existen proveedores de instrumentos de auscultación en el país?
- ❖ ¿Cuál sería el costo de implementar un sistema de auscultación en el cuerpo de la presa Ipa?

Para dar alternativas de solución al problema planteado, es importante contar con la información necesaria a cerca de la presa Ipa, principalmente las características del cuerpo de la presa, y sus respectivos planos.

Se debe consultar bibliografía especializada en la seguridad de presas, enfocándose principalmente en las presas de materiales sueltos, para adquirir conocimiento de que fenómenos se toman en cuenta en este tipo de obras y además que instrumentos existen actualmente destinados a brindar información del comportamiento real de una presa a través de la toma de mediciones. Pero además se deben efectuar consultas a profesionales

especializados en esta temática para poder definir concretamente que se va a monitorear y que herramientas se emplearán.

Para poder elaborar un presupuesto de todo lo que se pretenda implementar en el cuerpo de la presa Ipa, es primordial establecer contacto con un proveedor de instrumentos, ya sea nacional o internacional.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo general y específicos los siguientes.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta que contemple los instrumentos y el personal necesarios para el monitoreo del cuerpo de la presa Ipa, durante su construcción, primer llenado y operación, con el fin de identificar posibles anomalías de manera anticipada.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener y analizar información del cuerpo de la presa Ipa.
- Efectuar una revisión bibliográfica en lo que respecta a la auscultación de presas de materiales sueltos, para conocer que fenómenos y que instrumentos se recomiendan tomar en cuenta para el monitoreo de este tipo de obras.
- Definir qué fenómenos serán monitoreados específicamente en el cuerpo de la presa Ipa, y que instrumentos serán empleados para este fin.
- Investigar qué tipo de instrumentación se encuentra disponible en nuestro medio, de no encontrar un proveedor a nivel nacional, establecer contacto con un proveedor internacional.
- Establecer los sitios de instalación de los instrumentos, en base a lo estudiado previamente en la bibliografía, y en lo posible, con criterios de profesionales especializados en el tema.
- Proponer el personal que se encargue de la toma de datos.

- Definir un presupuesto que englobe la compra e instalación de todo lo que este trabajo proponga implementar, elaborando cómputos métricos y precios unitarios.
- Presentar especificaciones técnicas de los instrumentos elegidos, especialmente de aquellos cuyo empleo no sea común en nuestro medio.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Este trabajo de investigación propone contribuir a la explicación de cómo se puede mejorar la seguridad de una presa, debido a que la construcción de obras de este tipo producen cambios que a simple vista no son perceptibles, pero con el tiempo pueden generar anomalías en el comportamiento de la estructura, motivo por el cual dichos cambios deben ser medidos, registrados y analizados.

1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El fin del monitoreo del cuerpo de la presa es obtener información en tiempo real del comportamiento de la estructura, efectuando mediciones periódicamente de los fenómenos que pueden influir de manera directa y negativa, conforme avance la construcción de la presa, y lo más importante, durante el primer llenado y los primeros años de su vida útil. La toma de mediciones, por lo tanto, ayuda a prevenir posibles anomalías de manera anticipada.

1.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Los embalses constituyen una amenaza potencial a la vida tanto humana como de la naturaleza, ya que con la presencia de una presa ocurren grandes cambios aguas arriba y aguas debajo de la misma.

Por este motivo es importante contar con la información necesaria para prevenir posibles eventos que perjudiquen tanto a la estructura como a los beneficiarios.

1.4. MARCO DE REFERENCIA

1.4.1. MARCO CONCEPTUAL

Seguridad de presas: La seguridad de presas se puede definir como el margen que separa las condiciones reales que existen en una presa de las que llevan a su deterioro o incluso a su destrucción, identificando los riesgos potenciales que se puedan presentar y tomando acciones que reduzcan los mismos a lo mínimo posible.

Presa de materiales sueltos: Consisten en un relleno de tierras que aportan la resistencia necesaria para contrarrestar el empuje del agua. Los materiales más utilizados para su construcción son piedras, gravas, arenas, limos y arcillas, aunque dentro de todos estos los que más se destacan son las piedras y las gravas. Este tipo de presas tienen componentes muy permeables.

Presión efectiva y presión de poro: La presión que actúa en un suelo, es la suma de la presión transmitida a las partículas (esqueleto del suelo) y aquella transmitida a través del agua, que halla en los poros del suelo, que se denomina presión de poros. Cuando un suelo está sometido a presiones, solamente el esqueleto del suelo opone resistencia a su deformación. El agua como es incompresible y no tiene resistencia al corte, no se opone a la deformación, es "neutra"; de ahí que a la presión de poros se la llame también "presión neutra" y a la presión intergranular se la denomina "presión efectiva", pues esta última es la presión real que se opone a la deformación y posterior falla de un suelo.

Monitoreo de una presa: Consiste en realizar mediciones periódicamente, para contar con un registro y poder interpretar dichas mediciones, obteniendo así un mejor conocimiento del comportamiento de la presa durante su operación.

1.4.2. MARCO ESPACIAL

La cuenca de aprovechamiento de la quebrada del río Ipa, se encuentra en el Municipio de Villa Montes, tercera sección provincia Gran Chaco, departamento de Tarija; ubicada en la zona pie de monte el nacimiento de la serranía del Aguaragüe distante a 27.5 Km al norte de la ciudad de Villa Montes. El área del proyecto se encuentra ubicada en el departamento de

Tarija, en la 3ra sección de la provincia Gran Chaco, municipio de Villa Montes y comprende a la comunidad de Ipa.

La ubicación geográfica está definida por las siguientes coordenadas:

Coordenadas máximas (punto más alto) 21° 3' 45.72" de latitud sur. y 63° 25' 58.67" de longitud oeste.

Coordenadas mínimas (punto más bajo) 21° 4' 5.96" de latitud sur. y 63° 23' 30.48" de longitud oeste.

1.4.3. MARCO TEMPORAL

Los estudios realizados para la construcción de la presa Ipa fueron elaborados en las gestiones 2012 y 2013, se prevé la ejecución del proyecto para la presente gestión.

1.5. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La propuesta que se pretende elaborar en este trabajo contempla los instrumentos adecuados para monitorear el comportamiento del cuerpo de la presa Ipa, por lo que su correcta instalación y funcionamiento ayudarán a mejorar la seguridad de la obra.

1.6. ALCANCE

El presente trabajo busca elaborar una propuesta de los instrumentos necesarios para monitorear el comportamiento del cuerpo de la presa Ipa durante su construcción, primer llenado y operación. Para este fin, se obtuvo información del proyecto de la presa Ipa, gracias a la colaboración de los profesionales encargados del diseño de la misma.

Para la elaboración adecuada, y con una base teórica, la propuesta cuenta con una revisión bibliográfica que engloba los fenómenos que se consideran apropiados para el monitoreo de este caso particular y que instrumentos deben ser empleados para este fin.

La propuesta contempla auscultación interna y externa del cuerpo de la presa Ipa. Los fenómenos internos a considerar comprenden presión de poro, esfuerzo y filtración, estos

serán medidos con piezómetros de cuerda vibrante, celdas de presión de cuerda vibrante y un vertedero triangular- Los fenómenos externos comprenden movimientos superficiales, condiciones meteorológicas del sitio y nivel del embalse, los cuales serán monitoreados mediante mojones topográficos, estaciones meteorológicas automáticas y sensores de nivel de agua por radar. Para la ubicación de los instrumentos se cuenta con planos que detallen la posición de cada instrumento en el cuerpo de la presa.

Además la propuesta cuenta con un presupuesto que se definió en base a los precios que se pudieron obtener mediante un proveedor de instrumentos, dando lugar a la elaboración de cómputos métricos y precios unitarios. También se presentan especificaciones técnicas de los instrumentos propuestos.

Se sugiere además que la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho sea la entidad encargada de la toma de mediciones para poder tratar la información recolectada, de manera adecuada y con criterios profesionales.

Cabe resaltar que la propuesta realizada en este trabajo engloba los instrumentos y el personal que se consideran necesarios para un aumento en la seguridad del cuerpo de la presa Ipa, por lo que no se ha realizado ninguna toma de datos.

CAPÍTULO II

AUSCULTACIÓN DE PRESAS

1. INTRODUCCIÓN A LA AUSCULTACIÓN DE PRESAS

Se entenderá como auscultación de presas al “conjunto de actividades que se llevan a cabo mediante técnicas especiales de medición, haciendo uso de aparatos y sensores determinados, para un posterior proceso de depuración y análisis de los datos obtenidos a partir de dichas mediciones, con el fin de conocer el comportamiento real de una presa durante una determinada época o a lo largo de toda su vida útil”. (Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2014). Una auscultación adecuada permite además obtener información que enriquece el conocimiento sobre el comportamiento real de las obras y a fin de cuentas, afinar las técnicas experimentales y los métodos de cálculo para lograr una concepción mejor y más segura de las presas futuras.

La seguridad de una presa no depende solo de un buen proyecto y correcta ejecución, sino también hay que considerar la vigilancia, especialmente durante los primeros años de su vida útil. Hoy se reconocen como los pilares básicos de la seguridad los siguientes: (Hinojosa & Moreira, 2006)

- Correcto diseño y construcción.
- Mantenimiento y control.
- Auscultación.
- Planes de emergencias.

El manejo de las emergencias requiere un tratamiento en el cual participan muchas disciplinas, algunas de ellas de índole humanista, por lo que necesita incorporar conceptos más flexibles que los usualmente utilizados en la ingeniería y que permitan la articulación entre los organismos involucrados. Tal el caso de las relaciones con la comunidad, la comunicación, los intereses económicos y políticos, la toma de decisiones en situaciones críticas, etc. La seguridad de presas, bajo este enfoque, más que dirigirse a la protección de una estructura de ingeniería, se entiende como una actividad de alto contenido social, toda vez que su objetivo y misión es la protección pública y el cuidado del medio ambiente.

1.1. AUSCULTACIÓN DE PRESAS DE MATERIALES SUELTOS

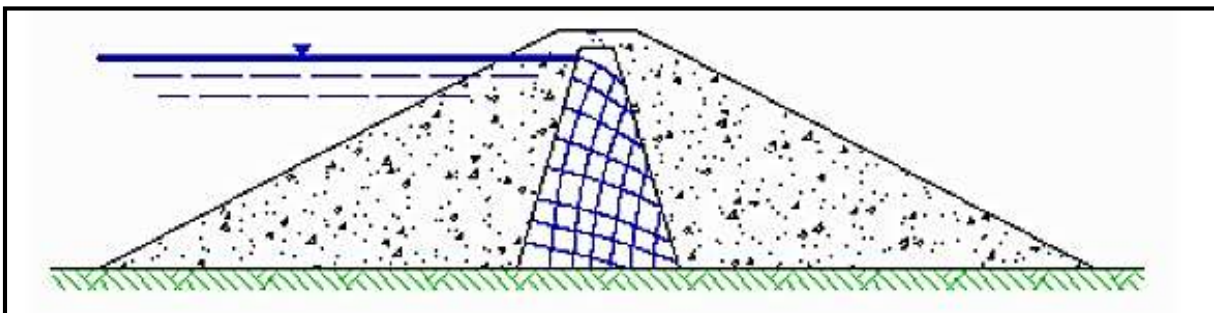
Para poder implementar un sistema de auscultación en una presa de materiales sueltos es importante tener un concepto claro del tipo de presa que se está analizando. Así se pueden identificar los parámetros a considerar para su respectivo monitoreo.

1.1.1. DEFINICIÓN PRESA DE MATERIALES SUELTOS

Son presas de gravedad en las que materiales provistos por la naturaleza no sufren ningún proceso químico de transformación, siendo tratados y colocados mediante procedimientos de compactación. En su composición intervienen, piedra, gravas, arenas, limos y arcillas, siendo denominadas como presas de enrocado o de escollerado cuando más del 50% del material está compuesto por piedra y presas de tierra cuando son materiales de granulometrías más pequeñas. Cuando todo el material que componen las presas de materiales sueltos tiene las mismas características se denominan heterogéneas pudiendo tratarse de materiales más o menos impermeables, o bien pueden contar con diferentes materiales zonificados, con núcleo impermeable y materiales más permeables a medida que se alejan del centro de la presa. La impermeabilidad puede lograrse también mediante pantallas o diafragmas. (Colodro, 2012)

La figura 2.1 muestra una sección típica de una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de arcilla.

Figura 1.1. Presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de arcilla



Fuente: (Hinojosa & Moreira, 2006)

1.2. PARÁMETROS A MEDIR

Los parámetros a medir se dividen en variables de control externo y control interno de la presa.

1.2.1. VARIABLES DE CONTROL EXTERNO

En la planificación del sistema de auscultación para una presa se deben incluir las principales variables de control externo que pueden influir de forma significativa en su comportamiento. Las variables de control externo a considerar se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 1.1. Variables de control externo

Meteorológicas y Ambientales.	Hidráulicas (carga hidrostática)	Dinámicas (sismicidad inducida y ambiental)
Temperatura ambiente y en el agua del embalse.	Nivel del embalse	Velocidades
Precipitaciones pluviales.		
Velocidad y dirección del viento.		

Fuente: (Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2014)

1.2.2. VARIABLES DE CONTROL INTERNO

Al igual que el caso anterior, se deben incluir las variables de control interno que puedan influir significativamente en el comportamiento de la presa. A continuación, en la tabla 2.2 se muestran las variables a considerar.

Tabla 1.2. Variables de control interno

Hidráulicas	Deformaciones	De carga
Filtraciones recogidas en las galerías de la presa	Desplazamientos horizontales y verticales absolutos y relativos	Presiones totales y efectivas en núcleo.
Filtraciones aguas debajo de la presa	Deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones	
Presiones de poro en núcleos impermeables	Deformaciones diferenciales en contacto núcleo-estribos en zonas de fuerte pendiente	
Presiones de poro en filtros y manto drenante aguas abajo	Deformaciones verticales y horizontales	Empuje efectivo en zonas de contacto de núcleo con aliviadero o zonas singulares
Presiones de poro en filtros de disipación de presiones	Deformaciones de la cimentación	
Niveles piezométricos en el contacto de núcleos impermeables con el cimientto	Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos	
Niveles piezométricos en la cimentación	Deformaciones de la pantalla impermeable (si existe)	

Fuente: (Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2014)

1.3. CRITERIOS Y RECOMENDACIONES GENERALES

La necesidad de instalar un instrumento debe responder a un conjunto de preguntas:

- ¿Qué necesita medirse?
- ¿Por qué necesita medirse?
- ¿Cómo necesita medirse?

- ¿Dónde necesita medirse?
- ¿Con qué frecuencia necesita medirse?

Para dar respuesta a estas interrogantes, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cada presa es un conjunto único, constituido por la estructura y su cimiento.
- La finalidad fundamental del sistema de auscultación es la seguridad de una presa.
- Cada sensor que se coloque debe suministrar datos que ayuden a la interpretación del comportamiento del conjunto.
- La altura de la presa no es el único parámetro que fija la importancia de la auscultación.
- Los sensores han de ser leídos inmediatamente después de colocados y con un programa previamente establecido, de esta manera se contará con datos iniciales del comportamiento del conjunto.
- No se deben instalar sensores cuya función no esté claramente definida.
- Hay que tener siempre presente que la auscultación no consiste solamente en instalar sensores, sino en emplearlos para tomar mediciones debidamente y con un programa definido, para así poder procesar la información obtenida, analizarla, interpretarla y emitir un diagnóstico fiable.

1.4. ADQUISICIÓN Y PROCESO DE DATOS

La eficiencia de un sistema de auscultación especialmente en la puesta en carga crece en relación inversa con el tiempo que transcurre entre la toma de un dato en campo y el análisis por parte del responsable de la seguridad de la presa.

1.4.1. LA TOMA DE DATOS

Realizar una lectura rápidamente y con fiabilidad, para luego transformarla en unidades físicas de ingeniería, validarla, analizarla, y correlacionarla con otras variables, son un conjunto de tareas que debe tener solucionado cualquier sistema de auscultación a implantar.

Si además del tiempo, analizamos los factores que intervienen desde que se toma una lectura hasta que se redacta un informe, veremos que son principalmente dos los que influyen en el resultado final, el tipo y calidad de sensores y los métodos de adquisición de datos (medición manual o automática). Los dos factores mencionados deben ser optimizados como prioridad.

1.4.2. MEDICIÓN MANUAL Y AUTOMÁTICA

Los métodos de adquisición de datos dependen del tipo de sensores utilizados y que en esencia se fundamentan en los siguientes principios físicos:

- Eléctricos y electromagnéticos.
- Mecánicos.
- Hidráulicos y neumáticos.
- Ópticos.
- Etc.

Los sistemas de medición a utilizar pueden ser de lectura manual (con equipos fijos o portátiles) y de lectura automática.

Sobre la utilización del sistema manual o automático, hay divergencias importantes, algunos países defienden que la automatización sea prácticamente obligatoria, mientras que otros consideran que en el caso de automatizar se perderían parte de las observaciones visuales que siempre serán necesarias en una presa. La opinión más generalizada es que ambos sistemas son compatibles y deben utilizarse conjuntamente.

Los sistemas automáticos de adquisición de datos son cada día más potentes, la cantidad de información que pueden obtener y manejar es un problema menor, la fiabilidad de los datos obtenidos crece con rapidez, además los sistemas de transmisión suministran al ingeniero información prácticamente en tiempo real.

No obstante estos sistemas tienen desventajas, como ser: necesidad de personal más calificado, establecimiento obligatorio de un programa de mantenimiento y calibración periódico, tanto correctivo como preventivo, y peligro que las observaciones “in situ” no se realicen con la frecuencia necesaria.

Para evitar las desventajas y potenciar las ventajas, se deben establecer unas normas de explotación claras y rigurosas donde se conjuguen ambos sistemas, empleando por una parte los manuales para obtener algunas de las magnitudes que bien no pueden ser automatizadas o bien otras cuya información interesa a largo plazo.

Los casos en que es más recomendable la implantación de un sistema automatizado son:

- Presas de acceso difícil durante todo el año o en períodos específicos.
- Necesidad de medir variables de control que fluctúan con rapidez.
- Presas de gran altura y normalmente con gran número de sensores.
- Necesidad de un análisis rápido de las mediciones.
- Presas con consideraciones particulares de tipo social (especialmente las de riesgo elevado) y ambiental.

