

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ISAGEN S.A. E.S.P COMO AUXILIAR DE
INGENIERÍA CIVIL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO; ENFOCADA EN COMPLEMENTAR EL
MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO,
ESPECIFICAMENTE EN LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN
DE LA PRESA.**

JUAN FELIPE GÓMEZ REYES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ISAGEN S.A. E.S.P COMO AUXILIAR DE
INGENIERÍA CIVIL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO; ENFOCADA EN COMPLEMENTAR EL
MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO,
ESPECIFICAMENTE EN LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN
DE LA PRESA.**

JUAN FELIPE GÓMEZ REYES

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil.

Modalidad: Practica empresarial

Director de Proyecto de Grado

Ing. PhD. ALVARO VIVIESCAS JAIMES

Docente Escuela de Ingeniería Civil

Tutor Práctica Empresarial

DANIEL EDUARDO RUIZ OSPINA

Ing. Civil. Profesional Proyecto Sogamoso

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco en primera instancia a DIOS por bendecirme y permitirme llegar hasta la culminación de mi carrera de pregrado, porque hiciste realidad este sueño anhelado y me condujiste por caminos seguros.

A mis padres por su incondicional apoyo, amor y consejos que siempre me guiaron para cumplir mis propósitos.

Al alma mater la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, por darme la oportunidad de aprender y ser un profesional de gran calidad.

Al equipo de ISAGEN, por brindarme una experiencia muy enriquecedora en mi formación como Ingeniero Civil.

Al personal de INTEGRAL V.Q e INGETEC, por su total colaboración en mi proceso formativo.

De igual manera agradezco a mi director de proyecto Álvaro Viviescas y a mi tutor de la práctica Daniel Ruiz, quienes me motivaron durante mi formación profesional y fueron un ejemplo de rectitud, honestidad y responsabilidad.

Por último, pero no menos importante, a mi novia y compañeros de trabajo por estar conmigo durante todo este tiempo y hacer más amena el desarrollo de la práctica empresarial.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA	18
2.1 MISIÓN	18
2.2. VISIÓN.....	19
2.3. PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO.....	19
2.3.1. Localización	19
2.3.2. Zona de influencia de las obras.	20
2.3.3. Cronograma del proyecto.....	20
2.3.4. Descripción del proyecto.....	20
3. FUNCIONES EN ISAGEN S.A E.S.P	25
3.1 SEGUIMIENTO A LOS INFORMES DIARIOS DE OBRA ENVIADOS POR LA INTERVENTORÍA.....	25
3.2 REALIZAR VISITAS DE OBRA CADA DOS SEMANAS, RECOPIRAR INFORMACIÓN Y EFECTUAR REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	25
3.3 RECOPIACION Y REVISION DE LA CORRESPONDENCIA EMITIDA POR EL CONTRATISTA, LA INTERVENTORÍA Y LA ASESORÍA.....	28
3.4 APOYAR LA REVISIÓN DE LAS VERSIONES DE LOS PLANOS, LA ELABORACIÓN DE INFORMES Y PRESENTACIONES, Y EL ESTUDIO DE LAS ESPECIFICACIONES PARTICULARES Y GENERALES DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA.....	29
3.5 ASISTIR, TOMAR NOTAS Y TENER CONOCIMIENTO DE LOS TEMAS TRATADOS EN LAS REUNIONES DE INSTRUMENTACIÓN DEL PROYECTO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA.	30

3.6 OBSERVAR LOS PROCEDIMIENTOS DE LECTURAS Y DE INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.....	30
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

4. MANUAL DE CONSULTA SOBRE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO

SOGAMOSO.	32
4.1 ETAPAS DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN	33
4.1.1 Primera etapa	33
4.1.2 Segunda etapa.....	34
4.1.3 Tercera etapa.....	34
4.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A AUTOMATIZAR	35
4.2.1 Cuerpo de la presa.	35
4.2.2 Cara de concreto de la presa.....	38
4.3 DISPOSITIVOS, EQUIPOS Y ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN.....	42
4.3.1 Armario de adquisición de datos ADK-100	44
4.3.2 Datalogger CR-1000	45
4.3.3 Tarjeta de control de multiplexores	46
4.3.4 Multiplexores.....	47
4.3.5 Interfaz SC32B.....	47
4.3.6 Interfaz de fibra óptica	48
4.3.7 Otros elementos que componen los armarios ADK-100	49
4.3.8 Servidor de instrumentación	50
4.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	51
4.5 SOFTWARE DE GESTION DE DATOS	54
4.5.1 Programa de gestión de datos Hystrix	55
4.5.2 Software Multilogger	57
4.5.3 Aplicación Galemys	57

5. CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS.....	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Localización del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.	19
FIGURA 2. Visualización virtual del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.....	20
FIGURA 3. Instalación del anillo cuatripartido de la cámara espiral.	26
FIGURA 4. Instalación de las piezas que componen la cámara espiral.....	27
FIGURA 5. Instalación del Pit liner de la turbina.	27
FIGURA 6. Fundición de la cámara espiral.....	28
FIGURA 7. Imagen aérea Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.	32
FIGURA 8. Localización de piezómetros de hilo vibrátil en el relleno de la presa.	36
FIGURA 9. Localización de instrumentación sobre el nivel 206,5 de la presa.	37
FIGURA 10. Localización de instrumentación sobre el nivel 250 de la presa.	37
FIGURA 11. Localización de instrumentación sobre el nivel 290 de la presa.	38
FIGURA 12. Localización de instrumentación en la cara de concreto de la presa.....	39
FIGURA 13. Localización de instrumentación en la pantalla de concreto.....	40
FIGURA 14. Localización de los acelerógrafos.	41
FIGURA 15. Cantidad de instrumentos a automatizar.	41
FIGURA 16. Exterior de la caseta de instrumentación CS-4.	43
FIGURA 17. Interior de la caseta de instrumentación CS-4.....	43
FIGURA 18. Exterior del Armario de adquisición de datos ADK-100.....	44
FIGURA 19. Interior del Armario de adquisición de datos ADK-100.....	45
FIGURA 20. Datalogger CR-1000 de Campbell Scientific.	46
FIGURA 21. Tarjeta de control de multiplexores.....	46
FIGURA 22. Multiplexor de 32 canales.....	47
FIGURA 23. Conexiones de Datalogger CR-1000.....	48
FIGURA 24. Interfaz de fibra óptica.	49
FIGURA 25. Registrador y sensor de acelerógrafos.....	52
FIGURA 26. Esquema de distribución de datos.....	54

FIGURA 27. Visualización pantalla inicial de la aplicación Galemys.	59
FIGURA 28. Visualización en perfil de piezómetros de hilo vibrátil en la presa.	60
FIGURA 29. Visualización en planta de celdas de asentamiento elevación 206,5.	61
FIGURA 30. Visualización en planta de los registradores de movimiento vertical RMV's.	62
FIGURA 31. Visualización de gráficas para piezómetros de hilo vibrátil.....	64

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<i>ANEXO A. Mojón de control y de referencia</i>	69
<i>ANEXO B. Sistemas Dex-Brs (registrador de movimiento vertical)</i>	73
<i>ANEXO C. Inclínómetro</i>	77
<i>ANEXO D. Piezómetro de tubo abierto</i>	83
<i>ANEXO E. Piezómetro de hilo vibrátil</i>	88
<i>ANEXO F. Celda de carga</i>	94
<i>ANEXO G. Celda de asentamiento</i>	97
<i>ANEXO H. Extensómetro de cinta</i>	103
<i>ANEXO I. Extensómetro de posición múltiple</i>	106
<i>ANEXO J. Tiltmeter o clinómetro</i>	110
<i>ANEXO K. Medidor de juntas</i>	112
<i>ANEXO L. Medidor de deformación unitaria</i>	116
<i>ANEXO M. Acelerógrafo</i>	118
<i>ANEXO N. Vertedero de aforo</i>	120

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN ISAGEN S.A. E.S.P COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA CIVIL DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO; ENFOCADA EN COMPLEMENTAR EL MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO, ESPECIFICAMENTE EN LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA.*

AUTOR: JUAN FELIPE GÓMEZ REYES. **

PALABRAS CLAVES: HIDROELÉCTRICA, INSTRUMENTACIÓN, GEOTÉCNIA, AUTOMATIZACIÓN, INSTALACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El embalse del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso tiene capacidad de almacenar 4.800 Millones m³ de agua y una generación de 820 Mega Watt. Para la generación de energía eléctrica se aprovechará las aguas del río Sogamoso, construyendo una presa de gravas con cara de concreto y se instalarán 3 unidades de generación que serán alojadas en la central subterránea.