Los sistemas automatizados pueden ser centralizados o distribuidos. En los primeros los cables de los sensores llegan a una entrada de proceso de datos o varias interconectadas entre sí, y en los segundos están acoplados directamente a una red, normalmente en anillo, a través de unidades micro controladas inteligentes, que se encargan del proceso de medición, almacenamiento de datos y cálculo de las variables en unidades físicas de ingeniería. Con los sistemas distribuidos se tienen ventajas, como ser ahorro de cables, y la no paralización del sistema de auscultación automatizado, en caso de averías locales.

Conjugando la utilización de los sistemas manual y automático, se puede obtener de cada uno lo mejor, garantizando que las presas estén controladas y al mismo tiempo vigiladas por personal técnicamente preparado.

1.4.3. INSPECCIÓN VISUAL Y VISITAS DETALLADAS

Las visitas a presas y la inspección visual detallada son importantes, complementan a la adquisición de datos por los sistemas de auscultación implantados y siempre son necesarias.

Estas visitas las deben realizar técnicos calificados (no los técnicos que realizan las lecturas normales) y en ellas se deben observar y anotar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Estado del terreno aguas abajo de la presa, prestando especial atención a las variaciones en los caudales fluyentes, en la vegetación que puedan indicar posibles filtraciones, humedades, desprendimientos, movimientos y cualquier otra cosa que pueda indicar algún comportamiento anormal.
- Zona de impacto o salida del agua del aliviadero, con especial atención a posibles erosiones, para esto se utilizarán como datos comparativos, fotografías tomadas en fechas anteriores.
- Humedades o fisuras en el paramento, tanto aguas abajo como de las galerías y cuando sea posible, aguas arriba. Posibles deslizamientos, huecos, socavones, asientos, etc., tanto en los taludes como en la coronación de las presas de materiales sueltos.
 - Variaciones de caudales, color de agua, materia en suspensión, etc., de los caudales drenados, así como los posibles arrastres de material sólido.
 - Fisuras o grietas en el terreno.
 - Estado de conservación de todos los equipos instalados en la presa, tanto de auscultación como de cualquier otro tipo. Estado de los accesos, medios de comunicación y dispositivos de seguridad.

En general cualquier otro signo, tanto en el terreno como en la propia estructura, que pueda tener relación aunque sea remota, con el estado de seguridad de la presa. Además se deben tomar fotografías desde un mismo punto, con objeto de que puedan compararse entre sí en fechas distintas y observar en ellas posibles cambios.

Las fotografías deben tomarse principalmente en los paramentos de la presa, sus estribos, terreno aguas abajo (laderas y cuenco, abarcando una zona amplia), canal de aliviadero (si este existiera), zona de influencia del aliviadero en el cuenco, para controlar posibles erosiones y las laderas aguas arriba de la presa.

Se deben indicar la fecha, hora del día y estado del tiempo cuando se tomen las fotografías, y se debe tener especial cuidado en que tanto el emplazamiento como la orientación de la cámara sean lo más similares posible.

1.5. PARÁMETROS A CONSIDERAR

Los parámetros a considerar más significativos para el monitoreo de una presa de materiales sueltos se describen a continuación.

1.5.1. FILTRACIÓN

La filtración es un fenómeno muy influyente en posibles fallas de presas de materiales sueltos. (Tapia, Oñate, & Larese, 2009) En concreto, las posibles anomalías se producen por la combinación de fenómenos de erosión y pérdida de estabilidad debido a la filtración del agua.

La erosión arrastra el material interno de relleno de la presa, mientras que la pérdida de estabilidad se manifiesta con un gran deslizamiento de la estructura. La pérdida en exceso de material en el talud aguas abajo conduce a un fallo mecánico, al igual que lo haría la pérdida excesiva de material cohesivo del núcleo.

En presas de materiales sueltos, es vital disponer de la información referida para prevenir erosiones en el cuerpo de presa. Del mismo modo, en el terreno considerado se hace necesario contar con los datos de presiones y filtraciones para poder actuar, en caso de ser necesario, sobre el cimiento y evitar sifonamientos que repercutan en erosiones. (Extremera et al, 2015)

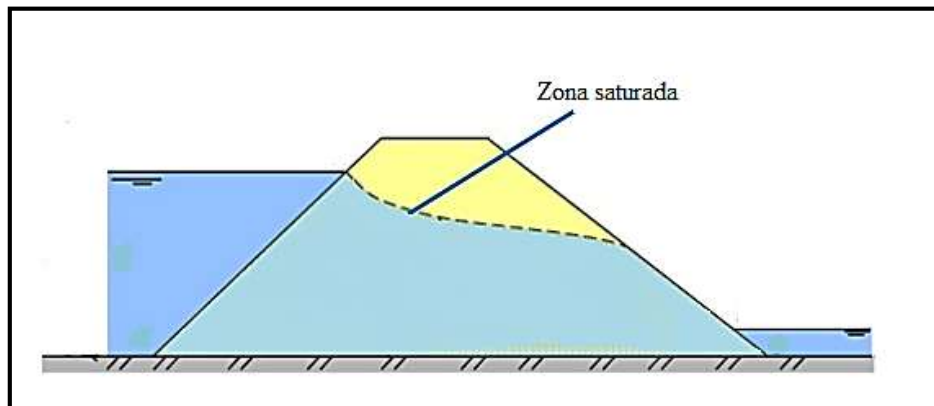
Debido a la brusca irrupción del agua a través de posibles grietas de los terraplenes, bajo los efectos de la carga hidráulica, se ejercen subpresiones (fuerzas dirigidas de abajo hacia

arriba) y presiones en todas direcciones, principalmente durante el primer llenado del embalse o al producirse alguna variación brusca de su nivel.

El flujo de agua a través de una presa de tierra produce los siguientes efectos:

- Uno directo, de pérdida de agua, que suele ser menos importante y más fácil de controlar o subsanar.
- Un estado de presiones internas con componentes opuestas al efecto estabilizador del peso. Además, al estar mojados los materiales, disminuye su cohesión y su resistencia al rozamiento, añadiéndose estos efectos al de sus componentes desestabilizadoras de las presiones internas.
- El paso del agua a través de las zonas con materiales finos tiende a arrastrar esas partículas, con el consiguiente peligro de erosión interna progresiva. Este fenómeno se llama sifonamiento.

Figura 1.2. Filtración a través del cuerpo de la presa



Fuente: (Hinojosa & Moreira, 2006)

1.5.2. MOVIMIENTOS SUPERFICIALES

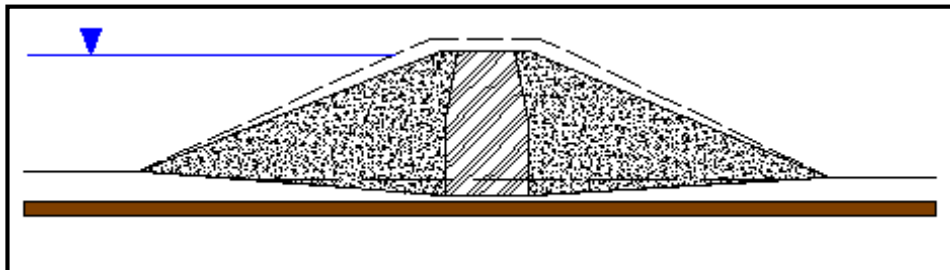
La aplicación de cargas sobre un terreno produce deformaciones que dan lugar a cambios de volumen, y si el suelo está saturado, los cambios de volumen implican expulsión del agua de los poros.

En suelos granulares la permeabilidad es tan grande que para la velocidad habitual de las cargas, el flujo es prácticamente instantáneo. En suelos arcillosos, en cambio, la permeabilidad es tan pequeña que el flujo puede durar mucho. Entonces, esta carga sin flujo de agua provoca un incremento de presión que se va disipando con el tiempo, este proceso se denomina consolidación.

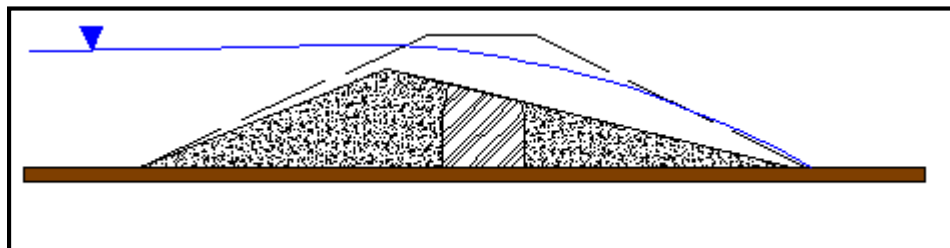
El relleno, incluida su cimentación, debe ser estable bajo la construcción y en todas las condiciones de operación del embalse. Las pendientes de los paramentos deben ser, por tanto, suficientemente planas para asegurar que los esfuerzos internos y la cimentación permanezcan dentro de límites aceptables. Una pobre compactación puede implicar asentamientos grandes fisuras y fugas de agua.

Figura 1.3. a) Asentamiento, b) Rebalse

a)



b)



Fuente: (Hinojosa & Moreira, 2006)

1.5.3. PRESIÓN DE PORO

La presión de poro es la presión interna del agua de saturación. Dicha presión depende de la localización de los niveles freáticos, presiones internas de los acuíferos y las características geológicas del sitio. Los incrementos de presión pueden ocurrir rápidamente en el momento

de una lluvia, dependiendo de la intensidad de la misma, de la tasa de filtración del área tributaria, etc.

El valor de las presiones de poro se mide utilizando piezómetros, si no hay flujo de agua la presión es hidrostática y la medida del piezómetro coincide con el nivel freático, pero si existe flujo las presiones no son hidrostáticas, en este último caso la presión de poro adquiere diferentes valores.

Para el análisis de presiones de poro sobre una superficie de falla se deben tener en cuenta sus condiciones de drenaje. Cuando existe drenaje, la presión de poro disminuye hacia la superficie del talud, pero cuando el drenaje es deficiente se puede presentar un aumento importante de la presión de poro en el pie del talud. La localización del nivel freático corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, equivalente a que la presión neta en el sitio es igual a la presión atmosférica. El nivel de agua determina los niveles de presiones hidrostáticas sobre una superficie localizada por debajo de ese nivel o los valores de presión negativa o de succión para el suelo por encima. En taludes naturales de laderas, la línea de nivel freático general sigue una línea aproximadamente paralela a la superficie del terreno y esta sube por el recargue debido a la infiltración.

El agua subsuperficial puede dividirse entre zonas de presión de poros positiva y negativa. Las presiones de poro positivas son superiores y las negativas son inferiores a la presión atmosférica.

Por debajo del nivel freático el suelo se encuentra saturado, lo cual equivale a que el agua llena todos los poros de los suelos y todas las cavidades de los materiales. El agua existente en la zona de saturación se designa por lo general, como agua freática y su superficie superior es el nivel freático. Cuando las circunstancias geológicas y topográficas son más complejas podrá haber más de una zona de saturación y, por consiguiente, más de un nivel freático en una localidad determinada.

1.5.4. ESFUERZOS

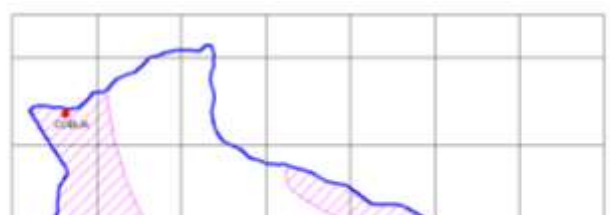
Desde el momento en que se inicia la construcción de una presa de tierra hasta el momento en que se encuentra llena, sus materiales están sujetos a condiciones de esfuerzos que van cambiando con el tiempo y las circunstancias constructivas, sin contar con la influencia debida a la propia naturaleza de los materiales. Una capa compactada a un cierto nivel sufre, durante la construcción, el peso de todo el material que se le va colocando encima, este efecto produce cambios en la relación de vacíos y en el grado de saturación durante todo el tiempo de construcción de la cortina. (Badillo & Rodríguez, 2004)

Estos cambios de volúmen en el suelo producen en el agua de sus vacíos presiones neutrales, que tienden a disiparse en mayor o menor grado, dependiendo de la permeabilidad del suelo, de las condiciones internas de drenaje y del ritmo con que progresa la construcción. Así, al terminarse la presa, existirán en general presiones neutrales en sus suelos componentes de baja permeabilidad y se habrán disipado en sus partes permeables. Una vez llena la presa, el agua satura rápidamente las partes permeables y alcanza a saturar con el tiempo las impermeables, cambiando el valor de las presiones neutrales remanentes del período de construcción, se habrá producido así un nuevo estado de esfuerzos en los materiales que componen la cortina y, por ende, se habrá desarrollado una nueva resistencia al esfuerzo cortante. Suponiendo que por alguna circunstancia la presa se vacía rápidamente, este vaciado impondrá un nuevo estado de esfuerzos, al producirse un nuevo cambio en las presiones neutrales dentro de la cortina. Así, los esfuerzos efectivos dentro de la masa están variando constantemente con circunstancias constructivas o propias del funcionamiento de la presa. Cada estado representa un factor de seguridad diferente para la presa.

1.5.5. SISMOS

De acuerdo al Código Boliviano del Hormigón Armado, se realizó una zonificación sísmica con valores de aceleración máxima en función de “g”, definidos para todos los departamentos del país como se muestra en la figura 2.4. De este mapa podemos apreciar que el valor de aceleración máxima es de 0,05 g.

Figura 1.4. Mapa sísmico de Bolivia



Fuente: (Observatorio San Calixto, 2016)

La zona de proyecto, comunidad de Ipa, perteneciente a la Tercera Sección de Villa Montes, Departamento de Tarija; se ubica en una zona considerada de amenaza sísmica media, existiendo una falla próxima que es la Falla tipo Normal de Tarija con una longitud de 43,5 Km y un terremoto potencial máximo de 7 en la escala de Richter.

En cuanto a los últimos sismos ocurridos cercanos a la zona de proyecto, presentan un poco de variación, ya que van desde 3,9 a 4 en la escala de Richter y en cuanto a la intensidad varía desde I hasta III en la escala de Mercalli Modificada. (Panique, 2014)

1.6. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos más comúnmente empleados para el monitoreo de los parámetros mencionados anteriormente son los siguientes.

1.6.1. AFORADORES DE FILTRACIONES

Los dispositivos de aforos de filtraciones consisten principalmente en vertederos triangulares o canalillos medidores. Los vertederos de aforo pueden adaptarse para conseguir un registro continuo de los caudales de filtración.

El caudal se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = 1,40 H^{5/2} \text{ (para vertederos de } 90^\circ\text{)}$$

Dónde:

Q = Gasto (m³/s)

H = Carga de agua (m)

Figura 1.5. Aforador de caudal



Fuente: (Visita presa de Calderas, 2014)

Un aforo preciso y continuo del caudal de filtración realizado con frecuencia y en inspecciones visuales del vigilante, constituye un medio rápido y eficaz para detectar cualquier anomalía de la presa.

1.6.2. MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS SUPERFICIALES

Por lo general las presas, diques y estructuras de control de aguas se encuentran sujetas a cargas externas que causan deformaciones y filtraciones tanto en su cimentación como en su estructura.

Lo recomendable es realizar mediciones e inspecciones visuales mediante la colocación de dispositivos de auscultación, lo cual se pretende controlar aquellos parámetros más

importantes del comportamiento de la presa y el cimiento, para así comprobar su funcionamiento o por lo contrario, detectar la aparición de anomalías que puedan comprometer la seguridad de la obra. Los parámetros que mejor reflejan dicho comportamiento son: movimientos, deformaciones, presiones de agua, filtraciones y deterioro de los materiales constituyentes de la presa.

Con el avance de la tecnología, en la actualidad se cuenta con una gama de herramientas que hacen posible la medición y el cálculo de manera más rápida, eficiente y precisa de los movimientos superficiales de una obra hidráulica.

El método topográfico hace uso de equipos precisos y completos, como lo son las estaciones totales que permiten la obtención de ángulos y distancias reducidas al horizonte de manera más rápida, así como la determinación en tiempo real de las coordenadas de los puntos observados. Para establecer puntos referenciales, se encuentran los sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS, por sus siglas en inglés) que permiten conocer de manera precisa la ubicación en coordenadas UTM (X, Y, Z) de los puntos de referencia a los cuales se encuentran enlazados los puntos observados.

Para instalar los testigos superficiales, normalmente se hace una pequeña excavación empleando pico y pala, en algunos casos se utiliza cimbra y un colado de concreto simple, ocasionalmente se requiere de acero de refuerzo y de la colocación de algunas piezas metálicas. Para la toma de lecturas, se emplea un equipo topográfico de precisión. Para conocer los movimientos que soportan una cortina o terraplén, durante y posteriormente a su construcción, es necesario instalar un grupo de monumentos que sirven para realizar mediciones y así determinar tales movimientos. Los monumentos se dividen en testigos superficiales y bancos de referencia.

Testigos superficiales

Son monumentos que se construyen sobre la cortina y los taludes de la presa, de esta forma son afectados por los movimientos tanto horizontales como verticales a que está sujeta la obra. En nuestro medio son denominados como mojones topográficos.

Figura 1.6. Testigo superficial



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

Puntos de referencia

Son monumentos ubicados en las laderas, fuera de la influencia de la presa, en lugares estables y firmes. Se utilizan como puntos de control ya que a partir de ellos se realizan las mediciones hacia los testigos superficiales, llamados también BM'S.

Figura 1.7. Punto de referencia



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

Equipo de Medición

El equipo mayormente empleado en nuestro medio para aplicar el método topográfico es el siguiente:

- Nivel topográfico.
- Estación total.

Nivel topográfico

También llamado nivel óptico o equialtímetro, diseñado para medir desniveles entre puntos que se encuentran a diferentes alturas; también se utiliza para pasar cotas de puntos conocidos hacia puntos desconocidos. Algunos tipos de niveles son los siguientes: de mano, fijo, basculante, automático, láser y electrónico. Actualmente, los de mayor demanda son los automáticos y los electrónicos, ya que éstos son de los más precisos que existen en el mercado.

Figura 1.8. Nivel topográfico



Fuente: (ACRE Surveying Solutions, 2015)

Estación Total

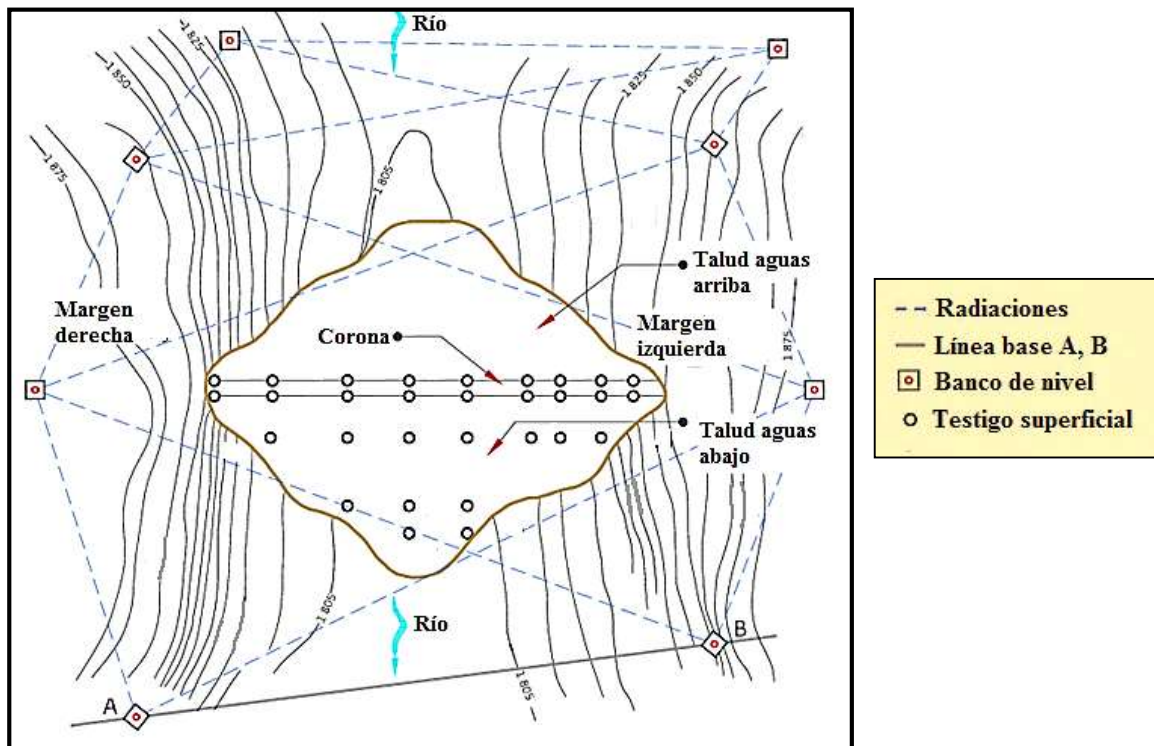
La estación total es una combinación entre un distanciómetro, un microprocesador y un teodolito electrónico. Con ella se pueden realizar las mediciones electrónicas de distancias, transferir los datos a un procesador interno o externo, además tiene la capacidad de realizar múltiples tareas de medición, guardar datos y realizar cálculos en tiempo real. En la figura 2.9, se muestra una estación total.

Figura 1.9. Estación total



Fuente: (ACRE Surveying Solutions, 2015)

Figura 1.10. Esquema de ubicación de referencias topográficas



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

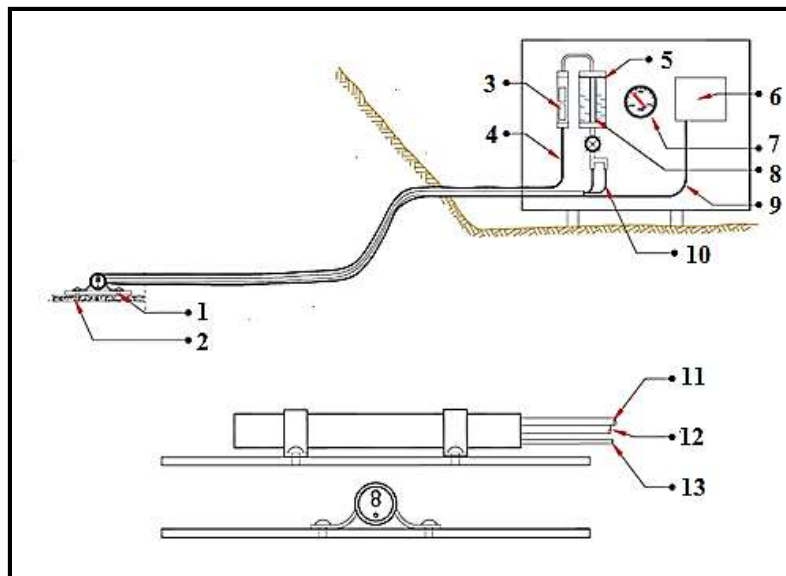
Como ya se mencionó anteriormente, las mediciones realizadas de las deformaciones de una obra hidráulica, se efectúan a partir de los bancos de control, es decir, los bancos de control son el marco de referencia para la determinación de los movimientos de la obra en general, de la ubicación y control de movimientos de los brocales de los instrumentos, así como de la ubicación y movimiento de los testigos superficiales.

1.6.3. CELDAS DE ASENTAMIENTO

La celda de asentamiento es un instrumento muy sencillo y útil, que está diseñado para medir deformaciones verticales (asentamientos o expansiones) en un punto de interés al interior de un terraplén. Las lecturas se realizan desde una caseta y es particularmente útil donde el acceso es difícil. Además, su instalación no interfiere con el proceso de construcción.

Las celdas de asentamiento consisten en tres componentes principales: un transductor de presión, un conjunto de tubos y cables de conexión, y un depósito de líquido, como se muestra en la figura 2.11.

Figura 1.11. Componentes celda de asentamiento



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

Referencias

- 1) Celda de asentamiento.
- 2) Cama de arena compactada de 10 cm de espesor.
- 3) Cámara desecante.
- 4) Línea de ventilación.
- 5) Depósito.
- 6) Caja terminal.
- 7) Barómetro.
- 8) Escala.
- 9) Cable eléctrico

- 10) Tubo de fluido.
- 11) Línea de ventilación de 3.18 mm (1/8 plg).
- 12) Tubo de fluido de 4.76 mm (3/16 plg).
- 13) Cable eléctrico.

A continuación, se describen brevemente los componentes principales y los accesorios:

Transductor

Dispositivo que consta de una carcasa hermética de acero inoxidable en donde se aloja el sensor para medir la presión. Los transductores pueden ser de cuerda vibrante o neumáticos.

Tubos portadores

Consisten en un par de tubos de plástico de 4.8 mm (3/16 plg) de diámetro dentro de una cubierta de polietileno, que están llenos de un líquido compuesto por una mezcla de 50% de agua y 50% líquido anticongelante (etilenglicol). Los tubos usan conectores rápidos para acoplarse al depósito de líquido. En el transductor venteado utiliza un tubo de 3.2 mm (1/8 plg) de diámetro conectado a una cámara desecante (para absorción de humedad).

Depósito de líquido

Este depósito mantiene llena la tubería de conexión con el transductor. El líquido es agua desaerada; si el instrumento está localizado en un sitio donde se presenten heladas, el líquido debe estar compuesto por una mezcla de agua y etilenglicol en una proporción 1:1.

Derivador múltiple

Conecta el depósito hasta ocho celdas.

Barómetro

Registra la presión atmosférica en el momento de la toma de lecturas.

Unidad de lectura

Tiene la función de proporcionar la energía y recibir las señales eléctricas del transductor, exhibir las lecturas en forma digital y almacenar los datos. En la figura 2.12 se muestra una celda de asentamiento.

Figura 1.12. Celda de asentamiento



Fuente: (SIGGEO s.r.l., 2015)

Para la instalación el transductor de presión unido al tubo lleno de líquido queda embebido en el relleno, el otro extremo del tubo termina en un depósito de líquido. El depósito de líquido debe colocarse con una elevación mayor que el punto de medición. El tubo actúa como una columna de líquido, y el transductor mide la presión en el fondo creada por la columna de agua. Al asentarse la base en la que está colocado el transductor, se incrementa la altura de la columna de agua. El asentamiento se calcula midiendo el cambio de presión y transformándolo en metros de carga hidráulica, mediante la diferencia se conoce el asentamiento.

Figura 1.13. Instalación celda de asentamiento



Fuente: (SIGGEO s.r.l., 2015)

Figura 1.14. Tendido de cable hasta punto de medición



Fuente: (SIGGEO s.r.l., 2015)

1.6.4. PIEZÓMETRO ABIERTO O DE CASAGRANDE

El piezómetro abierto consiste en un tubo corto con ranuras o un cilindro de cerámica porosa, llamado bulbo piezométrico. A uno de sus extremos se le acoplan tubos rectos de menor diámetro hasta alcanzar la superficie. La elevación de la superficie libre de la columna de agua que sube por la tubería recta por efectos de la presión de poro, se mide desde la superficie del terreno con una sonda eléctrica.

Figura 1.15. Tipos de bulbos piezométricos



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

La sonda consiste en un cable de dos conductores eléctricos con una barra cilíndrica pesada de acero inoxidable en su extremo inferior, y un dispositivo de lectura. El extremo superior del cable se conecta a una batería y a un indicador de luz, una alarma o un amperímetro. La

punta se baja dentro del tubo del piezómetro y, al encontrar la superficie del agua, el circuito eléctrico se cierra y se acciona el indicador. En la figura 2.16 se muestra la sonda.

Figura 1.16. Sonda eléctrica



Fuente: (SIGGEO s.r.l., 2015)

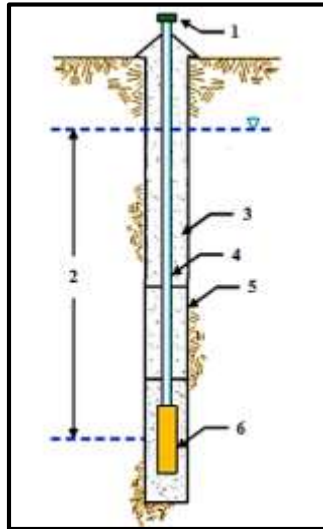
Para la instalación del piezómetro abierto se hace descender el bulbo piezométrico a la posición deseada, en un empaque de arena, a través de una perforación o barreno. Al sellar el empaque de arena con bentonita a una cierta altura del bulbo, se forma una zona piezométrica que garantiza la medición de la presión de poro a la profundidad de instalación del bulbo.

El agua del interior del cuerpo de la presa es captada en el punto de interés y la presión que actúa en ese punto se eleva a través de la tubería hasta una posición que equilibra la presión en el bulbo piezométrico, la altura de la columna de agua desde la elevación del bulbo piezométrico hasta el nivel del agua en la tubería, es la medida de la presión de poro en ese punto.

La variación de las presiones de poro se obtiene con la medición de las distancias de la superficie libre del agua en el ducto, respecto al nivel de elevación del brocal del tubo de PVC del piezómetro, con esta distancia y el nivel de elevación del bulbo piezométrico, se obtiene la longitud de la columna de agua que interesa.

La figura 2.17 muestra un esquema tipo de la instalación de un piezómetro abierto.

Figura 1.17. Piezómetro abierto o de casagrande.



Fuente: (Hinojosa & Moreira, 2006)

Referencia:

- 1) Tapa de protección.
- 2) Presión de poro del agua.
- 3) Lechada de cemento o bentonita.
- 4) Tubería.
- 5) Sello de bentonita.
- 6) Bulbo piezométrico.

1.6.5. PIEZÓMETRO NEUMÁTICO

Los piezómetros neumáticos se usan para medir las variaciones de la presión de poro que se presentan en una masa de suelo; y particularmente son muy útiles cuando se instalan en suelos de baja permeabilidad, ya que tienen la ventaja de responder con pequeños volúmenes de agua desplazados en el interior de la celda piezométrica, por ello se denominan de respuesta rápida. Este tipo de piezómetro permite medir la distribución de presiones de poro a lo largo de una vertical, si se coloca una serie de estos piezómetros a diferentes elevaciones, de igual manera puede conocerse la distribución de presiones a lo largo de una horizontal si se los coloca a una misma elevación.

Figura 1.18. Tipos de piezómetros neumáticos



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

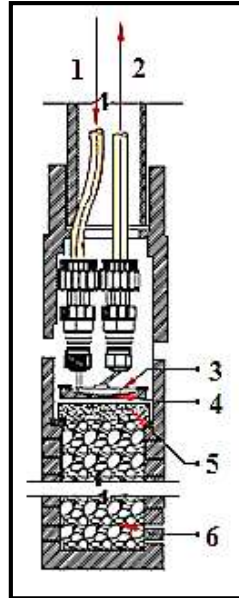
El piezómetro neumático consta principalmente de tres partes: un cilindro metálico (piezómetro) que contiene un diafragma y una piedra porosa, dos mangueras de aire y un dispositivo de medición para inyectar aire a presión. El cilindro metálico, en uno de sus extremos, contiene un disco poroso que protege a un diafragma flexible; en el otro extremo del cilindro se insertan dos ductos o mangueras flexibles de 0.64 cm (1/4 plg) de diámetro, de las que el extremo de una de ellas está separada del diafragma y se conecta con una fuente de gas con presión y un manómetro; la otra manguera que tiene su extremo en contacto con el diafragma, se conecta a la atmósfera. Por el lado del disco poroso, a la celda metálica se le puede acoplar un tubo de PVC con arena gruesa a media como filtro o un cilindro de cerámica porosa. El filtro de PVC tiene 5.08 cm (2 plg) de diámetro y de 20.32 cm (8 plg) de longitud aproximadamente, con perforaciones de 0.32 cm (1/8 plg) de diámetro o ranuras de 0.16 cm (1/16 plg) de ancho, que contiene arena limpia bien graduada, de gruesa a media, como filtro. Las versiones actualizadas de piezómetros neumáticos en el mercado, sustituyen el filtro de PVC con un filtro de cerámica porosa. El arreglo de celda metálica y el filtro forman el bulbo piezométrico. Entre el diafragma y el disco poroso se encuentra un disco metálico perforado ligeramente cóncavo hacia la membrana, esta cavidad permite el desplazamiento del diafragma hacia ella al inyectar presión del exterior y libera la entrada del ducto al exterior.

Figura 1.19. a) Componentes del bulbo piezométrico, b) Piezómetro neumático instalado

a)

Referencias:

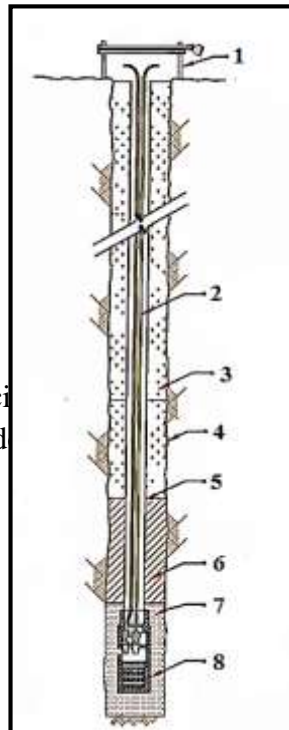
- 1) Línea de presión.
- 2) Línea de retorno.
- 3) Diafragma.
- 4) Disco metálico perforado.
- 5) Piedra porosa.
- 6) Filtro de arena bien graduada.



b)

Referencias:

- 1) Caja de protección.
- 2) Tubo de plástico de ¼ plg.
- 3) Mortero arena-cemento.
- 4) Perforación de 4 plg.
- 5) Tubería de PVC para protección.
- 6) Sello de bentonita compactada.
- 7) Arena limpia bien graduada.
- 8) Bulbo piezométrico.



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

La medición de la presión de poro se realiza con equipo portátil que incluye la fuente de gas para la activación del diafragma y el manómetro para la lectura de la presión de inyección y la presión de equilibrio.

Actualmente, existen en el mercado equipos portátiles más ligeros y compactos para la toma de lecturas de piezómetros neumáticos con el tanque fuente de gas integrado, los cuales contienen aire, nitrógeno o dióxido de carbono. En la figura 2.20, se muestra un gabinete compacto para trasladarlo al sitio de medición, que cuenta con un panel de control con capacidades para la automatización de la toma de datos de presión de poro, y así poder descargarlos en sistemas de cómputo para su procesamiento, algunos de estos equipos incluyen dispositivos para controlar la velocidad de flujo del gas excedente en la tubería de salida.

Figura 1.20. Gabinete compacto para toma de lecturas



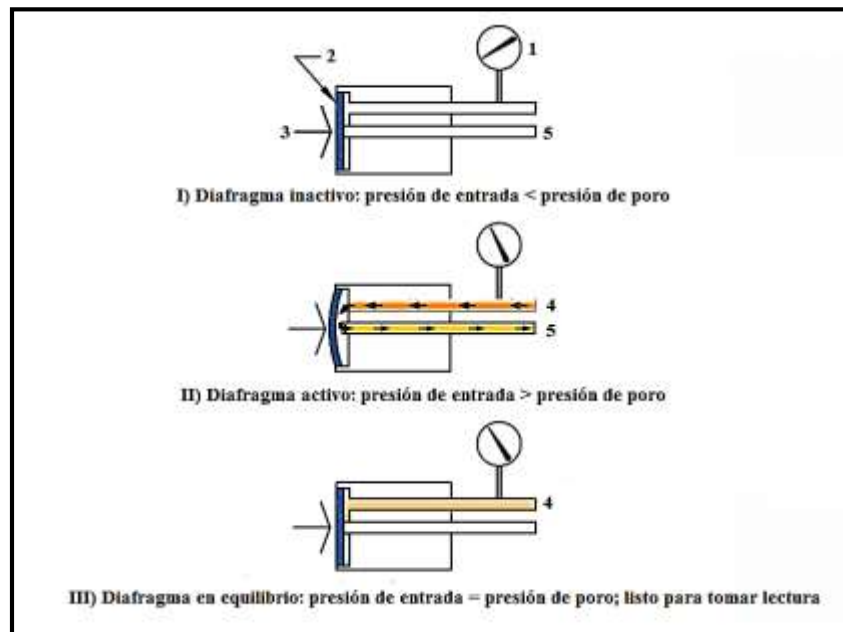
Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

La única parte en movimiento del piezómetro neumático es el diafragma flexible que se encuentra en contacto directo con el agua subterránea después del filtro, la presión de poro actúa sobre uno de los lados del diafragma, y la presión del gas inyectado desde el exterior, sobre el lado opuesto.

Para obtener el valor de la presión de poro, por el ducto de entrada se inyecta gas a presión a través de una manguera conectada a un indicador de una fuente presurizada. La presión de

inyección se incrementa hasta exceder la presión de poro, este exceso de presión desplaza el diafragma hacia el filtro (disco poroso), lo cual libera la entrada del tubo de ventilación o salida, y expulsa el exceso de presión inyectada. Al detectarse el flujo de gas de regreso, se cierra la válvula de inyección; el gas continúa saliendo y la presión de inyección actuante sobre el diafragma disminuye hasta que la presión de poro cierra la entrada del tubo de ventilación y el gas deja de escapar. En ese momento se alcanza el equilibrio entre la presión del gas del interior y la presión de poro, cuyo valor lo indica el manómetro como lectura de la presión de poro de la zona piezométrica. En la figura 2.21, se muestra el esquema del funcionamiento del diafragma ante las presiones de poro y de inyección.