Dada la magnitud del proyecto se hace necesario realizar un seguimiento detallado a las deformaciones de las excavaciones subterráneas, de las excavaciones a cielo abierto, de los rellenos de la presa y de la cara de concreto de la presa, tanto en la ejecución de la obra como en el tiempo de vida útil de generación de la central. El seguimiento de estas deformaciones se realiza mediante la utilización de equipos de instrumentación geotécnica los cuales son instalados simultáneamente a la ejecución de obra en los diferentes frentes del proyecto y posteriormente se automatizan para continuar con el monitoreo durante la operación de la hidroeléctrica. Se identificó la necesidad de complementar el manual de instrumentación existente y adicionar información pertinente sobre la automatización de la instrumentación del proyecto, el cual va ser una guía útil al personal encargado del monitoreo de la instrumentación durante la operación comercial de la central hidroeléctrica. Este manual contiene la descripción de cada uno de los instrumentos utilizados para hacer monitoreo, una guía referente a los procedimientos de instalación de cada uno de ellos y los componentes que harán posible la automatización de la instrumentación.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. PhD. Alvaro Viviescas. Tutor. Ing. Daniel Ruiz.

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE ON ISAGEN S.A E.S.P AS CIVIL ENGINEER AUXILIARY AT THE SOGAMOSO HYDROELECTRIC BUILD UP PROJECT, FOCUSED ON COMPLEMENT THE HANDBOOK OF GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION, SPECIFICALLY IN THE AUTOMATION OF INSTRUMENTATION OF THE DAM.*

AUTHOR: JUAN FELIPE GÓMEZ REYES.**

KEYWORDS: Hydroelectric, instrumentation, geotechnical, automation, installation.

DESCRIPTION:

The Sogamoso Hydroelectric Project has a store capacity of 4.800 Million m³ of water and 820 Mega Watt power generation. For the electricity generation will be used the river Sogamoso, building a gravel dam with concrete face and installed three generating units that will be housed in the underground powerhouse.

The project magnitude, it is necessary to do a detailed monitoring to the deformations of the underground excavations, the outdoor excavations, the full dam fill-ups and concrete face side fill-ups, either in the execution or the central generation time life of the project. The monitoring of these deformations is performed with the use of geotechnical instrumentation equipment which is simultaneously installed to the execution of works in the different parts of the project, then is automatized to continue monitoring during the operation of the hydroelectric. It was identified a need to complement the handbook of instrumentation adding relevant information about the automation of the project instrumentation, which is going to be a useful guide to the personnel in charge of the instrumentation and monitoring during the commercial operation of the hydroelectric central. This handbook contains the description of each one of the instruments used for monitoring, a guide to the installation procedure and the components that will allow the automation of the instrumentation.

* Project of Grade.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director Eng. PhD. Alvaro Viviescas. Tutor. Eng. Daniel

INTRODUCCIÓN

ISAGEN S.A. E.S.P una de las empresas generadoras de energía más grandes de Colombia, posee y opera cinco centrales de generación, cuatro de ellas de origen hidráulico y una térmica, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, actualmente se encuentra ejecutando el proyecto de generación de energía Sogamoso que consiste en el aprovechamiento del caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa en el cañón donde el río cruza la serranía de la Paz.

El embalse del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso tiene capacidad de almacenar 4.800Mm³ de agua y una generación de 820MW; por lo tanto y dada la magnitud del proyecto se hace necesario realizar un seguimiento detallado a las deformaciones de las excavaciones subterráneas, las excavaciones a cielo abierto, los rellenos de la presa y la cara de concreto de la presa, tanto en la ejecución de la obra como en el tiempo de vida útil de generación de la central. El seguimiento de estas deformaciones se realiza mediante la utilización de equipos de instrumentación geotécnica, los cuales son instalados simultáneamente a la ejecución de obra en los diferentes frentes del proyecto y posteriormente se automatizan para continuar con el monitoreo durante la operación de la hidroeléctrica. Se identificó la necesidad de elaborar un manual con todas las características técnicas de instalación, de operación y de automatización de toda la instrumentación del proyecto, el cual va ser una guía útil al personal encargado del monitoreo de la instrumentación durante la operación comercial de la central hidroeléctrica.

El lector encontrará en este manual una descripción de cada uno de los instrumentos que se instalarán en el proyecto, con ilustraciones de los mismos que le permitirán identificarlos de manera certera en los puntos donde se encuentran ubicados. Se ha incluido igualmente una guía referente a los procedimientos de instalación de cada uno de ellos, la misma explica de manera detallada no sólo el

procedimiento de instalación a seguir, sino también los prerequisites de instalación cuando haya lugar y las precauciones a tener en cuenta para realizar una instalación segura del instrumento en cuestión según los lineamientos emitidos por el fabricante y las especificaciones técnicas del proyecto. En el manual se incluye cada uno de los componentes que formarán parte del sistema automático, la arquitectura del sistema, una descripción y visualización del Software de gestión de datos que permitirá el desarrollo del sistema automático.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una práctica como auxiliar de ingeniería en la construcción del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, en la empresa ISAGEN S.A. E.S.P desempeñando mis funciones asignadas en el frente de obra de la Central Subterránea (Caverna de Transformadores, Caverna de Casa de Máquinas y Caverna de Oscilación) y el túnel de Descarga y Restitución. Adicionalmente; como aporte para la empresa, complementar el manual de instrumentación geotécnica del proyecto, que sirva de soporte para consulta sobre la automatización de la instrumentación de la presa.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar seguimiento a los informes diarios de obra enviados por la Interventoría en la ejecución de los concretos de primera y segunda etapa en la Central Subterránea y en el avance de la excavación del túnel de Descarga y Restitución.
- Realizar visitas de obra cada dos semanas, recopilar información y efectuar registro fotográfico, con el fin de controlar y verificar los avances de obra en la Central Subterránea y en el túnel de Descarga y Restitución.
- Recopilar, revisar y enviar diariamente al tutor la correspondencia emitida por el Contratista, la Interventoría y la Asesoría para los frentes de la Central Subterránea y del Túnel de Descarga y Restitución.
- Apoyar la revisión de las versiones de los planos, la elaboración de informes y presentaciones, y el estudio de las especificaciones particulares y generales de la Central Subterránea.

- Asistir, tomar notas y tener conocimiento de los temas tratados en las reuniones de instrumentación del proyecto y automatización de la instrumentación de la presa.
- Observar los procedimientos de lecturas y de instalación de la instrumentación en las estaciones de monitoreo de las obras subterráneas y superficiales.
- Presentar un informe final de las actividades de obra realizadas.

2. DESCRIPCION DE LA EMPRESA

ISAGEN S.A. E.S.P. es una empresa colombiana de servicios públicos dedicada a la generación de energía, la construcción de proyectos y la comercialización de soluciones energéticas, con el propósito de satisfacer las necesidades de los clientes y atender las futuras demandas de los mismos.

Esta compañía posee y opera cinco centrales de generación, cuatro de ellas de origen hidroeléctrico y una térmica, las cuales suman una capacidad instalada de 2132 MW, posicionándose como el tercer generador del país y suministrando el 14,78% de la capacidad total del Sistema Interconectado Nacional.

La estrategia de ISAGEN está orientada al crecimiento de su capacidad de generación para atender la creciente demanda del país, en cumplimiento de esta estrategia durante el mes de Agosto de 2012 entró en servicio el proyecto Guarinó. Actualmente se adelanta la construcción de los proyectos Sogamoso, Amoyá y Manso, los cuales espera tener culminados entre los años 2011 y 2013.

Uno de los proyectos que actualmente se encuentra en estado de ejecución es el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, localizado en la zona nororiental de Colombia del departamento de Santander, el cual aumentará la capacidad instalada de ISAGEN en 820 MW.

2.1 MISIÓN

ISAGEN desarrolla la capacidad de generación, produce y comercializa energía con el propósito de satisfacer las necesidades de sus clientes y crear valor empresarial. La gestión se desarrolla con ética, enfoque al cliente, sentido económico y responsabilidad social y ambiental.

2.2. VISIÓN

ISAGEN es líder en generación y transacciones de energía en Colombia, es el aliado de la productividad de los clientes y es reconocido por sus negocios de energía en mercados internacionales. El desarrollo integral de los trabajadores y la responsabilidad empresarial son la base de la creación conjunta de valor para los accionistas y la sociedad.

2.3. PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO

2.3.1. Localización. El proyecto Sogamoso se encuentra ubicado en la zona nororiental, colombiana, específicamente el departamento de Santander.

El conjunto de obras que conforman el Proyecto se encuentran ubicadas en el cañón donde el río Sogamoso cruza la serranía de La Paz; 62 km después de la confluencia de los ríos Suárez y Chicamocha y 75 km antes de su desembocadura en el río Magdalena.

FIGURA 1. Localización del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.