Figura 1.21. Funcionamiento del diafragma del piezómetro neumático



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

Referencias:

- 1) Medidor de presión.
- 2) Diafragma.
- 3) Presión de poro.
- 4) Entrada.
- 5) Salida.

1.6.6. PIEZÓMETRO ELÉCTRICO

El principio de operación de un piezómetro eléctrico se basa en un diafragma que se flexiona bajo la acción de la presión de poro que actúa en uno de sus lados después de pasar por una piedra porosa. La deflexión es proporcional a la presión aplicada y se mide por medio de diversos sensores o transductores eléctricos. Los sensores convierten la presión de agua en una señal eléctrica que se transmite mediante un cable hasta el sitio de medición. Los piezómetros eléctricos se pueden emplear en los mismos casos en los que se utilizan piezómetros abiertos tipo Casagrande, así como, en pozos de observación, e incluso para registrar el nivel de agua en canales vertedores de galerías de filtración o para conocer el nivel de agua de un río o de un embalse. Las principales tecnologías empleadas en la fabricación de estos instrumentos consisten en sensores piezorresistivos y de cuerda vibrante.

Piezómetro de sensor piezorresistivo

El sensor piezorresistivo contiene un diafragma delgado de cerámica con resistores. Al deformarse el diafragma con la presión del agua, se modifica la resistencia de los sensores en forma directamente proporcional a la presión aplicada. De manera electrónica, se convierte esta señal de salida en una señal de corriente eléctrica en un rango de 4 mA a 20 mA (miliamperes). La respuesta del sensor piezorresistivo a cambios de presión es muy rápida, ya que no requiere cambios volumétricos importantes, y muestra una gran precisión, aún para rangos de presión pequeños. Se puede usar para efectuar mediciones dinámicas y conectarse a un sistema automático de captura de datos.

Piezómetro de cuerda vibrante

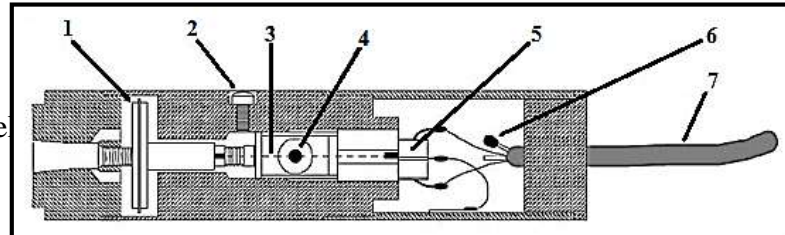
Un piezómetro de cuerda vibrante se activa con un cambio en la presión de poro, el cual induce una deflexión en su diafragma y, en consecuencia, un cambio en la tensión de la cuerda. La tensión en la cuerda se mide haciéndola vibrar para conocer su frecuencia natural de vibración. La vibración se produce mediante un pulso de voltaje a través de una bobina colocada junto a la cuerda. La frecuencia de vibración de la cuerda es idéntica a la frecuencia de voltaje de salida, que se trasmite a lo largo del cable eléctrico hasta el dispositivo que mide dicha frecuencia. Las variaciones se producen en función de la tensión de la cuerda y a su

vez ésta varía en función de la presión de agua. La señal que se transmite por el cable no se distorsiona con la longitud de éste, por tanto, se puede modificar la longitud del cable (cortar o añadir, hasta 1000 m) sin afectar la medición. En la figura 2.22 se muestra esquemáticamente un piezómetro eléctrico de cuerda vibrante (PCV).

Figura 1.22. Piezómetro de cuerda vibrante

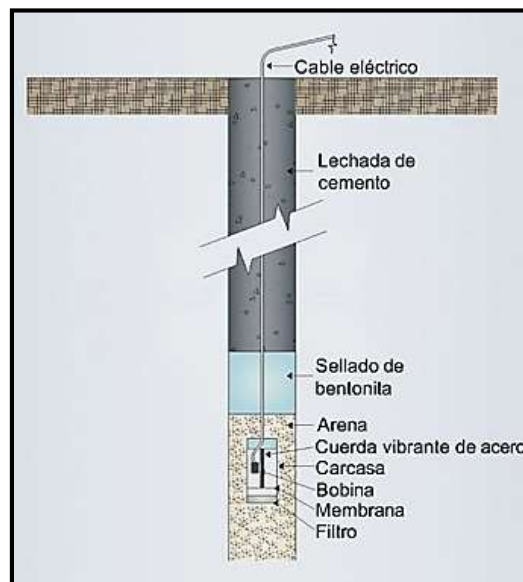
Referencias:

- 1) Diafragma.
- 2) Tornillo de sellado.
- 3) Cuerda.
- 4) Bobina.
- 5) Protector tripolar.
- 6) Semiconductor termómetro.
- 7) Cable de señal.



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

Figura 1.23. Instalación típica de piezómetro de cuerda vibrante



Fuente: (Hinojosa & Moreira, 2006)

Figura 1.24. Tipos de piezómetros de cuerda vibrante



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012)

Antes de instalar el piezómetro de cuerda vibrante en su sitio, se debe determinar la lectura cero, lectura inicial o lectura base. Este dato está indicado en el certificado de calibración y es la lectura del piezómetro a la presión atmosférica en las condiciones del laboratorio del fabricante. La determinación de la misma consiste en tomar una serie de lecturas del piezómetro conectándolo a una unidad de activación, hasta que se obtengan valores iguales repetidos, esta operación debe realizarse en condiciones de temperatura ambiental constante y bajo la sombra, debido a que las temperaturas extremas pueden producir lecturas erróneas.

La determinación de la lectura inicial o cero en condiciones de campo es una prueba de aceptación y una verificación de que el piezómetro trabaja apropiadamente, es aceptable una leve diferencia entre las lecturas de campo y la lectura inicial indicada en el certificado de calibración. Las diferencias de gran magnitud pueden indicar fallas en el sensor o daños en el cable. (SISGEO s.r.l, 2015)

Figura 1.25. Unidad de activación y lectura para cuerda vibrante



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

1.6.7. CELDAS DE PRESIÓN

Estas celdas son empleadas para medir los esfuerzos totales en el interior de una masa de suelo, debido a los procesos de construcción, es una necesidad de gran importancia para la ingeniería de presas. Además esta medición es necesaria para calcular los esfuerzos efectivos y como consecuencia conocer la resistencia al esfuerzo cortante en el punto de medición. Una celda de presión consta de cuatro partes básicas: una cápsula plana llena de líquido, un sensor, un cable eléctrico y una unidad de lectura.

Las celdas de presión se pueden dividir en dos categorías en función de su aplicación: celdas de presión en suelos y celdas de contacto. Las celdas de presión en suelos se instalan en el interior de una masa de suelo o relleno y las celdas de presión de contacto se usan para medir las presiones de tierra que actúan sobre estructuras enterradas. En el caso de las celdas de presión en suelos, se tienen dos tipos: de diafragma e hidráulicas.

1.6.7.1. CELDAS DE PRESIÓN DE DIAFRAGMA

Están constituidas por una membrana circular rígida apoyada sobre un anillo perimetral, la membrana circular se deforma debido a la presión externa, la deformación se detecta mediante un transductor de resistencia eléctrica adherido sobre la cara interna de la membrana circular, o por un transductor de cuerda vibrante, dicha cuerda se encuentra soportada por postes adheridos también a la cara interna de la membrana.

Figura 1.26. Celda de Presión de Diafragma

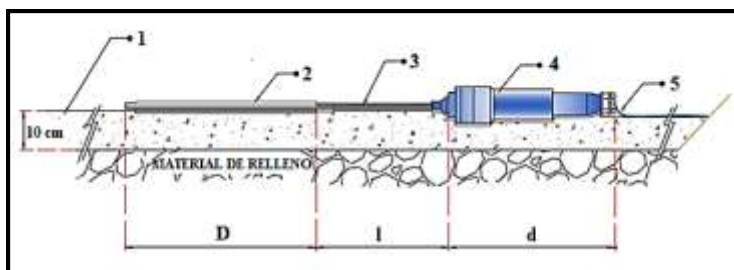


Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

1.6.7.2. CELDA DE PRESIÓN HIDRÁULICA

Es una cápsula plana (lenteja) que consiste en dos placas de acero, circulares o rectangulares, que se unen con soldadura en la periferia. La cavidad interna entre sus caras se llena con un fluido no compresible y se conecta a un transductor mediante un tramo de tubo de acero inoxidable.

Figura 1.27. Componentes celda de presión hidráulica



Fuente: (Comisión Nacional Mexicana del Agua, 2012).

Referencias:

- 1) Capa de suelo compactado libre de partículas gruesas.
- 2) Celda de presión.
- 3) Tubo de conexión.
- 4) Transductor.
- 5) Cable.
- 6) D: diámetro de la celda.
- 7) l: longitud del tubo.
- 8) d: longitud del transductor.

En las cortinas de tierra y enrocamiento se recomienda utilizar las celdas tipo hidráulica, ya que son de alta sensibilidad, si se garantiza que el fluido que llena la cavidad interna no contenga burbujas de aire. Estas celdas se instalan durante la colocación de los materiales de relleno.

En el mercado existen diversos modelos de celdas tipo hidráulica de diferentes dimensiones, con diámetros (D) que varían de 20 cm a 50 cm y espesores (t) que varía de 6 mm a 12 mm, manteniendo siempre una relación de aspecto, D/t mayor que 20. El tubo que conecta la celda con el transductor es de acero inoxidable, de 6 mm de diámetro con una longitud variable. El tipo de transductor puede ser neumático, de resistencia eléctrica, de cuerda vibrante, piezocerámicos o de fibra óptica.

Figura 1.28. Celda de presión hidráulica



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

El propósito del contacto pleno es que la presión aplicada a la cápsula sea uniforme, por tanto, deben evitarse las protuberancias de la superficie de contacto, grumos y/o gravas, más rígidas ya que producen concentraciones de esfuerzos. La naturaleza y rigidez distinta de la cápsula y el suelo no se pueden evitar. Es recomendable que los suelos que rodean a la cápsula, tengan el mismo contenido de agua y grado de compactación que los suelos del terraplén, con ello se logra una rigidez homogénea en torno a la celda y una disminución de los efectos de arqueado del suelo.

Durante las operaciones de instalación de la celda (colocación del relleno, relleno y compactación del terraplén sobre la celda, tendido de cables, relleno y compactación de materiales de recubrimiento) debe verificarse que la celda no deje de funcionar. Cuando se trata de celdas individuales generalmente se colocan en posición horizontal para medir los esfuerzos verticales. Cuando es de interés medir las presiones en diferentes direcciones en una zona determinada del relleno, se instala un grupo de celdas con una distribución específica y a una misma elevación en posición horizontal (esfuerzos verticales), vertical (esfuerzos horizontales) y en posición inclinada, respecto a la horizontal.

1.6.8. ACELERÓGRAFO

Con el fin de determinar el comportamiento sísmico o dinámico de estructuras es posible colocar diversos tipos de sensores dependiendo de la magnitud física que se pretenda registrar que puede medir aceleración, velocidad o desplazamiento. Generalmente la aceleración es la magnitud que más suele utilizarse para determinar comportamientos sísmicos o dinámicos. Generalmente un sistema de registro de aceleraciones está formado por acelerógrafos que se colocan en diversos puntos de la estructura, los cuales envían información a una central de registro que puede ser análoga o digital, dependiendo de la forma de almacenamiento de la unidad. El acelerógrafo es un instrumento que registra la aceleración del suelo, provocada por un sismo, en función del tiempo. Consisten en un equipo con capacidad de adquirir 3 canales, el cual cuenta con un acelerómetro triaxial y con un rango de $\pm 2g$. Así mismo, este equipo cuenta con un receptor de GPS para el control del tiempo y localización de la estación central, además de una memoria de 64 Mb para el almacenamiento de los eventos sísmicos. La configuración de parámetros se realiza por medio de puerto serial RS-232, telemetría de tiempo real y recepción de eventos.

Figura 1.29. Acelerógrafo Portátil



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

1.6.9. Estación Meteorológica Automática

La estación meteorológica automática registra datos que permiten llevar un registro detallado y continuo de información climática a intervalos regulares que pueden ser en algunos casos definidos por el usuario, por ejemplo cada 15 minutos, durante las 24 horas del día, los 365

días del año. Esta información, una vez que es recogida por la estación se puede procesar en un computador.

Los datos que una estación meteorológica automática puede brindar son:

- Radiación Solar.
- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Precipitaciones.
- Velocidad y Dirección del viento.

Figura 1.30. Estación meteorológica automática



Fuente: (SISGEO s.r.l., 2015)

1.7. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de la información suministrada por los distintos sensores y adquirida bien manual o automáticamente, debe iniciarse rápidamente la fase de interpretación de datos y la consiguiente redacción de informes, llevándose a cabo en dos etapas claramente diferenciadas.

En la primera etapa, un ingeniero con experiencia contrastada en el análisis de datos de auscultación, con conocimiento de los problemas y características de la presa, debe realizar un análisis previo de causas y efectos que le permitan apreciar rápidamente, después de relacionarlos entre sí, cuáles de los parámetros controlados se desvían de los previstos, por ejemplo, la existencia de desplazamientos no esperados, filtraciones importantes, subpresiones o presiones altas, etc., que requieren un análisis más detallado y profundo. Estas nuevas informaciones en la primera etapa son muy útiles puesto que, el análisis global de una situación concreta permite obtener conclusiones sobre aquellos aspectos que deben seguir siendo estudiados y aquellos otros cuyos valores indican una estabilización.

La segunda etapa, la cual no es tan empírica, se inicia en la comparación de los resultados obtenidos a partir de mediciones reales con las previsiones realizadas mediante modelos. Para su realización, el ingeniero responsable de esta segunda etapa debe disponer, además de todos los datos de auscultación medidos, al menos de la siguiente información:

- Proyectos que sirven o han servido de base para la ejecución de la presa, con los informes geológicos, geotécnicos e hidrológicos que se utilizaron para su elaboración.
- Resultados de los ensayos y análisis realizados para comprobar la calidad de las obras.
- Información geológica adicional obtenida durante la ejecución de las obras.
- Cambios introducidos en el proyecto durante la ejecución.
- Tratamientos de consolidación, impermeabilización y drenaje.
- Normas inicialmente previstas, de operación y mantenimiento.
- Modelos de cálculo utilizados antes del proyecto, durante el mismo, y en la época de construcción.

1.7.1. INFORMES A REALIZAR

Los informes de auscultación son aquellos documentos en los cuales se plasma la historia de la presa durante el período de estudio, recoge la historia anterior y estima su comportamiento futuro. Se recomienda que cada informe conste al menos de las siguientes partes:

- Una memoria donde se analizará en detalle, todos y cada uno de los datos tomados y su evolución en el tiempo.
- Un resumen de las observaciones “in situ” y de los posibles ensayos realizados en obra durante el período de estudio.
- Conclusiones de orden práctico que resuman el comportamiento de la presa durante el período de estudio.
- Recomendaciones y cuidados necesarios que deben tenerse al inicio de la siguiente etapa, entre otras el programa de lecturas aplicable, las magnitudes que deben controlarse de manera especial, los incrementos máximos admitidos, alarmas, etc.
- Un anexo con los planos de situación de los equipos.
- La evolución de las magnitudes controladas, expresadas en unidades físicas de ingeniería y relacionadas con las variables que influyen en su evolución.

1.8. ORGANIZACIÓN Y FORMACIÓN DE PERSONAL

Un buen servicio de toma de datos, análisis e interpretación y mantenimiento de un sistema de auscultación requiere un personal bien formado y organizado. Las tareas que una organización de este tipo debe realizar son:

- Recoger y procesar información continua que debe ser altamente fiable y suficiente.
- Tener capacidad y conocimientos para mantener los sensores.
- Puesta a punto de sistemas y programas informáticos.
- Sintetizar y analizar toda esta información para extraer de ella conclusiones prácticas sobre el comportamiento y la seguridad de la presa.

- Toma de decisiones en caso de problemas importantes que conlleven situaciones de emergencia.

Todas estas tareas deben realizarse según un proceso ascendente, con niveles perfectamente definidos hasta llegar al ingeniero responsable de la puesta en carga y explotación de la presa.

CAPÍTULO III

DATOS GENERALES DEL PROYECTO IPA

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO IPA

Este proyecto permitirá asegurar tanto la producción destinada al consumo familiar, como la generación de excedentes orientados al mercado, contribuyendo de manera significativa al incremento de los ingresos económicos de los beneficiarios, y por tanto, al mejoramiento del nivel y calidad de vida de la población de la comunidad. Se pretende incrementar la oferta de

agua para el desarrollo de los cultivos, garantizando la dotación oportuna y suficiente de riego, de tal manera que no se presenten procesos de déficit hídrico que puedan afectar de manera negativa la producción. Para este fin se eligió como alternativa más adecuada, la construcción de una presa de materiales sueltos (tierra).

La implementación del presente proyecto beneficiará a 185 unidades productivas de las comunidades de Ipa (Sector Ipa y Pelicano) y parte de la comunidad de Piriti, asegurando la dotación de agua para riego a una superficie física de 837,94 ha, las mismas que hacen un área bajo riego óptimo de 425 ha.

Existen bancos de material próximos al sitio donde se tiene prevista la construcción de la presa, dichos bancos cuentan con una cantidad suficiente para la ejecución de la obra, por lo que el transporte no será una limitante.

Las características geológicas y geotécnicas, de acuerdo a los ensayos realizados, pudieron constatar la presencia de roca apta para soportar los esfuerzos ejercidos por el peso de la estructura, en el cierre y zona de la presa. En cuanto a la permeabilidad se pudo verificar que a cierta profundidad existe roca de buena permeabilidad que podrá garantizar que no exista flujo o pérdidas considerables de agua del embalse.

2.1. UBICACIÓN.

Se describen a continuación las ubicaciones administrativa, geográfica e hidrográfica del proyecto.

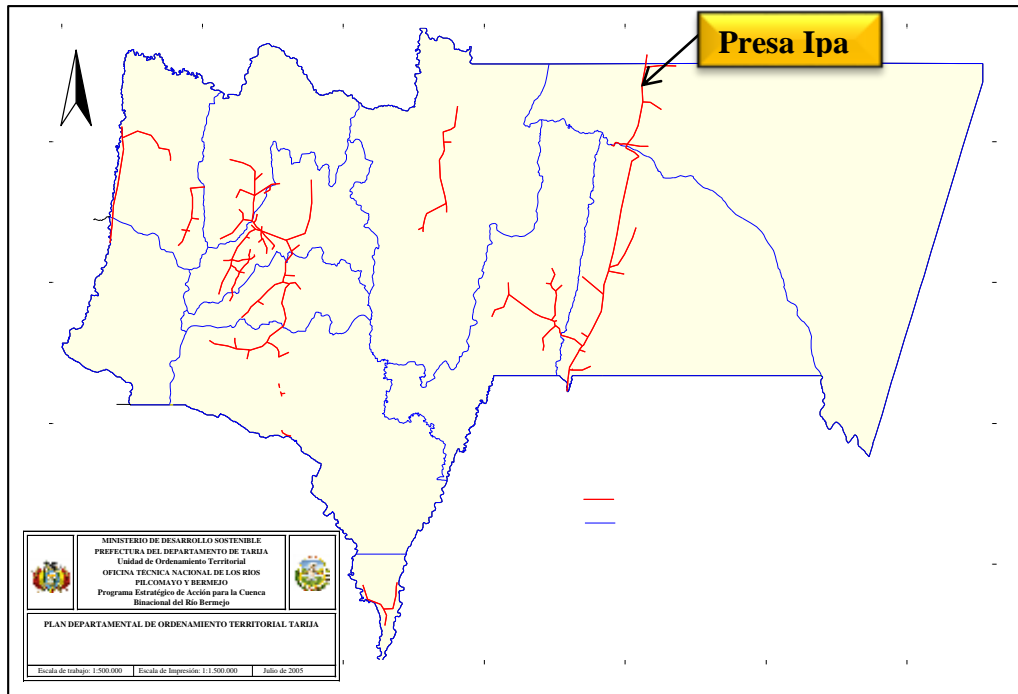
2.1.1. UBICACIÓN ADMINISTRATIVA

El Municipio de Villa Montes, Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco, se encuentra ubicado estratégicamente al noreste del departamento de Tarija, distante a 356 km, 5,5 horas en vehículo de la capital del departamento. Sus límites territoriales son:

- Al norte con el departamento de Chuquisaca (Municipio de Machareti).
- Al sur con el Municipio de Yacuiba y la República de la Argentina.

- Al este con la República del Paraguay.
- Al oeste con la Provincia O'Connor del departamento de Tarija

Figura 2.1. Mapa del departamento ubicando el área del proyecto



Fuente: (Asociación Accidental Aguarague, 2014)

El área de influencia está ubicada en el pie de la Serranía del Aguarague denominado como zona de transición entre pie de monte y la llanura chaqueña, distante a 30 km hacia el norte de la ciudad de Villa Montes. El acceso a la zona del sitio del Proyecto, se realiza mediante la carretera asfaltada que une las ciudades de Villa Montes y Camiri, a 23 km de la ciudad de Villa Montes, la carretera cruza por parte de la comunidad de Ipa, se sigue un camino de tierra hacia el oeste que llega al centro poblado de la comunidad y pasa hasta el sitio de la presa, que tiene una distancia de 7 km., el cierre de la presa está ubicado en las coordenadas UTM X=454592 y Y=7671118 a una elevación de 590 msnm.

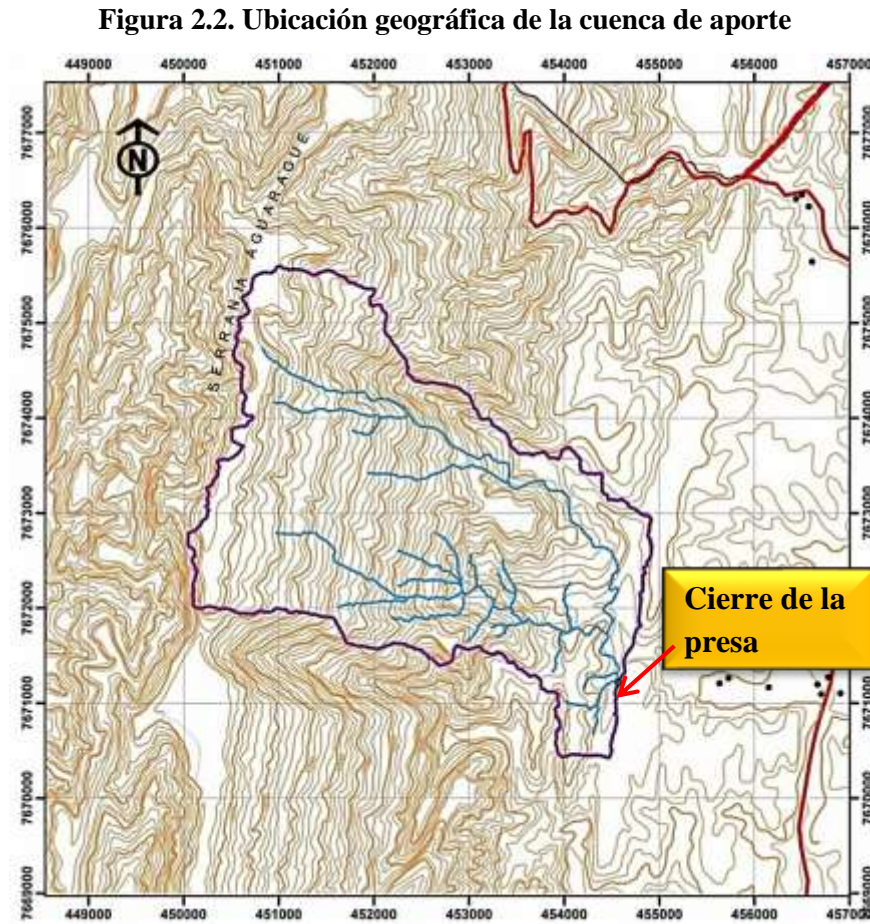
2.1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La comunidad de Ipa, según su área de influencia dentro del proyecto se encuentra ubicada dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

⇒ 21° 02' 31,2'' y 21° 05' 36,64'' de latitud sud.

⇒ 63° 21' 48,96'' y 63° 26' 34,08'' de longitud oeste.

En la figura 3.2 se puede observar la ubicación de la cuenca de aporte.



Fuente: (Asociación Accidental Aguarague, 2014)

2.1.3. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

El cauce principal de la zona del proyecto es la quebrada de Ipa con una cuenca de aporte de 13,25 Km² medidos a partir del cierre de la presa, por la quebrada escurre un caudal de 18,54 Lts/Seg, aguas abajo se une con la quebrada Piriti y posteriormente con la quebrada de Puesto Viejo, Caigua y finalmente desemboca directamente al Rio Pilcomayo, una de las características principales de esta cuenca (Ipa) es la presencia de una espesa vegetación arbórea, con lomeríos y serranías en las partes más bajas correspondientes a las áreas de riego

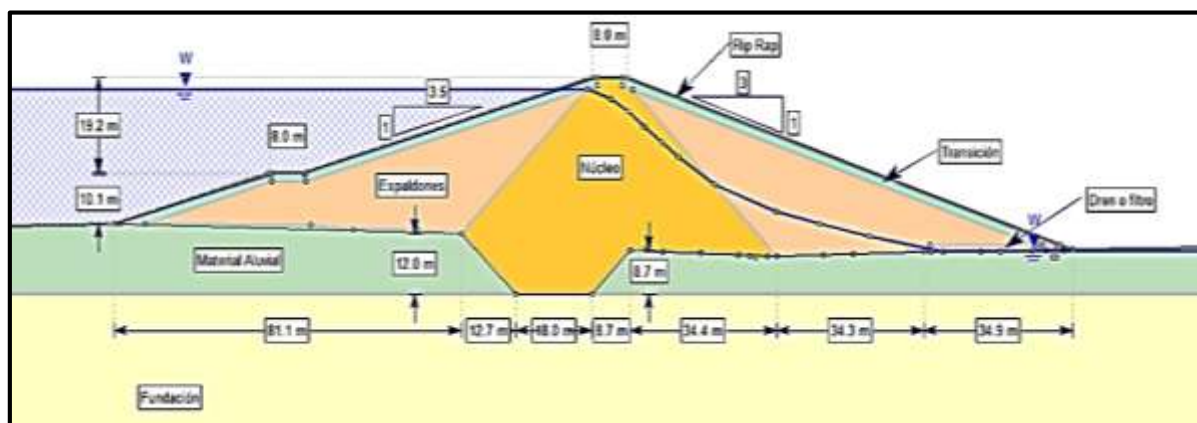
y en las partes de la cuenca de aporte correspondiente a la serranía del Aguarague. La cuenca presenta la siguiente clasificación hidrográfica:

- Macrocuena: Río de la Plata
- Cuenca intermedia: Río Pilcomayo
- Subcuena: Río serranía del Aguarague
- Microcuena: Quebrada Ipa

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PRESA

Se tiene prevista la construcción de una presa de materiales sueltos zonificada con núcleo central de arcilla y espaldones con una altura de 30 m hasta el vertedero y 32,5 m hasta el coronamiento, tiene una capacidad total de almacenamiento de 2.615.941 m³, de los cuales 2.297.393 m³ es volumen útil, 318.548 m³ es volumen muerto.

Figura 2.3. Sección tipo presa Ipa



Fuente: (Asociación Accidental Aguarague, 2014)

Tabla 2.1. Tabla resumen de las características de la presa

Altura de presa	32,5 m.
Ancho de coronamiento	8 m.
Longitud de coronamiento	174 m.
Bordo libre	2,5 m.
Talud aguas arriba	1V:3,5H
Talud aguas abajo	1V:3H

Fuente: (Asociación Accidental Aguarague, 2014)

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

3. PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

La auscultación del cuerpo de la presa Ipa es el conjunto de actividades y el equipo requerido para conocer y poder evaluar su comportamiento, tanto durante su construcción, como a lo largo de toda su vida útil. La auscultación tendrá como objetivo obtener la información necesaria y suficiente para poder detectar cualquier indicio de condiciones adversas mediante

el monitoreo de presiones de poro, presiones totales, movimientos superficiales, condiciones meteorológicas del sitio, nivel del embalse y filtraciones.

Luego de haber efectuado una revisión bibliográfica, y con asesoramiento profesional, los fenómenos anteriormente citados, son los que se cree que podrían tener mayor incidencia en el comportamiento real de la presa, por lo tanto la propuesta de instrumentación está dirigida específicamente para el caso de Ipa.

Tomando en cuenta la tecnología, la economía, los medios disponibles en nuestro departamento, y contactando empresas proveedoras de instrumentos de auscultación a nivel nacional e internacional, las cuales cuentan con personal bastante capacitado en el campo de auscultación de presas de tierra, y los instrumentos más avanzados disponibles en el mercado, se propone lo siguiente para el monitoreo del cuerpo de la presa Ipa:

Auscultación interna

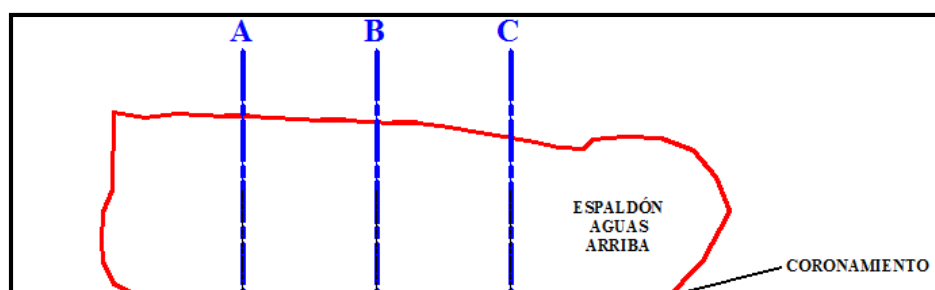
- Piezómetros de cuerda vibrante.
- Celdas de presión.
- Vertedor triangular.

Auscultación externa

- Referencias topográficas.
- Estaciones meteorológicas automáticas.
- Sensor de nivel de agua por radar.

Para definir los puntos de emplazamiento de los instrumentos de control interno (piezómetros y celdas de presión) se dividirá el cuerpo de la presa en tres secciones transversales, separadas 60 metros entre sí, empezando 30 metros desde el estribo derecho, como se muestra en la figura 4.1.

Figura 3.1. Secciones transversales para ubicación de instrumentos de control interno



Fuente: (Elaboración propia)

3.1. PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE

Se propone el uso de 24 piezómetros de cuerda vibrante para medir la presión de poro y el nivel freático en el núcleo y el espaldón aguas abajo del cuerpo de la presa. Se escogió este tipo de instrumento por su respuesta rápida a variaciones de presión, fácil instalación y manipulación, esta última solamente implica la conexión del instrumento a la consola de lecturas para que el sensor se active y empiece a desplegar las mediciones, por ende no se requiere una capacitación muy avanzada y compleja para la obtención de datos.

Por recomendación del distribuidor de instrumentos, el modelo que se propone emplear se denomina 4500C, dicho modelo es el más empleado en presas de materiales sueltos, debido a que cuenta con un filtro especial que evita el ingreso de material sólido al sensor, sobre todo el material fino que compone el núcleo de arcilla. En la figura 4.2 se muestra el piezómetro de cuerda vibrante modelo 4500C.

Figura 3.2. Piezómetro de cuerda vibrante modelo 4500C



Fuente: (Geokon Incorporated, 2009)

Se empleará solamente este tipo de instrumento para todo el cuerpo de la presa, debido a la facilidad con que se pueden obtener datos y además de esta manera solamente se necesitará una consola de toma de lecturas, lo cual no sería posible si se emplearán diferentes tipos de piezómetros, porque el uso de diferentes instrumentos demandaría mayor presupuesto y capacitación. El modelo 4500C está disponible en tres diferentes rangos de presión, según se tenga la necesidad, este rango puede variar de 0 a 50, 0 a 100 o 0 a 250 psi (libras por pulgada cuadrada) por este motivo es importante conocer que valores están dentro del límite aceptable para la presión de poro y no comprometen la estabilidad de la estructura, para este fin se cuenta con información previa de los materiales que componen el cuerpo de la presa, y se los muestra en la tabla 4.1.

Tabla 3.1. Parámetros de los materiales que componen el cuerpo de la presa

Nº	Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción interna (°)
1	Fundación	24	55	35
2	Material Aluvial	19	10	35
3	Núcleo de arcilla	18	20	16
4	Espaldones de arcilla	17	20	20
5	Dren	20	0	35

Fuente: (Asociación Accidental Aguarague, 2014)

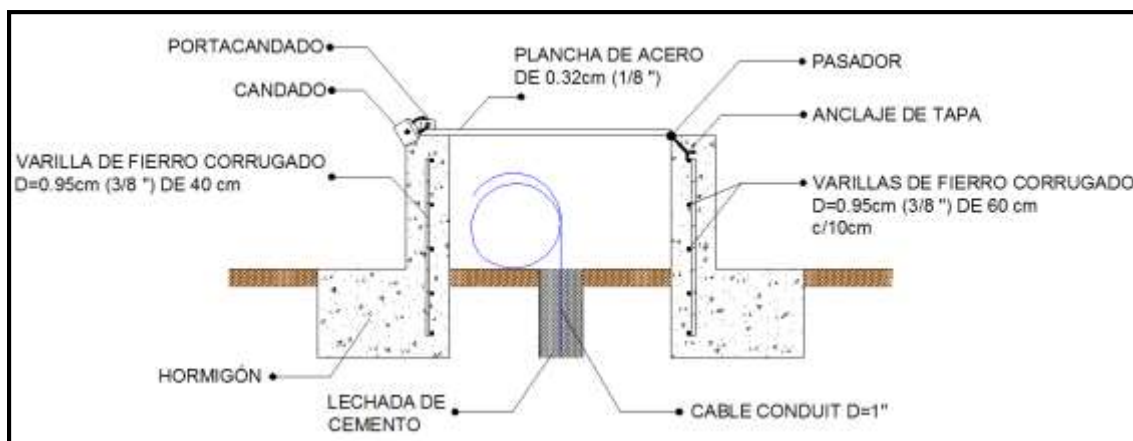
Observando la tabla anterior se puede afirmar que tanto el núcleo como los espaldones presentan una cohesión de 20 kPa (kilopascales) equivalente a 2.90 psi (libras por pulgada cuadrada), por lo que cuando se efectúen las mediciones con los piezómetros, se debe

verificar que el valor de la presión de poro no sobrepase lo que se tiene previsto para la estabilidad del cuerpo de la presa.

Cabe resaltar además la importancia de tener información previa de los niveles freáticos esperados, de modo que se pueda confirmar que los valores reales medidos se encuentran bajo esa cota esperada. De esta manera se podrán evidenciar los niveles de agua alcanzados en distintas etapas, para ver si están bajo influencia del nivel de agua embalsada, o están relacionados con las estaciones del año (verano, invierno, etc).

Para la obtención de datos, se propone dejar libre un metro y medio de cable fuera del cuerpo de la presa, para comodidad del personal encargado de la toma de mediciones, los cables serán protegidos por una caja de hormigón armado con tapa de acero, para evitar cualquier factor externo que pueda perjudicar el correcto funcionamiento de los instrumentos, la caja protectora de cables se muestra en la figura 4.3.

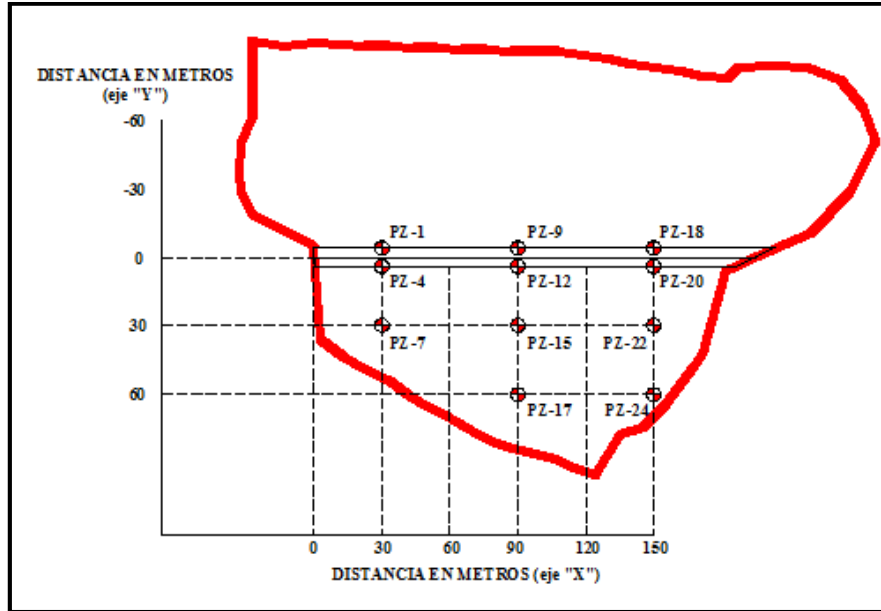
Figura 3.3. Caja protectora de cables



Fuente: (Elaboración propia)

Para poder llevar un registro ordenado de la información que se obtenga a partir de las mediciones, es importante que tanto los cables como las cajas protectoras lleven una identificación numérica, cada piezómetro será identificado como PZ-1, PZ-2, etc., y las cajas como C-1, C-2, etc. La distribución en planta de los piezómetros se muestra en la figura 4.4. La distribución vertical de los piezómetros y de las cajas protectoras de cables se muestra en la figura 4.5.