Fuente: www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/

2.3.2. Zona de influencia de las obras. La zona de influencia de las obras comprende la jurisdicción de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, San Vicente de Chucurí, Los Santos y Lebrija; así como los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de Torres ubicados aguas abajo del sitio de la presa.

2.3.3. Cronograma del proyecto. De acuerdo al cronograma las obras construcción del proyecto estarán concluidas al finalizar el año 2013. En el momento en que la central inicie operación comercial la capacidad instalada de la empresa aumentará en 820 megavatios, y su producción de energía aumentará en 5056 giga vatios hora año, esto representa el 10% del consumo energético del país.

2.3.4. Descripción del proyecto. Para la generación de energía eléctrica se utilizarán las aguas del río Sogamoso. Para lograr el aprovechamiento de las mismas se construye una presa de gravas con cara de concreto y se instalaran 3 unidades de generación que serán alojadas en la central subterránea.

FIGURA 2. Visualización virtual del proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.



1. Embalse.
2. Presa.
3. Vertedero.
4. Cuenco del vertedero.
5. Túnel de descarga y restitución.
6. Túneles Viales.

Fuente: Proyecto hidroeléctrico Sogamoso, Material Audiovisual ISAGEN.

A continuación se enuncian las obras que hacen parte del proyecto y la función que cumple cada una de ellas.

- **Vías de Acceso:** Proveen acceso a los diferentes frentes de obra, se incluye en estas un puente provisional construido sobre la vía Bucaramanga Barrancabermeja.

- **Sistema de desvío:** Está conformado por dos túneles en concreto revestido de 11 m de diámetro que permiten el desvío del cauce del río para poder disponer de zona de trabajos sobre el mismo; las aguas que ingresan a los túneles de desvío son devueltas al río aguas abajo de la zona donde se realizan los trabajos.

La entrada de cada túnel consiste en una estructura de concreto, que tiene la función de encausar las aguas hacia su interior y permitir el cierre de los mismos cuando se proceda al llenado del embalse, mediante unas compuertas especiales.

- **Presa:** La presa, del tipo de gravas con cara de concreto, tiene 190 metros de altura, 345 metros de ancho en su parte más alta y una longitud de pata, medida en forma paralela al cauce del río, de casi 500 metros. El volumen de los rellenos de la presa es de aproximadamente 9,00 millones de metros cúbicos. El proceso de construcción de los llenos está previsto en diferentes etapas para poder garantizar un margen de seguridad con respecto a posibles crecientes del río. Adicionalmente, se contará con una ataguía en concreto compactado con rodillo incorporada dentro del cuerpo de la presa que servirá de apoyo a la cara de concreto que se construirá sobre el talud de aguas arriba.

Los materiales utilizados en el proceso de construcción provienen de zonas de explotación de gravas naturales (Hacienda La Flor), de las excavaciones del vertedero así como de otras obras del proyecto.

- **Embalse:** El embalse hasta su nivel normal de operación, ocupará un área aproximada de 7000 hectáreas y tendrá un volumen de agua almacenada de 4800 millones de metros cúbicos.

Para iniciar el proceso de llenado del embalse los túneles de desvío anteriormente mencionados deben ser cerrados mediante las compuertas destinadas para ello. Una vez cerrados se accede a los mismos a través de su portal de salida, en su interior se construirá un tapón de concreto de una longitud de 29 metros que sellará definitivamente los túneles.

Una vez se realice el cierre de los túneles se comienza el proceso de llenado del embalse, este proceso tardará 3 meses tiempo en el cual habrá alcanzado su nivel de operación.

Durante el proceso de llenado estará operando el sistema de descarga de fondo, estructura que se detalla más adelante y que tiene como función garantizar en la zona de aguas abajo de la presa el caudal ecológico que se ha definido en la licencia ambiental.

El embalse contará con una zona de protección ecológica construida alrededor del mismo, esta zona, de 100 metros de ancho estará destinada a la conservación de la flora y la fauna propias de la región y estará conectada al parque nacional de los Yariguies por la quebrada El Ramo.

- **Vertedero:** Consiste en un canal de concreto de 72 metros de ancho y 354 metros de longitud ubicado sobre el estribo izquierdo del río. Su finalidad es evacuar los excesos de agua al cauce natural del río cuando se supere la capacidad de almacenamiento del embalse, debido a las condiciones climáticas. Ésto garantiza la estabilidad y seguridad de la presa, el diseño del vertedero está concebido para amortiguar la caída del agua y evitar que se produzcan daños

cuando esta retorne al cauce. La descarga del vertedero es controlada mediante un sistema de compuertas.

- **Cuenca del Vertedero:** El cuenco es la zona que recibe el agua del vertedero cuando este se encuentra en operación. Para garantizar la estabilidad del talud la construcción se realizó construyendo una serie de terrazas en el terreno natural existente.

- **Bocatoma y sistema de carga:** El agua almacenada en el embalse es conducida a los equipos de generación a través del sistema de carga, constituido por una bocatoma, que consiste en una estructura de concreto de 110 metros de longitud por 25 metros de altura que cuenta con una reja a la entrada, esta estructura se encuentra a una altura de 90 metros sobre el lecho del río.

El sistema de carga está conformado por 3 conductos o túneles de carga con un tramo horizontal superior de 130 m, un pozo de 95 metros y un tramo horizontal inferior de 180m.

- **Central subterránea y túneles de acceso:**

Se compone de las cavernas de transformadores, máquinas y oscilación.

Caverna de transformadores: Tiene como finalidad alojar los tres transformadores de potencia de la central, que estarán aislados de los equipos de generación. La energía generada se conduce por medio de unos cables especiales, ubicados en el pozo de cables hacia la superficie, a 120 m de altura.

Caverna de máquinas: En esta construcción estarán alojadas las unidades de generación.

Cada unidad de generación está compuesta por una turbina de tipo Francis, de eje vertical con una potencia nominal de 278.8 MW, y un generador trifásico síncrono enfriado por aire con una capacidad nominal de 324 MVA con un voltaje nominal de 16.5 KV.

Caverna de Oscilación: Esta construcción se diseña para recoger las aguas después de han pasado por las turbinas. Su función es disipar las ondas elásticas generadas por el flujo cuando hay un cierre rápido, puesta en marcha de turbinas o presencia de aire. Sus dimensiones son: 100 m de longitud, 20 m de ancho y 43m de alto.

- **Túnel de descarga y restitución:** Este túnel es el encargado de devolver toda el agua al río después de que ha cumplido el proceso de generación en un sitio ubicado después de la presa. Las dimensiones del mismo son: 223 m de longitud, 17 metros de alto y 14 metros de ancho.

- **Túnel de descarga de fondo:** Consiste en un túnel de 605 m de longitud construido sobre la margen derecha del río, cuenta con una compuerta radial graduable, que permite ejercer control sobre la velocidad de llenado del embalse, la capacidad máxima de la misma es de 486 m³ por segundo.

3. FUNCIONES EN ISAGEN S.A E.S.P

Las funciones realizadas como auxiliar de ingeniería del equipo de obras civiles principales de ISAGEN S.A E.S.P durante la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso fueron:

3.1 SEGUIMIENTO A LOS INFORMES DIARIOS DE OBRA ENVIADOS POR LA INTERVENTORÍA

La interventoría en su ejercicio de verificar y controlar los trabajos que se ejecutan en la obra emite reportes diarios de cada frente en donde se hace una descripción detallada de los avances de los trabajos, rendimientos obtenidos, descripción de anomalías y registro fotográfico.

Se debe realizar revisión a los informes diarios de concretos de primera y segunda etapa en la caverna de máquinas, caverna de transformadores y caverna de oscilación. De igual manera, se hace verificación de las actividades mencionadas en los informes diarios con las ejecutadas en la obra, seguimiento de las cantidades de concretos y acero de cada actividad con la cantidad teórica.

3.2 REALIZAR VISITAS DE OBRA CADA DOS SEMANAS, RECOPIRAR INFORMACIÓN Y EFECTUAR REGISTRO FOTOGRÁFICO.

Como complemento a los controles y seguimientos, se realizan recorridos de obra cada dos semanas con el fin de tener una visión más clara del avance de las obras en la central subterránea y en el túnel de descarga y restitución.

Los recorridos de obra consisten en desplazarse hasta el frente en cuestión, teniendo un conocimiento previo de los trabajos que allí se ejecutan, recopilar información como rendimientos, tiempo empleado en las actividades, personal del

Contratista que labora en el frente, el suministro de los materiales y cualquier acontecimiento que afecte o pueda afectar la correcta ejecución de alguna actividad, esta información es suministrada por el personal de la Interventoría que supervisa la zona. Además de la información recopilada, se debe efectuar un registro fotográfico que permita apreciar con mayor comprensión el avance de la obra.