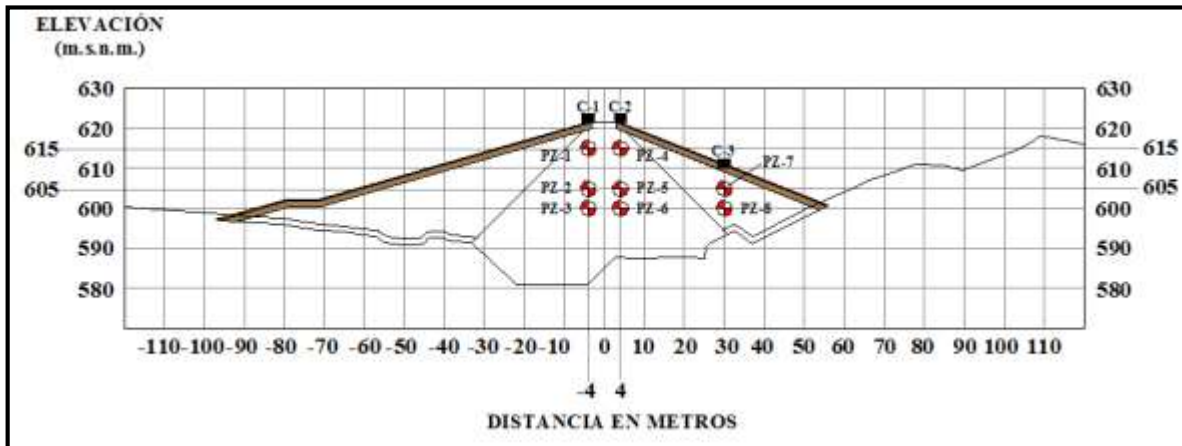
Figura 3.4. Distribución de piezómetros en planta



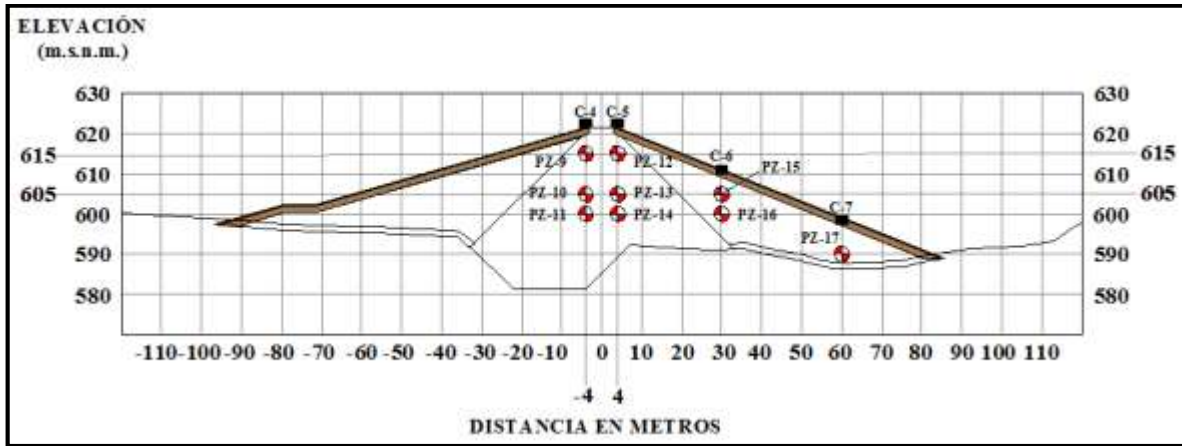
Fuente: (Elaboración propia)

Figura 3.5. Distribución de piezómetros en corte

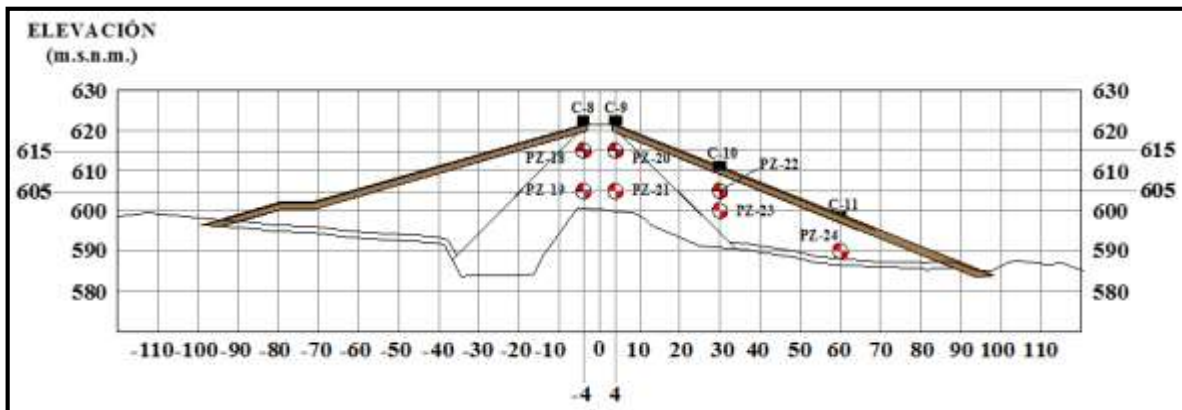
a) Sección A-A'



b) Sección B-B'



c) Sección C-C'





Fuente: (Elaboración propia)

La tabla 4.2 detalla la ubicación de todos los piezómetros y las cajas protectoras.

Tabla 3.2. Ubicación de piezómetros y cajas protectoras de cables

SÍMBOLO	N° PIEZÓMETRO	UBICACIÓN			SECCIÓN
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	
	PZ-1	30	-4	615	A-A'
	PZ-2	30	-4	605	
	PZ-3	30	-4	600	
	PZ-4	30	4	615	
	PZ-5	30	4	605	
	PZ-6	30	4	600	
SÍMBOLO	N° PIEZÓMETRO	UBICACIÓN			SECCIÓN
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	

	PZ-7	30	30	605	A-A´	
	PZ-8	30	30	600		
	PZ-9	90	-4	615	B-B´	
	PZ-10	90	-4	605		
	PZ-11	90	-4	600		
	PZ-12	90	4	615		
	PZ-13	90	4	605		
	PZ-14	90	4	600		
	PZ-15	90	30	605		
	PZ-16	90	30	600		
	PZ-17	90	60	590	C-C´	
	PZ-18	150	-4	615		
	PZ-19	150	-4	605		
	PZ-20	150	4	615		
	PZ-21	150	4	605		
	PZ-22	150	30	605		
	PZ-23	150	30	600		
	PZ-24	150	60	590		
	SÍMBOLO	N° CAJA	UBICACIÓN			SECCIÓN
			X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	
		C-1	30	-4	621,5	A-A´
		C-2	30	4	621,5	
		C-3	30	30	600	
		C-4	90	-4	621,5	B-B´
C-5		90	4	621,5		
C-6		90	30	610		
C-7		90	60	597,5		
C-8		150	-4	621,5	C-C´	
C-9		150	4	621,5		
C-10		150	30	610		
C-11		150	60	597,5		

Fuente: (Elaboración propia)

Como se mencionó en el capítulo II, es importante tomar una lectura base antes de emplazar el piezómetro. Además es importante verificar el correcto funcionamiento de cada piezómetro antes y después de ser instalado. Para la toma de lecturas se debe consultar el manual de instrucciones del fabricante del instrumento, además en dicho manual se encuentra la información necesaria para el procesamiento de datos con un ejemplo ilustrativo. Cada

piezómetro de cuerda vibrante tiene un certificado de calibración, en el cual se incluyen las relaciones de presiones con las lecturas de la frecuencia de vibración de la cuerda. Las especificaciones técnicas del piezómetro modelo 4500C detallan lo mencionado anteriormente y se encuentran en el anexo 3.

3.1.1. CONSOLA DE LECTURAS DE LOS SENSORES DE CUERDA VIBRANTE

La consola de lectura de cuerda vibrante modelo GK-403 está diseñada para usarse con cualquier sensor de cuerda vibrante y en cualquier condición climática. El almacenamiento de datos consiste en una operación simple de un solo botón y cada lectura guardada es identificada por un número de referencia, en un rango que va desde 1 a 256, además cada lectura cuenta con fecha, hora, y temperatura. Toda la información almacenada puede ser transmitida a una computadora y exportada a programas o aplicaciones según lo desee el usuario. En la figura 4.6 se muestra el panel de la consola.

Figura 3.6. Consola de lectura de sensores de cuerda vibrante modelo GK-403



Fuente: (Geokon, 2009)

La consola GK-403 además es muy práctica, por ser de tamaño compacto, no representa problema alguno para su transporte, cuenta con baterías recargables, por lo que no demanda el uso de electricidad y al igual que cualquier instrumento de fábrica, cuenta con un manual para conocer a detalle el funcionamiento de la misma. Las especificaciones técnicas de la consola se presentan en el anexo 3.

3.2. CELDAS DE PRESIÓN

La presión total que ejerce el material de relleno será monitoreada mediante 33 celdas de presión, las cuales se distribuirán en ambos espaldones y en el núcleo del cuerpo de la presa. Al igual que los piezómetros, se propone utilizar celdas de presión de cuerda vibrante por su fácil manipulación y rapidez de respuesta, el modelo a emplear, por recomendación del distribuidor, se denomina VWTPC-4000, dicho modelo se emplea en presas de materiales sueltos y la ventaja es que se puede emplear la misma consola de lecturas que se utiliza con los piezómetros de cuerda vibrante, debido a que ambos instrumentos obedecen al mismo principio de funcionamiento. El tipo de celda que se propone utilizar se muestra en la figura 4.7.

Figura 3.7. Celda de presión modelo VWTPC-4000

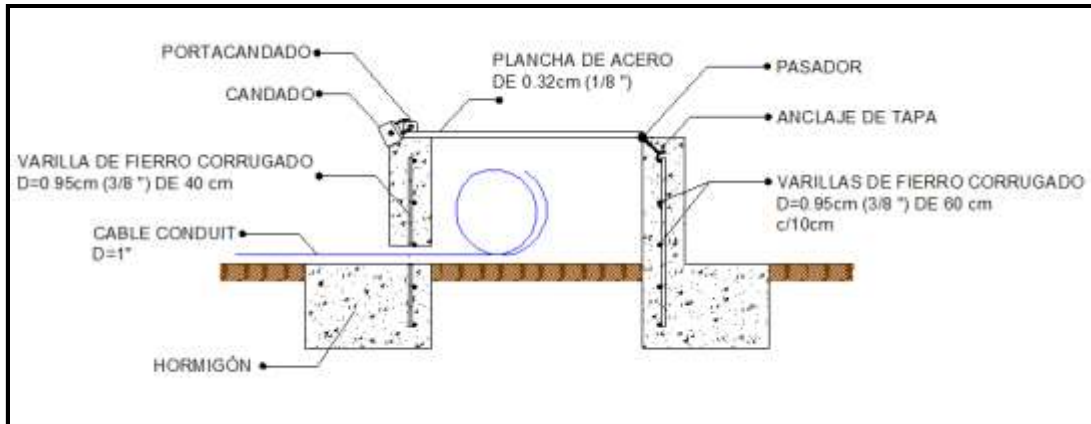


Fuente: (Geokon Inc., 2009)

Con los datos obtenidos mediante las celdas se podrá tener conocimiento de la presión que ejercen los materiales de relleno, conforme se vayan colocando y una vez concluida la construcción, se sumará la presión que ejerza el agua al saturar el cuerpo de la presa a causa de su embalsamiento, así se obtendrán los datos de la presión total ejercida tanto por el cuerpo de la presa como por el agua de saturación. Además será posible saber si el esfuerzo que genera la carga total de estructura más agua de saturación está dentro los valores permitidos que no afecten a la roca de fundación.

De igual manera que los piezómetros, se debe dejar un metro y medio de cable libre fuera del cuerpo de la presa para comodidad en la toma de lecturas, los cables serán protegidos por cajas de hormigón armado con tapa de acero, como se muestra en la figura 4.8.

Figura 3.8. Caja protectora de cables

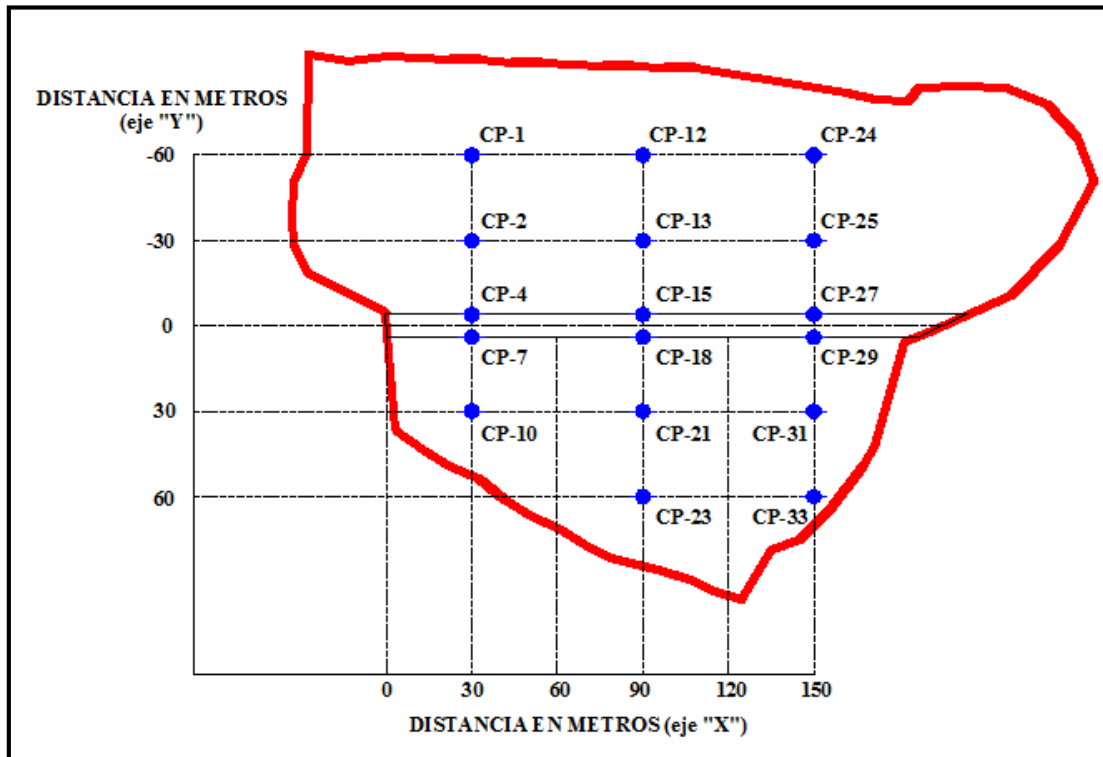


Fuente: (Elaboración propia)

Todos los cables y cajas deben ser identificados numéricamente para poder llevar un registro ordenado de la información que se obtenga a partir de las mediciones, las celdas se denominarán, CP-1, CP-2, etc., y las cajas protectoras comenzarán su numeración a partir de C-12, de manera que se eviten posibles confusiones con las cajas de los piezómetros. La única diferencia entre las cajas para celdas de presión y las cajas para los piezómetros, es que el cable conector del instrumento ingresará en la caja por la parte lateral y no así por la parte inferior.

Las especificaciones técnicas de este instrumento se detallan en el anexo 3, de igual manera que los piezómetros, se debe verificar el correcto funcionamiento de cada celda antes y después de su instalación, además también las celdas cuentan con un certificado de calibración del fabricante, y cada celda tiene un certificado diferente. El detalle de la distribución de las celdas de presión se muestra en las figuras 4.9 y 4.10 respectivamente. Y el detalle de su instalación se encuentra en el anexo 5, en los planos respectivos.