En las siguientes figuras se puede apreciar el avance de las obras y la secuencia constructiva para la fundición de las cámaras espirales alojadas en la central subterránea.

FIGURA 3. Instalación del anillo cuatripartido de la cámara espiral.



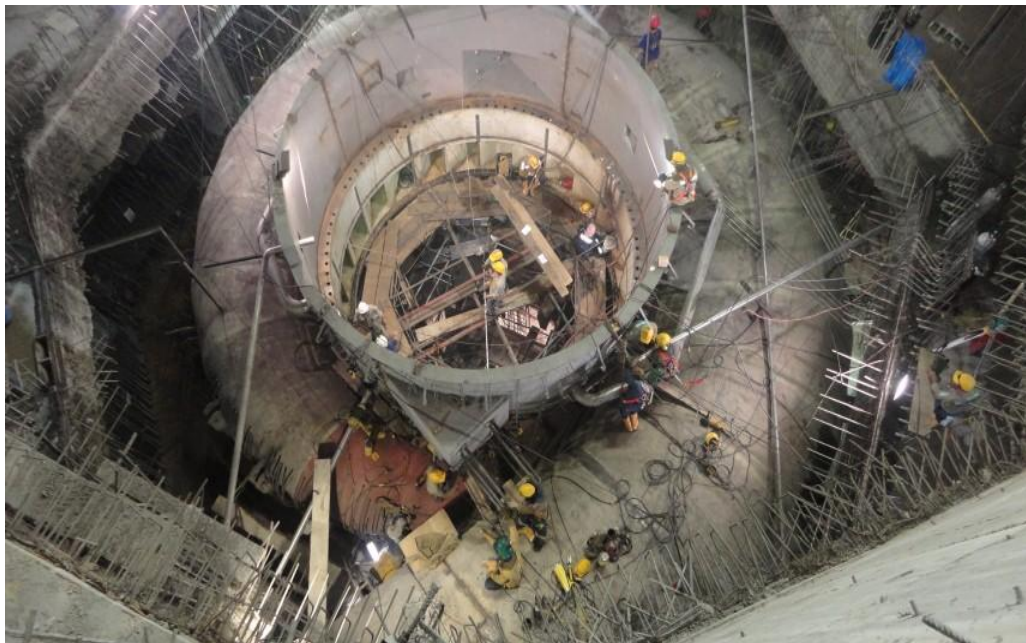
Fuente: Propia.

FIGURA 4. Instalación de las piezas que componen la cámara espiral.



Fuente: Propia.

FIGURA 5. Instalación del Pit liner de la turbina.



Fuente: Propia.

FIGURA 6. Fundición de la cámara espiral.



Fuente: Propia.

3.3 RECOPIACION Y REVISION DE LA CORRESPONDENCIA EMITIDA POR EL CONTRATISTA, LA INTERVENTORÍA Y LA ASESORÍA.

En el desarrollo de la obra se generan algunos cambios en los sistemas constructivos, cambios en los materiales para construcción, se generan consultas a lo indicado en los planos de construcción o simplemente se informa sobre las actividades que se están llevando a cabo o que prontamente iniciarán. Esto se hace mediante comunicaciones enviadas por la Asesoría, Interventoría y el Contratista. Por tanto se debe recopilar, revisar y enviar diariamente al tutor la correspondencia emitida en los diversos frentes de la Central Subterránea y del Túnel de Descarga y Restitución.

3.4 APOYAR LA REVISIÓN DE LAS VERSIONES DE LOS PLANOS, LA ELABORACIÓN DE INFORMES Y PRESENTACIONES, Y EL ESTUDIO DE LAS ESPECIFICACIONES PARTICULARES Y GENERALES DE LA CENTRAL SUBTERRÁNEA.

Realizar la revisión general de los planos de construcción del proyecto emitidos por el diseñador, específicamente los planos de la central subterránea, del túnel de Descarga y Restitución y los de instrumentación geotécnica en todos los frentes de trabajo. Estos planos dependiendo de diferentes situaciones en obra, por plazos en la programación de las actividades , por reducción en costos o por solicitud de ISAGEN pueden cambiar, creando nuevas revisiones y planos obsoletos con revisiones anteriores.

Esto se tiene en cuenta para organizar los planos ya sean como planos actualizados o revisiones anteriores y si es necesario efectuar su comparación. A cada uno de los planos se le elabora una hoja de vida, donde indica el número del plano, el título, la revisión vigente, el tipo de plano que puede ser geotécnico, estructural, eléctrico, mecánico arquitectónico o hidráulico, el lote, la descripción de cada modificación y la fecha de cada una de las revisiones.

Mediante una comunicación se le entrega a la interventoría dos copias de los planos y las cartillas de despiece, archivos en DWG y PDF de cada uno de los planos, el comunicado contiene descripción del lote a la que pertenece el plano, el nombre del plano y su respectiva revisión. Una copia permanece en la interventoría y la restante es entregada por la interventoría al contratista junto a los archivos digitales.

La elaboración de informes sobre los recorridos de avance de la central subterránea debe elaborarse de forma clara y concisa, complementándolo con un registro fotográfico que permita brindar mayor comprensión de la situación a informar.

3.5 ASISTIR, TOMAR NOTAS Y TENER CONOCIMIENTO DE LOS TEMAS TRATADOS EN LAS REUNIONES DE INSTRUMENTACIÓN DEL PROYECTO Y AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA.

Para el desarrollo de la automatización de la instrumentación y la instrumentación del proyecto es necesario realizar periódicamente reuniones sobre dichos temas. Las reuniones cuentan con la participación del encargado de la instrumentación del Contratista, Asesoría y la Interventoría.

En las reuniones se revisa el cumplimiento de los compromisos acordados en la reunión anterior, se hace un recuento del estado actual de la ejecución de novedades reportadas vía correo electrónico por la Asesoría y del estado de los equipos utilizados para la recolección de datos; se informa de los avances de la automatización de los instrumentos ubicados en las casetas de instrumentación y avances en la programación del Software de gestión de datos implementado para la automatización. Además, se realiza seguimiento al cronograma de desarrollo y suministro de la automatización del sistema enviado por el Contratista.

3.6 OBSERVAR LOS PROCEDIMIENTOS DE LECTURAS Y DE INSTALACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES.

En los diferentes frentes del proyecto se instalan diversos instrumentos para monitorear las deformaciones en las obras subterráneas y los movimientos

superficiales; para la instalación de nuevos instrumentos se hace acompañamiento conjuntamente con la Asesoría y la Interventoría, con el fin de observar y reportar todo el procedimiento llevado a cabo y tener un registro fotográfico completo.

4. MANUAL DE CONSULTA SOBRE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO SOGAMOSO.

La implantación de un sistema automático de monitoreo en un proyecto hidroeléctrico de gran envergadura permite un mayor y mejor control del mismo durante la ejecución de los trabajos, así como posteriormente durante la vida útil de la presa.

FIGURA 7. Imagen aérea Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Este manual contiene la instrumentación geotécnica que formará parte del sistema de control automático de la misma, se describe cada uno de los componentes que formarán parte del sistema automático y la arquitectura del sistema, además una descripción y visualización del Software de gestión de datos que permitirá el desarrollo del sistema automático.

4.1 ETAPAS DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

El proceso de automatización se desarrolla en tres etapas, según los avances en la construcción de la presa. Las etapas se diferencian en el método de recolección de la información de la instrumentación geotécnica y por consiguiente en el grado de automatización de la toma de datos.

4.1.1 Primera etapa

En la primera etapa se instala la instrumentación durante la construcción de las obras del proyecto, en esta etapa se debe instalar el servidor de instrumentación geotécnica en las oficinas de ISAGEN en el sitio del Proyecto, o en el sitio que éste designe. El servidor tiene completa funcionalidad desde el momento que se instale y permite a través de un software, desde esta etapa, la tabulación y graficación de datos de la instrumentación instalada. La recolección de los datos será realizada mediante interrogadores portátiles. Todos los datos de la instrumentación instalada, serán recolectados y descargados manualmente en el servidor.

Estos instrumentos corresponden a mojones para el control de desplazamientos superficiales, inclinómetros para el seguimiento de los desplazamientos horizontales en profundidad, piezómetro de tubo abierto y de hilo vibrátil para la medición de los niveles piezométricos, sistema Dex-Brs y celdas para el control de los asentamientos de los llenos de la presa, extensómetros de cinta y extensómetros de posición múltiple para medir las deformación de las excavaciones subterráneas.

Los instrumentos que se instalarán a medida que avanzan los trabajos en la cara de concreto son los clinómetros o tiltmeters para el control de posible vuelcos o giros de las losas de concreto, medidores de juntas para medir los desplazamientos que se producen entre losas, medidores de deformación unitaria

para el seguimiento de deformaciones en el acero de refuerzo o en el concreto y acelerógrafos para controlar las posibles vibraciones.

La descripción de los instrumentos que se instalarán en el proyecto, sus componentes y el procedimiento de instalación se muestran detalladamente en los anexos.

4.1.2 Segunda etapa

En la segunda etapa se realiza la conexión de la instrumentación geotécnica de la presa a los Dataloggers ubicados en las casetas de instrumentación, los Dataloggers se instalan en las casetas de instrumentación a medida que éstas se construyan. Toda la información almacenada en los Dataloggers se descarga al servidor de instrumentación a través de un computador portátil.

Los Dataloggers deben programarse de forma que realicen las lecturas en modo de operación normal cada hora y al final se promedian las 24 mediciones hechas para cada instrumento, valor que será el definitivo a almacenar.

4.1.3 Tercera etapa

En esta etapa se instala el servidor de instrumentación geotécnica en la sala de control de casa de máquinas y se enlaza directamente con los Dataloggers. La información almacenada en los Dataloggers es descargada de forma automática al servidor de instrumentación geotécnica, cumpliendo con la misma frecuencia en la toma de lecturas que en la etapa anterior.

4.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A AUTOMATIZAR

Para llevar a cabo la automatización de la instrumentación del proyecto, se han definido los dispositivos de medición que serán objeto de automatización, todos estos se encuentran emplazados en la presa y en las galerías de inyección y drenaje situadas en los estribos de la presa.

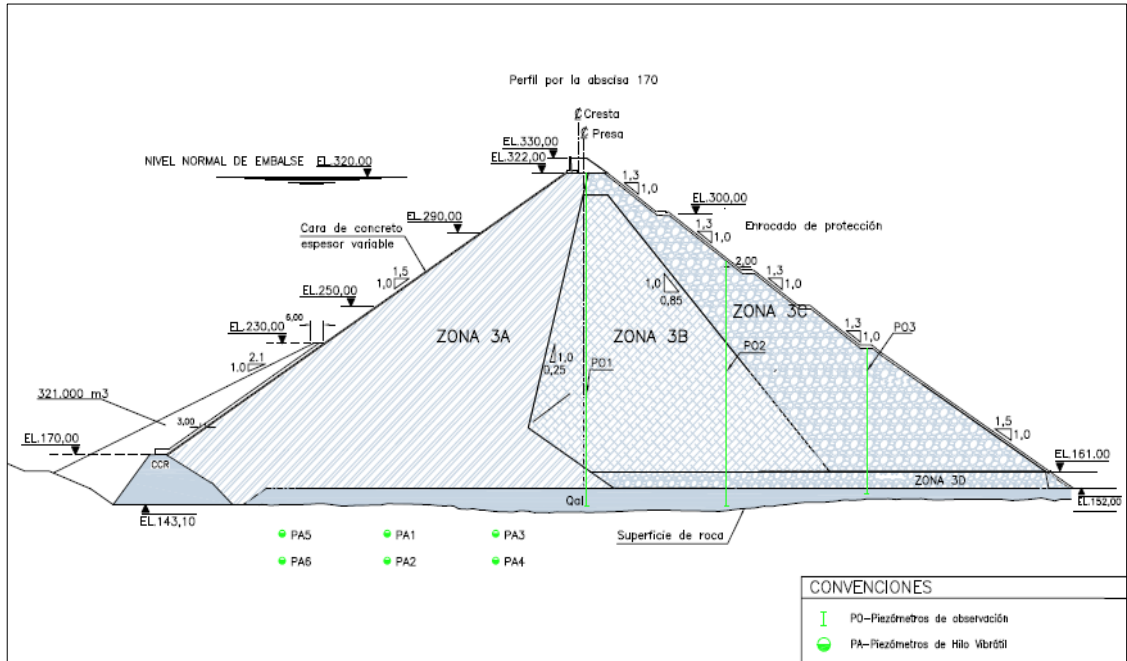
Por diferentes sectores, los instrumentos que formarán parte de la automatización de la instrumentación de la presa son:

4.2.1 Cuerpo de la presa.

- Seis (6) Piezómetros de hilo vibrátil (PA), situados en diferentes secciones del relleno de la presa.
- Quince (15) Celdas de asentamiento CA-1 a CA-15, distribuidas en la elevación 206.5 m del relleno de la presa.
- Dieciséis (16) Celdas de asentamiento CA-16 a CA-31, distribuidas en la elevación 250 m del relleno de la presa.
- Diez (10) Celdas de asentamiento CA-32 a CA-41, distribuidas en la elevación 290 m del relleno de la presa.
- Un acelerógrafo AC-1, situado en la elevación 325 m del relleno de la presa.
- Un acelerógrafo AC-2, situado en la elevación 250 m del relleno de la presa.

La Figura 8 muestra la localización de los seis (6) piezómetros de hilo vibrátil sobre el relleno de la presa.

FIGURA 8. Localización de piezómetros de hilo vibrátil en el relleno de la presa.

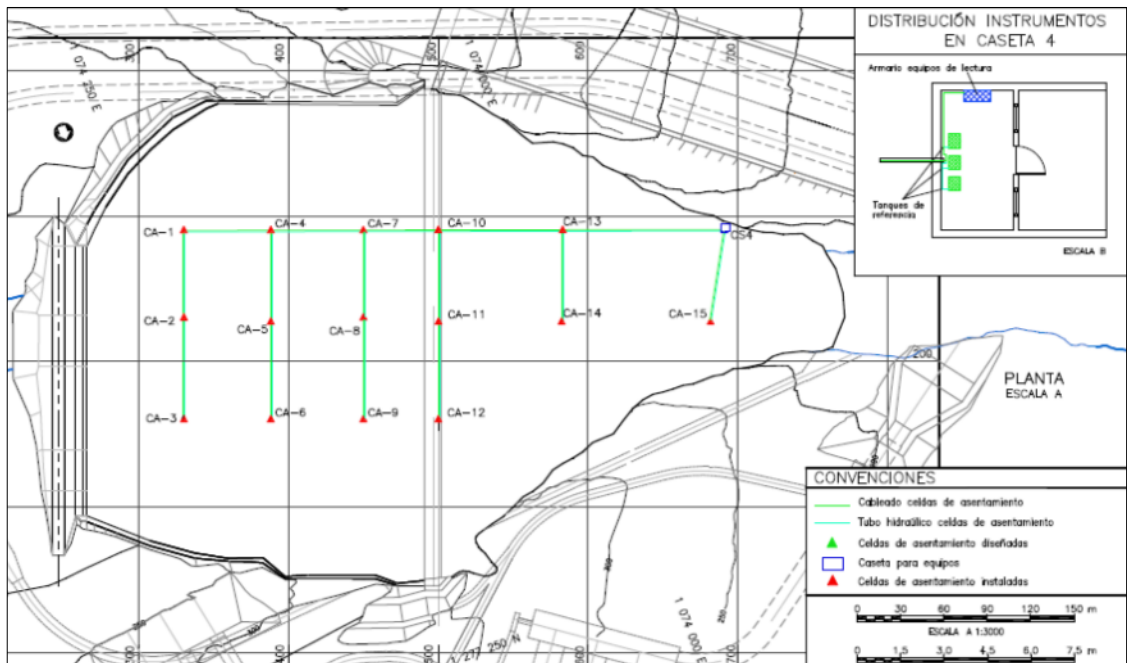


Fuente: Informe de instrumentación mes de Octubre de 2012, INGETEC.

Las Figuras 9 y 10 muestran la localización de las celdas de asentamiento ya instaladas en el relleno de la presa y sus conexiones desde sus respectivas casetas de instrumentación.