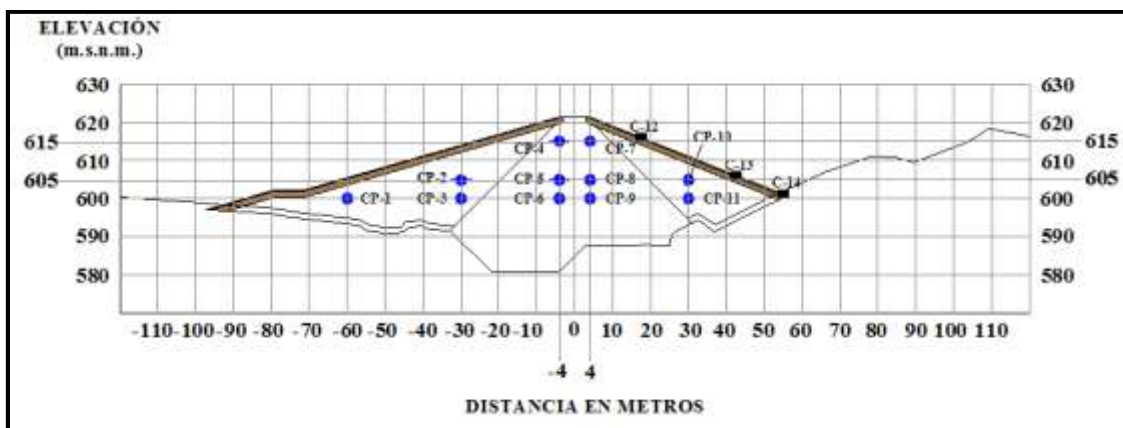
Figura 3.9. Distribución de celdas de presión en planta



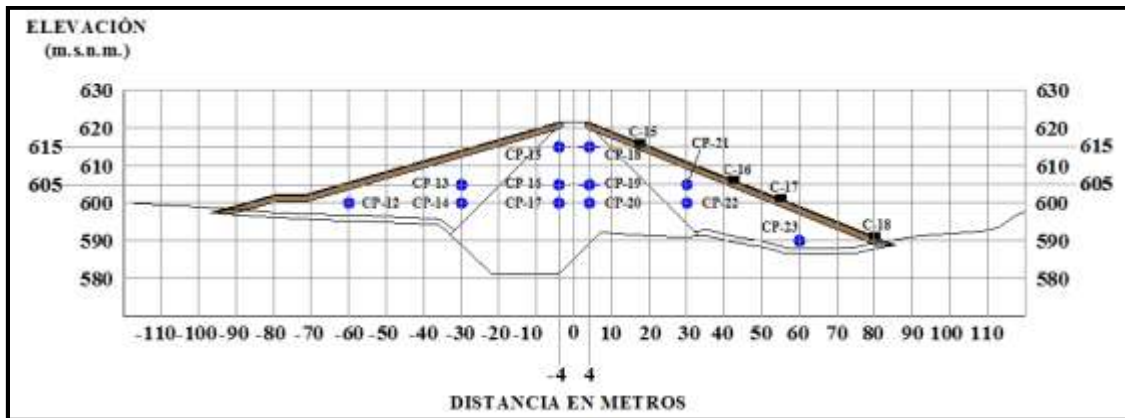
Fuente: (Elaboración propia)

Figura 3.10. Distribución de celdas de presión en corte

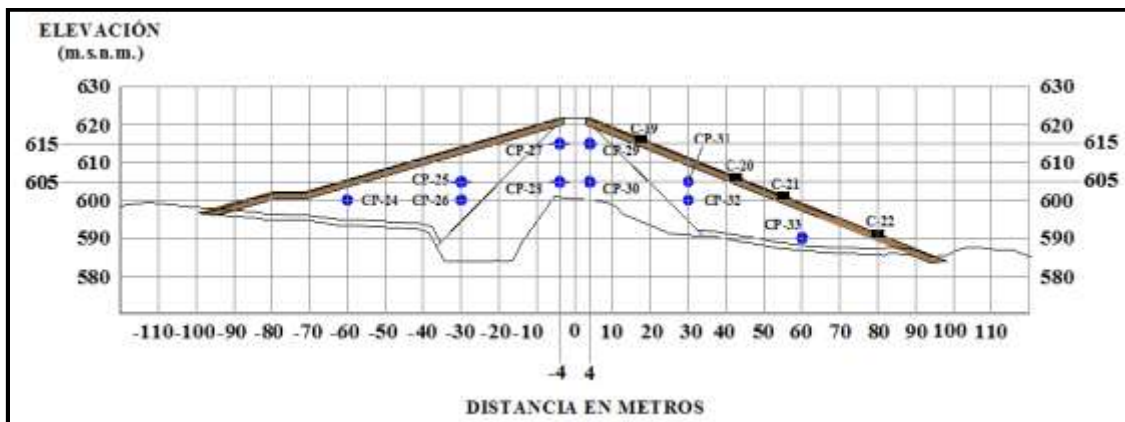
a) Sección A-A'



b) Sección B-B'



c) Sección C-C'





Fuente: (Elaboración propia)

La tabla 4.3 detalla la ubicación de las celdas de presión y de las cajas protectoras.

Tabla 3.3. Ubicación de celdas de presión y cajas protectoras de cables

SÍMBOLO	N° CELDA	UBICACIÓN			SECCIÓN
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	
●	CP-1	30	-60	600	A-A'
	CP-2	30	-30	605	
	CP-3	30	-30	600	
	CP-4	30	-4	615	
	CP-5	30	-4	605	
	CP-6	30	-4	600	

	CP-7	30	4	615		
	CP-8	30	4	605		
SÍMBOLO	N° CELDA	UBICACIÓN			SECCIÓN	
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)		
	CP-9	30	4	600	A-A´	
	CP-10	30	30	605		
	CP-11	30	30	600		
	CP-12	90	-60	600	B-B´	
	CP-13	90	-30	605		
	CP-14	90	-30	600		
	CP-15	90	-4	615		
	CP-16	90	-4	605		
	CP-17	90	-4	600		
	CP-18	90	4	615		
	CP-19	90	4	605		
	CP20	90	4	600		
	CP-21	90	30	605		
	CP-22	90	30	600	C-C´	
	CP-23	90	60	590		
	CP-24	150	-60	600		
	CP-25	150	-30	605		
	CP-26	150	-30	600		
	CP-27	150	-4	615		
	CP-28	150	-4	605		
	CP-29	150	4	615		
	CP-30	150	4	605		
	CP-31	150	30	605		
	CP-32	150	30	600		
	CP-33	150	60	590		
	SÍMBOLO	N° CAJA	UBICACIÓN			SECCIÓN
			X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	
		C-12	30	17,5	615	A-A´
		C-13	30	42,5	605	
		C-14	30	55	600	
		C-15	90	17,5	615	B-B´
		C-16	90	42,5	605	
		C-17	90	55	600	
C-18		90	80	590		
C-19		150	17,5	615		

	C-20	150	42,5	605	C-C'
	C-21	150	55	600	
SÍMBOLO	N° CAJA	UBICACIÓN			SECCIÓN
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)	
	C-22	150	80	590	C-C'

Fuente: (Elaboración propia)

Al igual que los piezómetros, se recolectarán los datos de las celdas de presión empleando la consola de lecturas GK-403, debido a que ambos sensores son de cuerda vibrante, el procedimiento para la recolección de información será el mismo.

3.3. REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS

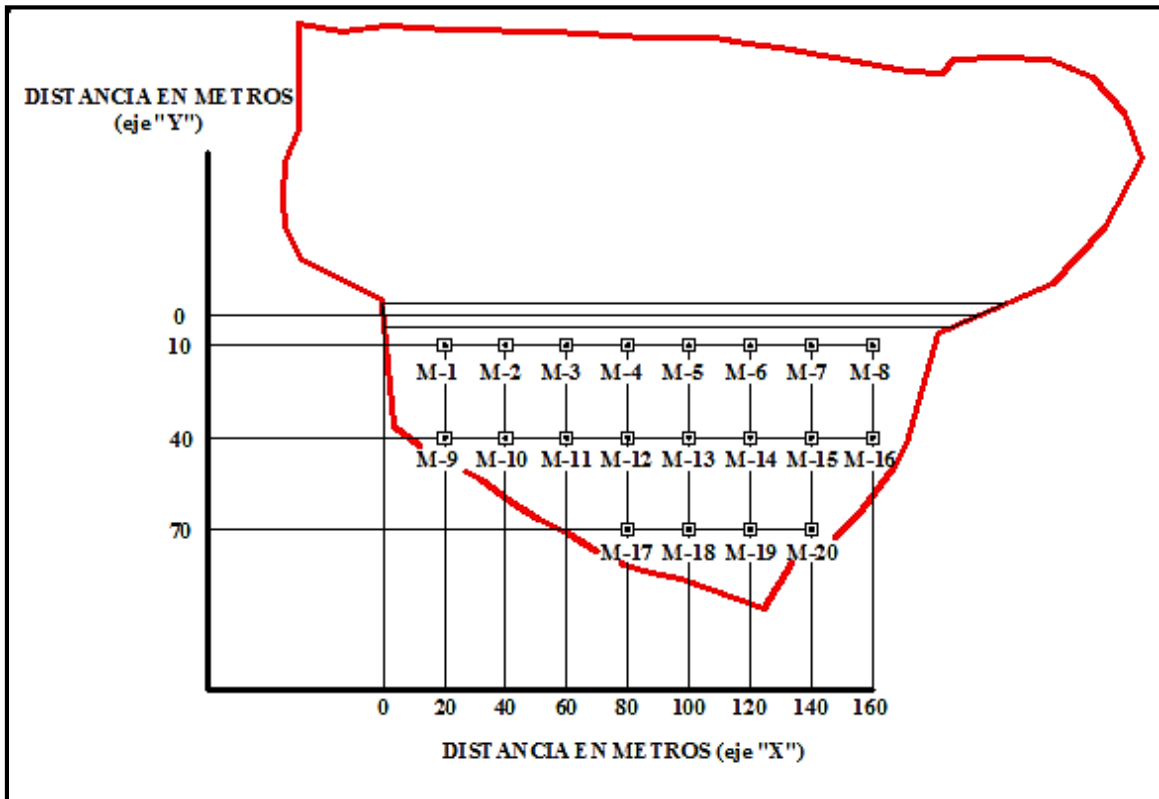
La confiabilidad general sobre la estabilidad del cuerpo de la presa Ipa se podrá obtener al controlar sus movimientos en el espacio por medio de un procedimiento geodésico-topográfico.

Se controlarán los desplazamientos, tanto horizontales como verticales, mediante la implementación de 20 mojones topográficos ubicados sobre el espaldón aguas abajo, próximos a la cresta, para evitar el perjuicio en el tránsito. Los mojones estarán equidistantes a 20 metros entre sí en la dirección del eje “x” y 30 metros en la dirección del eje “y”.

Los mojones serán de hormigón simple, con dimensiones de 50 cm x 50 cm y 70 cm de altura. En la parte central alojarán una varilla de fierro corrugado de 3/4” de diámetro, y una tapa para su identificación. Se deberá remover el revestimiento del espaldón y profundizar la excavación cuando menos 60 cm.

Se dispondrán además 4 estaciones base o puntos fijos fuera del cuerpo de la presa, específicamente en los estribos, desde los cuales se puedan realizar las mediciones. En la figura 4.11 se detalla la distribución de los mojones.


Figura 3.11. Distribución de mojones




Fuente: (Elaboración propia)

En la tabla 4.4 se detalla la ubicación de cada mojón.

Tabla 3.4. Ubicación de mojones

SÍMBOLO	N° MOJÓN	UBICACIÓN		
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)
	M-1	20	10	619
	M-2	40	10	619
	M-3	60	10	619
	M-4	80	10	619
	M-5	100	10	619
	M-6	120	10	619
	M-7	140	10	619
	M-8	160	10	619
	M-9	20	40	607

	M-10	40	40	607
	M-11	60	40	607
SÍMBOLO	N° MOJÓN	UBICACIÓN		
		X (m)	Y (m)	Z (m.s.n.m.)
	M-12	80	40	607
	M-13	100	40	607
	M-14	120	40	607
	M-15	140	40	607
	M-16	160	40	607
	M-17	80	70	595
	M-18	100	70	595
	M-19	120	70	595
	M-20	140	70	595

Fuente: (Elaboración propia)

Las estaciones base o puntos fijos consistirán en un pilar de hormigón armado que sobresaldrá 1.30 m del terreno y estará empotrado 0,40 m para su estabilidad. El pilar alojará una barra de fierro corrugado de $\frac{3}{4}$ " en su parte central, la cual servirá como referencia para poder instalar en su cara superior una estación total. Los lugares elegidos están suficientemente alejados de la presa para que no estén afectados eventualmente por deformaciones próximas que puedan ser producidas por la presa misma o el embalse, y se los muestra en la figura 4.12, y en la tabla 4.5 se detallan las coordenadas de ubicación de cada estación base.

Figura 3.12. Ubicación de estaciones base para control topográfico



Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 3.5. Coordenadas de ubicación de estaciones base

ESTACIÓN BASE	COORDENADAS		
	X(m)	Y(m)	Z(m.s.n.m.)
E-1	454633.92	7671303.76	639
E-2	454553.82	7671056.33	641.5
E-3	454707.96	7671262.67	625
E-4	454661.81	7671068.93	625

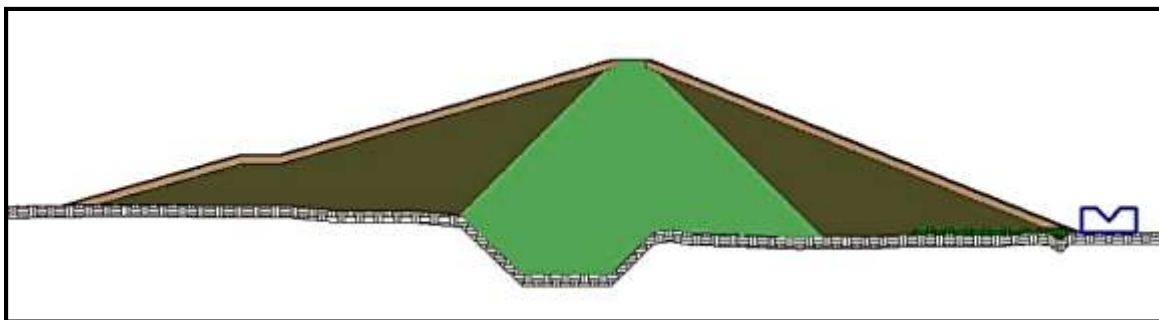
Fuente: (Elaboración propia)

Los detalles de las referencias topográficas, tanto de los mojones como de las estaciones base, están plasmados en los planos en el anexo 5.

3.4. VERTEDERO TRIANGULAR

Se propone emplazar un pequeño vertedero triangular con el fin de aforar las filtraciones, de manera que se conozca la magnitud de las mismas. Este vertedero se ubicará aguas abajo al pie de la presa, como se detalla en la figura 4.13.

Figura 3.13. Ubicación vertedero triangular



Fuente: (Elaboración propia)

Las aguas que se filtrarán a través del cuerpo de la presa serán recolectadas por dos tuberías que funcionarán como galerías filtrantes, las cuales ya están contempladas dentro del proyecto Ipa, debido a que la presa cuenta con un dren, estas tuberías bordean el pie de la presa, captando así el agua que se filtra, para descargarla en un canal que conduzca dicha agua hacia el vertedero, de manera que se pueda conocer la magnitud del caudal de filtración.

3.4.1. DISEÑO DEL CANAL

Las dimensiones del canal se determinan de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \mathbf{Q_{diseño}} &= 20 \quad \text{l/s} \\ \mathbf{Pendiente} &= 5 \quad \text{‰} \\ \mathbf{n} &= 0,013 \quad \text{adimensional} \end{aligned}$$

Partiendo de la ecuación de Manning:

$$Q = A * \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Dónde:} \quad \mathbf{A} &= \text{Área mojada} \quad (\text{m}^2) \\ \mathbf{R} &= \text{Radio hidráulico} \quad (\text{m}) \\ \mathbf{S} &= \text{Pendiente} \quad (\text{m/m}) \end{aligned}$$

$$\text{Para un canal rectangular:} \quad A = b * h \quad \text{y} \quad R = \frac{A}{P} = \frac{b * h}{b + 2h}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Dónde:} \quad \mathbf{P} &= \text{Perímetro} \quad (\text{m}) \\ \mathbf{b} &= \text{Base} \quad (\text{m}) \\ \mathbf{h} &= \text{Altura} \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

Reescribiendo la ecuación de Manning, se obtiene:

$$Q = (b * h) * \frac{1}{n} * \left(\frac{b * h}{b + 2h} \right)^{2/3} * S^{1/2}$$

Asumiendo máxima eficiencia ($b = 2h$):

$$Q = \left(b * \frac{b}{2} \right) * \frac{1}{n} * \left(\frac{b * \frac{b}{2}}{b + 2 \left(\frac{b}{2} \right)} \right)^{2/3} * S^{1/2}$$

Realizando operaciones:

$$\begin{aligned} \text{Despejando "b" se obtiene:} \quad Q &= \left(\frac{b^2}{2} \right) * \frac{1}{n} * \left(\frac{b}{4} \right)^{2/3} * S^{1/2} \\ b &= \left(\frac{128 * Q^3 * n^3}{S^{3/2}} \right)^{1/8} \end{aligned}$$

$$b = 0,22 \quad \text{m}$$

Por razones constructivas se asume una base de:

$$\mathbf{b = 0,30 \quad m}$$

La altura será la mitad de la base (máxima eficiencia):

$$\mathbf{h = 0,15 \quad m}$$

Con un borde libre de 10 cm:

$$\mathbf{H = 0,25 \quad m}$$

Dimensiones del canal Rectangular:

$$\begin{aligned} \mathbf{Base} &= 0,60 \quad \text{m} \\ \mathbf{Altura Total} &= 0,30 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Como la altura total es prácticamente de 30 cm, entonces se ve conveniente que la base sea el doble para cumplir con la condición de máxima eficiencia.

3.4.2. DISEÑO DEL VERTEDERO

Las dimensiones del vertedero se determinan de la siguiente manera. Ecuación general para vertederos triangulares de 90°:

$$Q = 1,40 * H^{5/2}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

H = Carga de agua (m)

Despejando "H" se tiene:

$$H = \left(\frac{Q^2}{1,96} \right)^{1/5}$$

$$\text{Para } Q = 20 \quad \text{l/s}$$

$$\mathbf{H = 0,18 \quad m}$$

Por razones constructivas:

$$\mathbf{H = 0,20 \quad m}$$

3.5. ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA

Para el control de las condiciones meteorológicas del sitio del proyecto de la presa Ipa, se propone la instalación de dos estaciones automáticas, la ventaja de emplear este tipo de instrumentos es la constante obtención de datos, evitando así el trabajo tedioso que demanda la toma de mediciones en forma manual diariamente.

Gracias a la información brindada por la empresa BIOSIS S.R.L. con sede en la ciudad de Cochabamba, se propone el uso de estaciones meteorológicas de la marca ADCON Telemetry, como se mencionó en el capítulo II, los fenómenos que se medirán son:

- Radiación Solar.
- Temperatura ambiente.
- Humedad Relativa.
- Precipitaciones pluviales.
- Velocidad y Dirección del viento.





El sistema de monitoreo ambiental recomendado, está totalmente integrado para la recolección, resumen, y publicación automatizada de datos cada 15 minutos, o a mayor o menor frecuencia, de ser necesario. Es un sistema inalámbrico, flexible, modular, y multipropósito que requiere poca energía, puesto que las estaciones emplean baterías recargables vía energía solar.

Sus funciones incluyen monitoreo constante, análisis de datos, creación de alarmas e integración con sistemas de control de equipos. La toma de datos se efectúa mediante sensores electrónicos, y son transmitidos automáticamente desde cada estación a una central o base utilizando transmisión vía GSM/GPRS (banda celular).

Todas las estaciones de monitoreo se incorporan a una red privada o regional, de donde transmiten datos a la estación base Gateway A850. Dicha estación está integrada a un servidor web, donde está instalado el software Advantage Pro 6.5. Todos los usuarios autorizados acceden a la información en tiempo real vía internet y el servidor web, utilizando un navegador de internet (Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, etc.).

Los sensores a utilizar se detallan en la tabla 4.6.