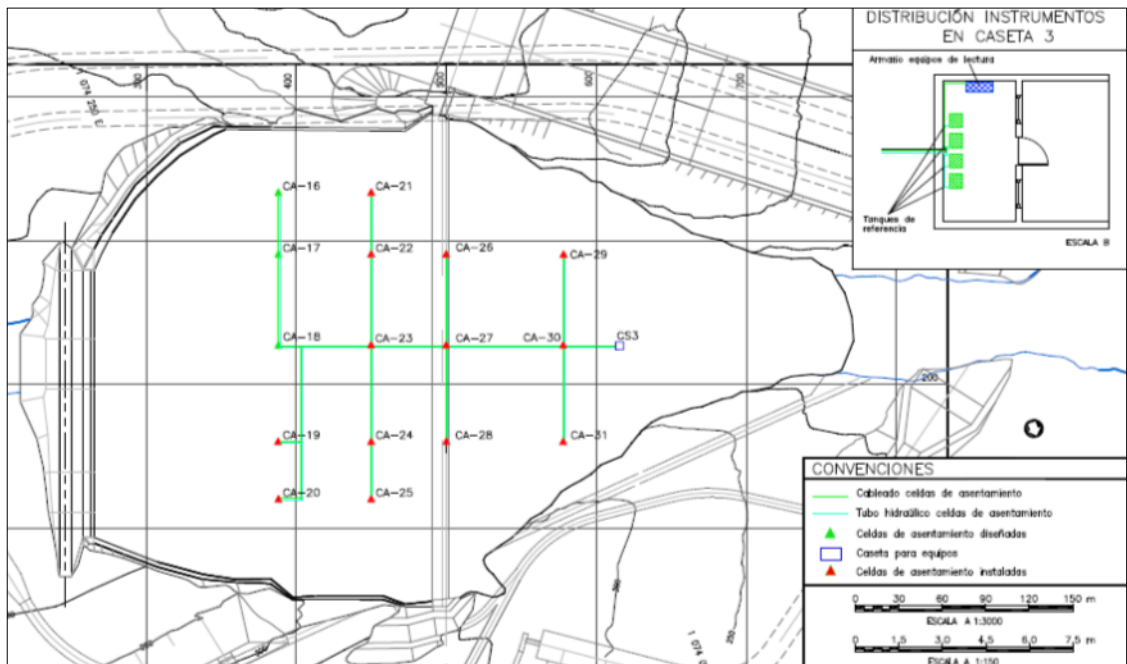
La Figura 11 muestra el diseño actual de la distribución de las celdas de asentamiento en el nivel 290 del relleno de la presa y sus conexiones a la caseta de instrumentación CS-2.

FIGURA 9. Localización de instrumentación sobre el nivel 206,5 de la presa.



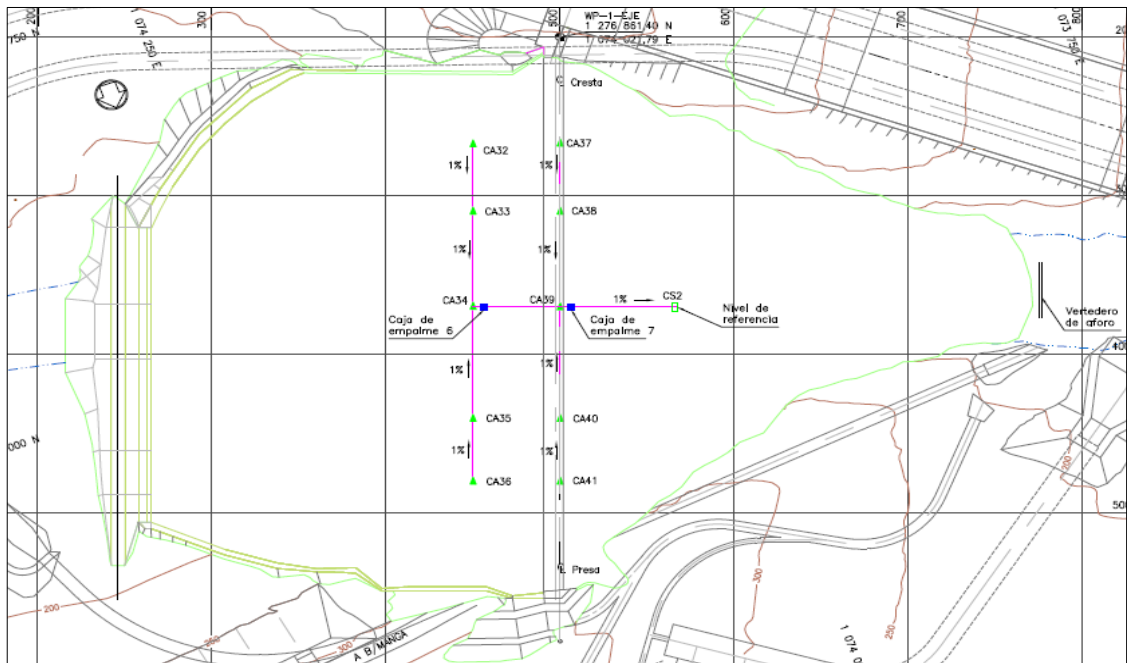
Fuente: Informe de instrumentación mes de Octubre de 2012, INGETEC.

FIGURA 10. Localización de instrumentación sobre el nivel 250 de la presa.



Fuente: Informe de instrumentación mes de Octubre de 2012, INGETEC.

FIGURA 11. Localización de instrumentación sobre el nivel 290 de la presa.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

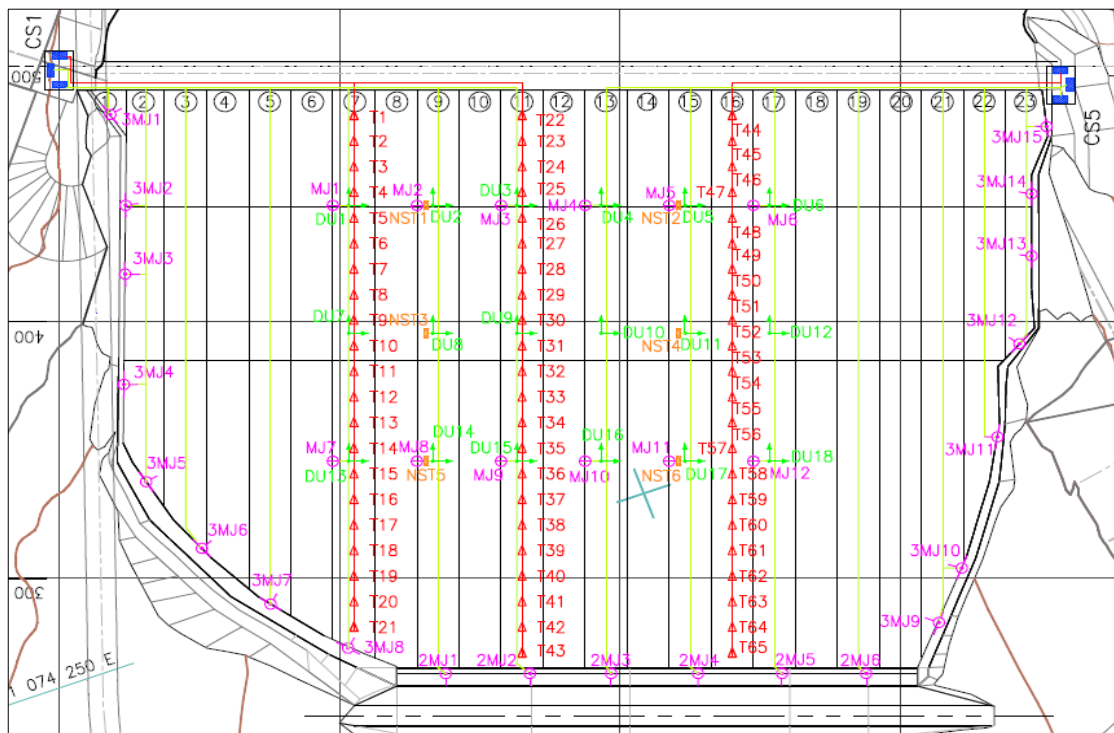
4.2.2 Cara de concreto de la presa.

- Veintiuno (21) Tiltmeters T-1 a T-21, situados a lo largo de la abscisa 105 de la cara de concreto de la presa.
- Veintidós (22) Tiltmeters T-22 a T-43, situados a lo largo de abscisa 165 de la cara de concreto de la presa.
- Veintidós (22) Tiltmeters T-43 a T-65, situados a lo largo de abscisa 240 de la cara de concreto de la presa.
- Dieciocho (18) Medidores de deformación unitaria DU-1 a DU-18, situados en la cara de concreto de la presa.
- Seis (6) Medidores “No Stress” NST1 a NST6, situados en la cara de concreto de la presa.

- Doce (12) Medidores de juntas de 1 dirección MJ-1 a MJ-12, situados en la cara de concreto de la presa.
- Seis (6) Medidores de juntas de 2 direcciones 2MJ-1 a 2MJ-6, situados en la cara de concreto de la presa.
- Quince (15) Medidores de juntas de 3 direcciones 3MJ-1 a 3MJ-15, situados en la cara de concreto de la presa.

En la Figura 12 se muestra la localización de la instrumentación a instalar en la cara de concreto de la presa.

FIGURA 12. Localización de instrumentación en la cara de concreto de la presa.



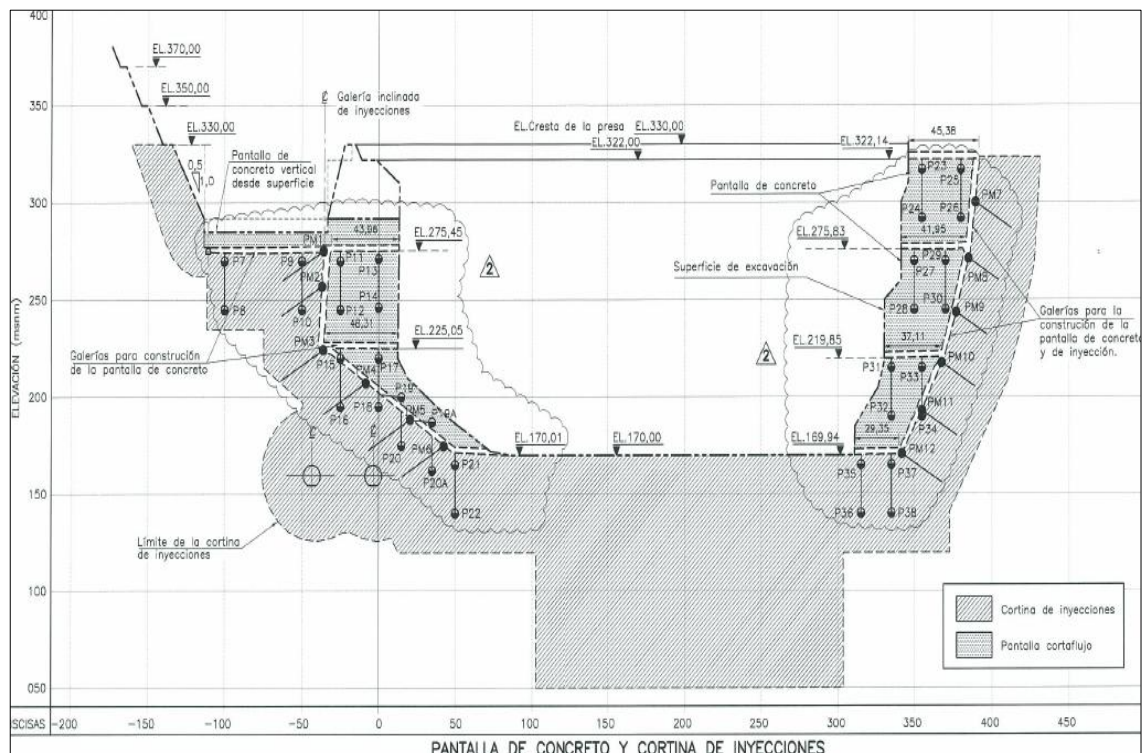
Fuente: Memoria técnica general de la arquitectura del sistema de automatización.

4.2.3 Galerías de inyección y drenaje.

- Dieciséis (16) piezómetros de hilo vibrátil P-7 a P-22, situados en el estribo izquierdo de la presa.
- Dieciséis (16) piezómetros de hilo vibrátil P-23 a P-38, situados en el estribo derecho de la presa.
- Un acelerógrafo AC-3, situado en la galería No.4 de construcción.

En la Figura 13 se muestran la localización de los piezómetros de hilo vibrante (P#) y los piezómetros de manométricos (PM#) en la pantalla de concreto y en la cortina de inyecciones.

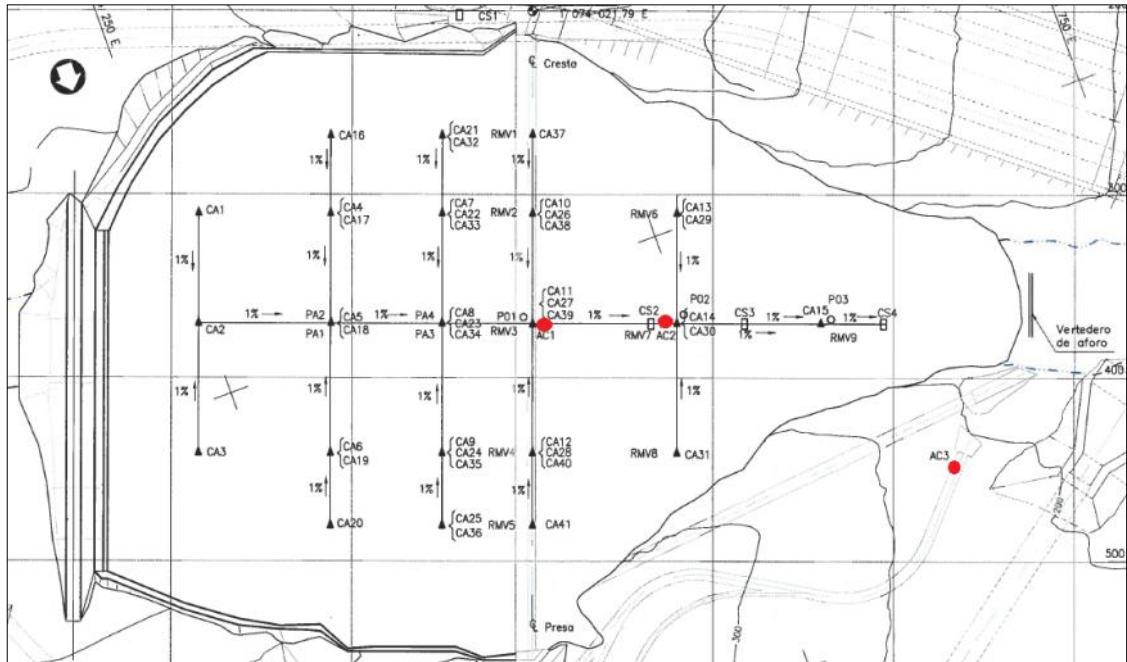
FIGURA 13. Localización de instrumentación en la pantalla de concreto.



Fuente: Plano E3-LT2.1-GEO-027-Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

En la Figura 14 se muestra la localización de toda la instrumentación en la presa en planta y los tres puntos rojos son los acelerógrafos a instalar.

FIGURA 14. Localización de los acelerógrafos.



Fuente: Plano E3-LT2.1-GEO-031-Rev.0, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

En la siguiente tabla se resume la cantidad de instrumentos que se automatizarán.

FIGURA 15. Cantidad de instrumentos a automatizar.

INSTRUMENTOS	CANTIDAD TOTAL
Piezómetros de hilo vibrátil	38
Celdas de asentamiento	41
Medidores de deformación unitaria	18
Tiltmeters	65
Acelerógrafos	3
Medidores de junta	69
Medidores "Zero Stress"	6

4.3 DISPOSITIVOS, EQUIPOS Y ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Durante la primera etapa de la automatización en la que se instala la instrumentación durante la construcción de las obras, hasta que se instalen los Dataloggers en las casetas de instrumentación de la presa (segunda etapa) a medida que estas se construyen, la recolección de los datos de los distintos instrumentos instalados se realiza mediante interrogadores portátiles. Los interrogadores que se utilizan durante esta fase son:

- Unidad de adquisición de datos Galileo de Sisgeo.
- Unidad de adquisición de datos New Leonardo de Sisgeo.
- Unidad de adquisición de datos Volta de Sisgeo.

Para la segunda y tercer etapa de la automatización, en las que están en funcionamiento los Dataloggers automáticos para la recolección y almacenamiento de los datos, los distintos dispositivos que hacen posible el funcionamiento del sistema se alojan en el interior de los armarios metálicos, los cuales se sitúan dentro de las casetas de protección llamadas también casetas de instrumentación.

Las casetas de instrumentación son construidas en concreto reforzado protegiendo los armarios metálicos de las caídas de rocas, la lluvia, el polvo y cambios climáticos abruptos. Las casetas se localizan en el enrocado de la cara aguas abajo de la presa y en la cresta de la presa de la siguiente manera:

- Caseta de instrumentación CS-1 y CS-5, cresta de la presa en la cota 330.
- Caseta de instrumentación CS-2, cara aguas abajo de la presa en la cota 290.
- Caseta de instrumentación CS-3, cara aguas abajo de la presa en la cota 250.

- Caseta de instrumentación CS-4, cara aguas abajo de la presa en la cota 206,5.

FIGURA 16. Exterior de la caseta de instrumentación CS-4.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso ISAGEN.

FIGURA 17. Interior de la caseta de instrumentación CS-4.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso ISAGEN.

4.3.1 Armario de adquisición de datos ADK-100

El armario de adquisición de datos ADK-100 marca SISGEO es un armario de acero inoxidable, resistente a golpes y de sellado hermético, en este se alojan los equipos y elementos necesarios para la lectura de forma automática de los instrumentos que llegan a los mismos.