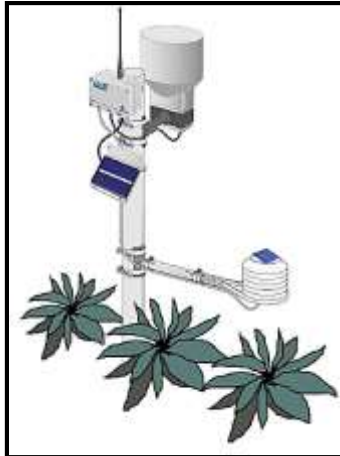
Tabla 3.6. Sensores para estación meteorológica automática

Sensor	Imagen	Modelo
Unidad de transmisión remota		A753 ADDWAVE
Panel Solar		A723 ADDIT UHF
Sensor de radiación Solar		SP LITE
Sensor de Temperatura y humedad relativa		ADCON TR2
Sensor de Precipitación Pluvial		ADCON RG1
Sensor	Imagen	Modelo
Sensor de Velocidad y dirección del viento		PRO-10

Fuente: (BIOSIS S.R.L., 2016)

En la figura 4.14 se muestra un esquema típico de cómo se ensambla los sensores que componen la estación meteorológica automática.

Figura 3.14. Esquema de estación meteorológica automática



Fuente: (ADCON Telemetry, 2008)

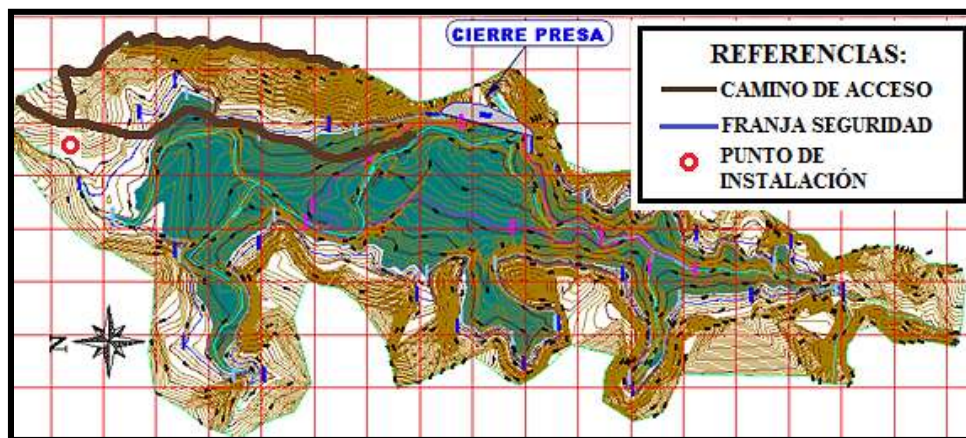
La ventaja de emplear estaciones ADCON Telemetry, es que el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), implementó un sistema de información meteorológica en tiempo real, con el objetivo de proporcionar un servicio para el análisis de datos residentes en internet, dicho servicio cuenta con recepción de datos, procesamiento y visualización para equipos de la marca ADCON Telemetry que se hayan instalado con sistema de transmisión GSM/GPRS. En sus oficinas cuenta con un receptor modelo Gateway A850 GSM/GPRS y el software Advantage Pro 6.5, con los cuales los puntos de medición de estaciones pueden transmitir sus datos al servidor en la ciudad de La Paz y visualizarlos en la plataforma web de forma permanente. Las especificaciones técnicas de la estación que se propone utilizar, se encuentran más detalladas en el anexo 3.

Sin embargo el proveedor especifica en su cotización que la compra de los equipos incluye la instalación, puesta en operación y capacitación del personal técnico. El soporte técnico es gratuito por el periodo de un año y la garantía de los equipos es de un año calendario a partir de la fecha de instalación.

Por recomendaciones de profesionales, una estación estará ubicada en la cresta de la presa, para obtener datos del sitio de cierre, y la otra estación estará ubicada en un punto

relativamente alejado de dicho cierre, de esta manera se podrá tener conocimiento más detallado de las condiciones meteorológicas en la cuenca de aporte, sería ideal contar con más estaciones automáticas pero el costo sería muy elevado y además los puntos que se eligieron para el emplazamiento de las estaciones, son de fácil acceso, lo cual es vital para poder instalar los instrumentos y en un futuro realizar inspecciones periódicas a los mismos para verificar su correcto funcionamiento. Para poder definir el punto de emplazamiento de la estación más alejada se tomó en cuenta que el nivel de aguas normales está en la cota 619 msnm a 30 metros de altura de la presa, nivel del espejo de agua que corresponde al área inundada y representa una superficie de 26,8 Has, para fines del proyecto se incluyó una franja de seguridad de 10 m medidos horizontalmente desde el espejo de aguas normales que representa una superficie de 37,42 Has, por lo que se tomó en cuenta que la estación se ubique fuera de la franja de seguridad para evitar posibles percances a causa del embalse. La ubicación se detalla en la figura 4.15.

Figura 3.15. Ubicación estación meteorológica automática



Fuente: (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura, la estación se encuentra próxima al camino de acceso, y se ubica en las coordenadas 7671957.55 N, y 454571.43 E, a una elevación de 630 m.s.n.m. La ubicación de la estación que tomará datos en el sitio de cierre será en la parte central del coronamiento de la presa, por lo que su instalación deberá ser efectuada cuando la construcción esté concluída.

3.6. SENSOR DE NIVEL DE AGUA POR RADAR

Por razones exclusivamente de explotación, en todas las presas se mide continuamente el nivel del agua, sin embargo, es necesario saber su valor en cada momento para poder conocer el volumen de agua embalsada y complementar la información recolectada al monitorear el cuerpo de la presa, de manera que se pueda evidenciar si el nivel de agua embalsada influye en otros aspectos de la estructura.

Para conocer el nivel del embalse, se propone el uso de dos sensores de nivel de agua por radar modelo OTT RLS, estos sensores efectúan sus mediciones sin necesidad de contacto físico directo, empleando tecnología de radar por impulsos para calcular el nivel del agua. El sensor se muestra en la figura 4.16.

Figura 3.16. Sensor de nivel de agua por radar OTT-RLS



Fuente: (OTT, 2009)

Este sensor medirá el nivel de agua de forma automática, y la ventaja es que puede conectarse con la unidad de transmisión de datos A753, la cual está propuesta en la estación meteorológica automática, por lo que de igual manera la información recolectada con este instrumento será de acceso fácil vía internet, empleando el mismo software que las estaciones meteorológicas, además como fuente de energía contará con un panel solar al igual que las estaciones meteorológicas automáticas.

El sensor contará con un pedestal como el que se muestra en la figura 4.17, el cual le añadirá una elevación de 80 cm, la cual es la distancia mínima que debe existir entre el sensor y la superficie de agua. Pero en este caso el sensor irá empotrado en la parte superior de un poste

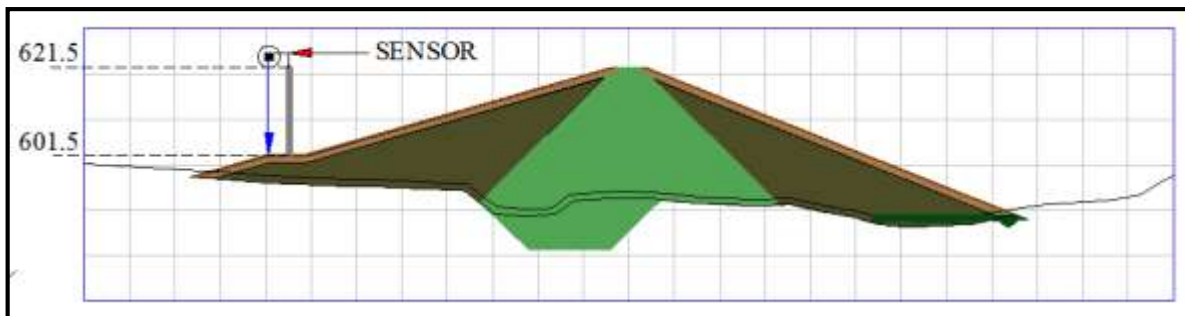
de hormigón armado de 0.30m x 0.30m y 23 m de alto, como se puede apreciar en la figura 4.18.

Figura 3.17. Pedestal para instalación de sensor de nivel de agua RLS



Fuente: (OTT Hydromet Group, 2016)

Figura 3.18. Instalación del sensor de nivel de agua en poste de H°A°

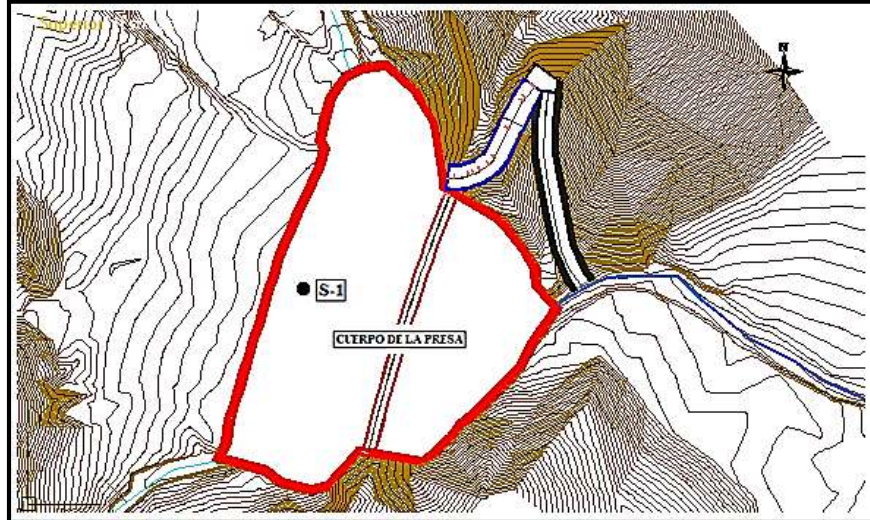


Fuente: (Elaboración propia)

El poste debe tener una profundidad de empotramiento de 2 metros, y la parte superior debe quedar a nivel del coronamiento de la presa, en la cota 621.5 m.s.n.m., quedando así su fundación en la cota 601.5 m.s.n.m., de esta manera el sensor tendrá un rango de 20 metros para efectuar mediciones.

La ubicación del sensor será próxima al pie del espaldón aguas arriba de la presa, como se muestra en la figura 4.19.

Figura 3.19. Ubicación de sensor de nivel de agua



Fuente: (Elaboración propia)

El sensor S-1, se ubica en las coordenadas 7671338.13 N y 454552.20 E, en la cota 622.3 m.s.n.m. (nivel del coronamiento + 80 cm de altura de pedestal),. El poste de hormigón armado quedará dentro del área inundada a causa del embalse, de esta manera los sensores tendrán un buen rango de medición.

3.7. PERSONAL ENCARGADO DE LA TOMA DE LECTURAS

Para la recolección y análisis de los datos obtenidos con los instrumentos mencionados anteriormente, se propone que la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho sea la entidad responsable de esta tarea, debido principalmente a que cuenta con profesionales calificados en la ingeniería de presas, cuyo criterio será de vital importancia al analizar la información recolectada mediante los instrumentos instalados en la presa. La universidad cuenta además con el equipo apropiado para efectuar el control topográfico, computadoras portátiles para almacenamiento de datos y recursos económicos para solventar el trabajo del personal destinado a la auscultación de la presa.

Se debe asignar y capacitar por lo menos dos responsables de la toma y almacenamiento de datos, estos deben contar con la disponibilidad de tiempo para apersonarse hasta el lugar de construcción de la presa. Los encargados deben verificar el correcto funcionamiento de los instrumentos instalados, identificando cualquier anomalía que pueda darse y perjudique la recolección de datos. Además deben efectuar inspecciones visuales y elaboración de

informes en función a las mismas, para tener un conocimiento real y completo de las condiciones en las que se encuentra la estructura. Los datos obtenidos mediante la auscultación deben ser analizados por un ingeniero con experiencia, quien pueda interpretar la información y percatarse de cualquier anomalía que se pueda presentar, para así tomar medidas preventivas de manera anticipada. Este ingeniero encargado del manejo de la información debe contar con datos previos de la presa, para así observar los cambios que se den en el cuerpo de la presa con el transcurso del tiempo.

Llevando un registro de los datos, se podrá tener conocimiento del comportamiento real de la presa conforme avance la construcción y su vida útil, esto podrá resultar en un gran aporte académico, e incluso en un futuro, cuando se disponga de un registro amplio de información debidamente interpretada, se podrán publicar libros o revistas con autoría de la universidad, que se enfoquen en la temática de la seguridad de las presas, de manera que esta ya sea introducida en el medio con la importancia debida. La toma de datos se realizará de la siguiente manera.

Tabla 3.7. Cronograma para recolección de datos

PARÁMETRO	TOMA DE DATOS
Presiones de poro y niveles freáticos	Semanal
Presiones totales	Semanal
Aforo de filtraciones	Semanal
Control topográfico	Mensual
Datos meteorológicos	Diario
Nivel del embalse	Semanal

Fuente: (Elaboración propia)

CAPÍTULO V

PRESUPUESTO

4. PRESUPUESTO GENERAL

A continuación, en la tabla 5.1, se presenta el costo total de la instalación de los instrumentos propuestos en el capítulo anterior, los cálculos métricos y precios unitarios, se encuentran detallados en los anexos 1 y 2.

Tabla 4.1. Presupuesto general

PARÁMETRO	UNIDAD	PU (Bs)	CANT.	TOTAL (Bs)
PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE				
Instalación	glb	5.157,80	24,00	123.787,20
Tendido de cable	m	17,50	243,00	4.252,50
Consola GK-403	pza	7.000,00	1,00	7.000,00
VIÁTICOS PARA DOS ESPECIALISTAS (inst. de piezómetros)				
Hotel	día	360,00	20,00	7.200,00
Comida y transporte	día	300,00	20,00	6.000,00
CELDA DE PRESIÓN				
Instalación	glb	2.906,68	33,00	95.920,44
Tendido de cable	m	17,50	1.426,00	24.955,00
VIÁTICOS PARA DOS ESPECIALISTAS (inst. de celdas de presión)				
Hotel	día	360,00	18,00	6.480,00
Comida y transporte	día	300,00	18,00	5.400,00
CAJAS PROTECTORAS DE CABLES	pza	860,82	22,00	18.938,04
REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS				
Estaciones base	pza	1.431,12	4,00	5.724,48
Mojones	pza	460,25	20,00	9.205,00
AFORO DE FILTRACIONES				
Canal rectangular	m3	765,72	0,90	689,15
Vertedero triangular	pza	50,00	1,00	50,00
INST. EST. MET. AUTOMÁTICA ADCON	pza	15.759,00	2,00	31.518,00
NIVEL DEL EMBALSE				
Poste de H [°] A [°]	m3	2.834,81	4,07	11.537,68
Inst. sensor de nivel de agua OTT-RLS + accesorios	pza	41.300,00	1,00	41.300,00
			TOTAL (Bs)	399.957,49

Fuente: (Elaboración propia).

En total se estima que la instalación de los instrumentos tendría un costo de TRESCIENTOS NOVENTA Y NUEVE MIL NOVECIENTOS CINCUENTA Y SIETE 49/100 Bs.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar una revisión bibliográfica, definir la propuesta y su respectivo presupuesto, se pudo llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. CONCLUSIONES

- La propuesta elaborada en este trabajo contempla los instrumentos necesarios para monitorear el cuerpo de la presa Ipa, su implementación contribuiría a un aumento en la seguridad de esta obra, puesto que se conocerían las condiciones reales en las que se encuentra la estructura, evitando así el descuido en dar solución a posibles anomalías que puedan conllevar a situaciones perjudiciales.
- La localización de los instrumentos se estableció según las necesidades de monitoreo en los lugares críticos del cuerpo de la presa, además se tomó en cuenta la facilidad de acceso para la instalación y toma de datos, de manera que el personal encargado de recolectar información pueda trabajar con normalidad.
- La combinación entre la toma de datos automatizada y la manual es la opción más viable para garantizar un monitoreo efectivo y provechoso, si bien la automatización facilita la obtención de datos, es importante contar con un personal que se haga presente en el sitio del proyecto, puesto que las inspecciones visuales tanto de los instrumentos instalados como de la presa misma aportarán información útil para prever cualquier perjuicio.
- Un resultado de todas las mediciones que se puedan obtener en el control y monitoreo de la presa, servirá para generar un análisis detallado de las operaciones de mantenimiento que se deban efectuar en un futuro. Así, la subsistencia de la obra siempre estará prevista en planes de contingencia en caso de ser necesario y se evitará reparaciones de última hora y temporales.

- En el presente trabajo se analizó y realizó una propuesta de instrumentación para el monitoreo del cuerpo de la presa Ipa, como se mencionó antes, esta presa será construida con materiales sueltos, en la región del chaco de nuestro departamento. Por lo tanto, la propuesta elaborada en este trabajo constituye un primer paso para introducir la temática de seguridad de presas en nuestro medio, y como el proyecto Ipa presenta características similares a otros, puede servir como referencia a presas ya construidas como a presas futuras.
- En general, la instrumentación de una presa es parte fundamental del proyecto final, debido a que la seguridad en una obra de importancia social siempre se convertirá en una prioridad, por lo tanto, la inversión de dinero que se debe realizar para la colocación de la instrumentación recomendada no debe ser un motivo para reducir el alcance de la misma. Sin el control necesario, la obra, podría fallar sin previo aviso y sus efectos serían mucho peores, desde el punto de vista económico, en comparación de lo que sería si se efectúa una buena inversión en control y monitoreo de la presa.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se ve conveniente realizar una socialización con los habitantes de la zona del proyecto, por ser los principales beneficiarios, deben tener conocimiento de la instrumentación que se pretende instalar y cuál es el fin de la misma, enfatizando el cuidado que se debe tener y que se evite el daño innecesario.
- Durante el primer llenado y vaciado de la presa, se deberán hacer mediciones principalmente de los movimientos que se efectúen antes y después de esas condiciones, debido a que la experiencia internacional demuestra que la mayoría de los posibles cambios negativos se producen en estas etapas.
- Si se diera el caso de una lluvia extraordinaria, es muy importante la visualización inmediata de datos en la plataforma web, para tener conocimiento de posibles irregularidades causadas por dicho evento, tanto a los sensores instalados como al cuerpo de la presa, pudiendo así anticiparse a cualquier condición adversa.

- Es necesario recalcar que se debe verificar el correcto funcionamiento de aquellos instrumentos que son adquiridos mediante un proveedor (piezómetros, celdas de presión, consola de lecturas, estaciones automáticas, sensor por radar), así como también se debe capacitar adecuadamente al personal encargado de la toma de datos con ayuda de los técnicos especialistas y los manuales de cada instrumento.