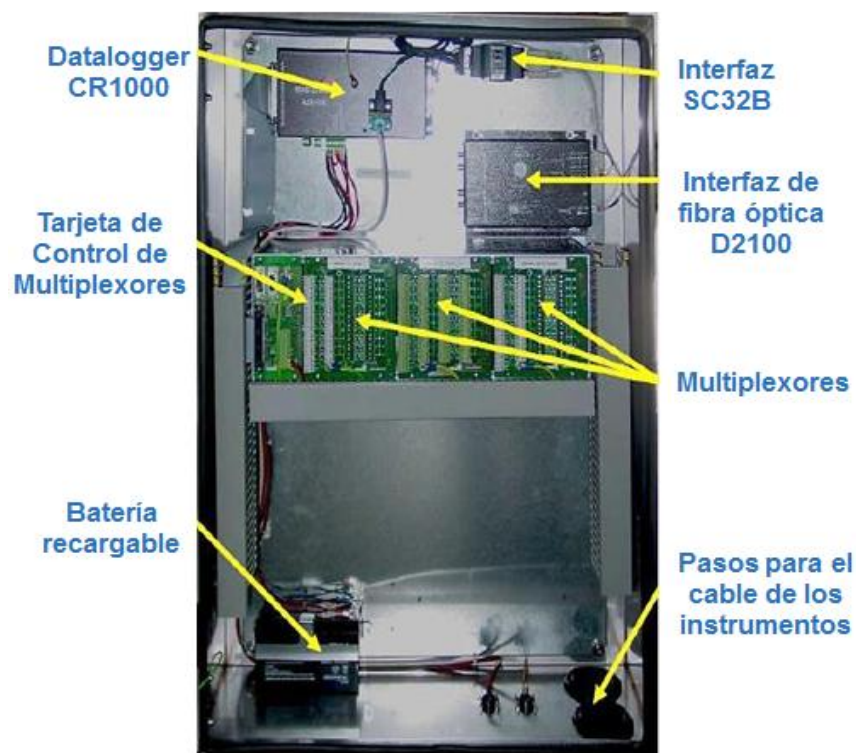
FIGURA 18. Exterior del Armario de adquisición de datos ADK-100.



Fuente: Propia.

El armario ADK-100 alberga el Datalogger CR-1000, las tarjetas de control de los multiplexores, los multiplexores, la interfaz SC32B, la interfaz de fibra óptica, la batería recargable y otros elementos. El armario además cuenta con un paso en la parte inferior del tablero para la entrada de los cables provenientes de los instrumentos.

FIGURA 19. Interior del Armario de adquisición de datos ADK-100.



Fuente: Propia.

4.3.2 Datalogger CR-1000

Cada armario ADK-100 cuenta con un Datalogger CR-1000 de Campbell Scientific, el cual indica que instrumento hay que leer en cada momento, cuando hay que leerlo y que alimentación es necesario suministrarle. Además recopila y almacena todas las lecturas realizadas.

El Datalogger CR1000 es capaz de gestionar hasta un máximo de 6 multiplexores con 32 canales cada uno. El Datalogger está comunicado, a través de un cable tipo flat, con la tarjeta de control de los multiplexores.

FIGURA 20. Datalogger CR-1000 de Campbell Scientific.

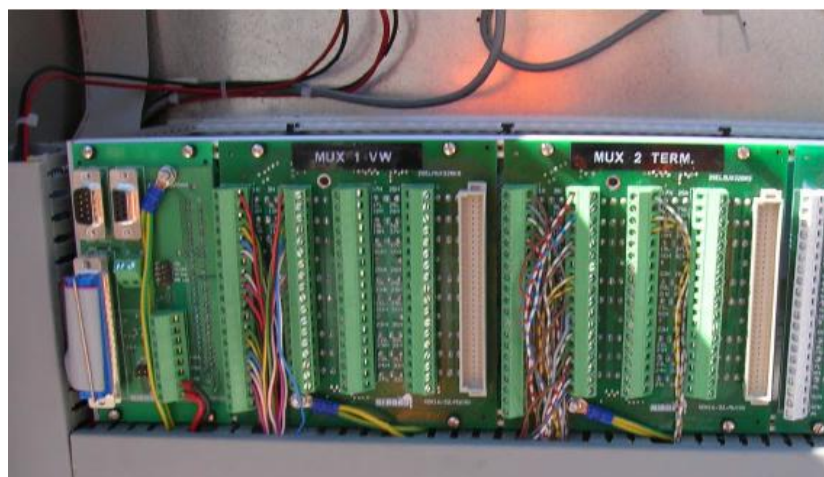


Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

4.3.3 Tarjeta de control de multiplexores

Esta tarjeta por medio de los relés de control de cada uno de los multiplexores controla el funcionamiento de cada uno de ellos, decidiendo en base a la información recibida desde el Datalogger, que multiplexor y que canal dentro de éste ha de funcionar en cada momento y que tipo de señal hay que suministrarle dependiendo del tipo de sensor que esté conectado a dicho canal.

FIGURA 21. Tarjeta de control de multiplexores.

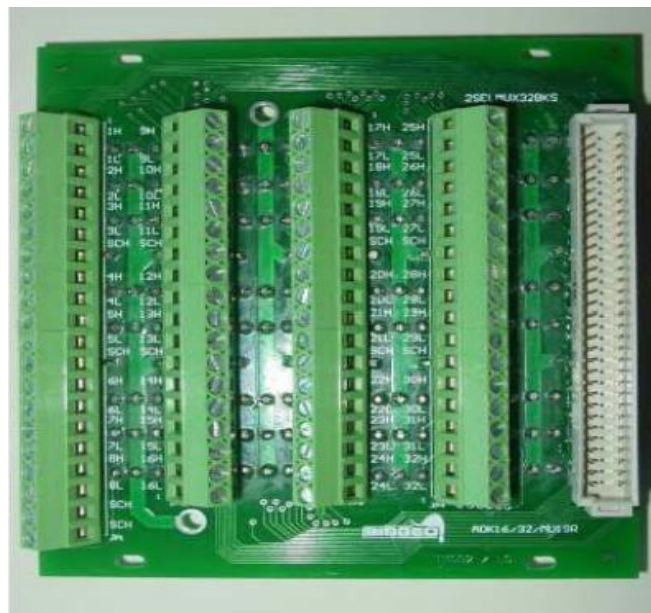


Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

4.3.4 Multiplexores

Los multiplexores son circuitos combinatoriales que se utilizan como dispositivo para recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido, es decir, ponen en contacto el Datalogger con cada uno de los instrumentos y hacen posible su lectura. Para ello lo que hace es dividir el medio de transmisión en múltiples canales, en este caso es de 32 canales, para que varios nodos puedan comunicarse al mismo tiempo; cada uno de los multiplexores está conectado a su respectivo relé, mediante un conector DIN de 64 pines.

FIGURA 22. Multiplexor de 32 canales.



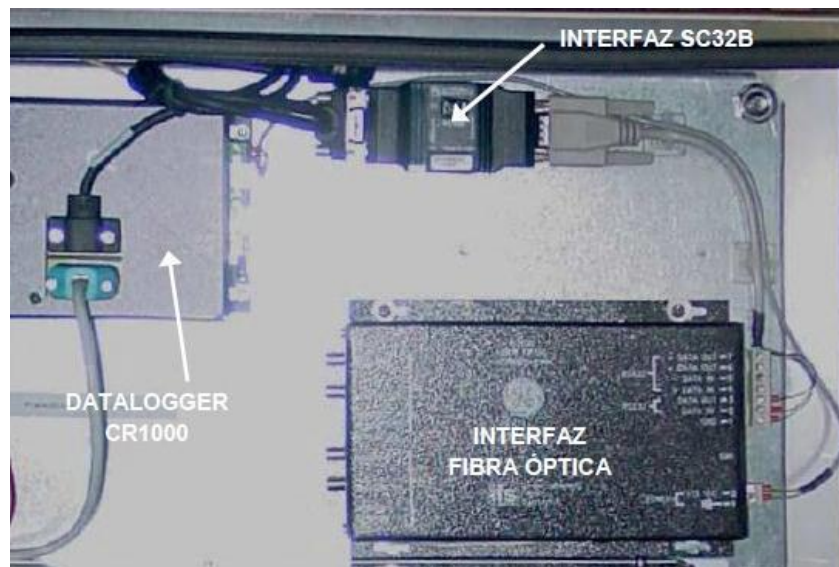
Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

4.3.5 Interfaz SC32B

Esta interfaz permite la conexión a la interfaz de fibra óptica mediante un puerto RS232, la interfaz SC32B se conecta al Datalogger CR-1000 a través del puerto CS I/O de éste. Además, aísla el sistema eléctrico del computador del Datalogger, protegiendo del ruido y las descargas eléctricas.

La descarga de datos y programación del Datalogger puede realizarse con un computador portátil de forma manual a través de un segundo conector militar que posee el ADK-100 en su base y que está directamente comunicado con el puerto RS232 que posee el CR1000, por ello, para realizar estas operaciones no sería necesario acceder al interior del armario.

FIGURA 23. Conexiones de Datalogger CR-1000.



Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

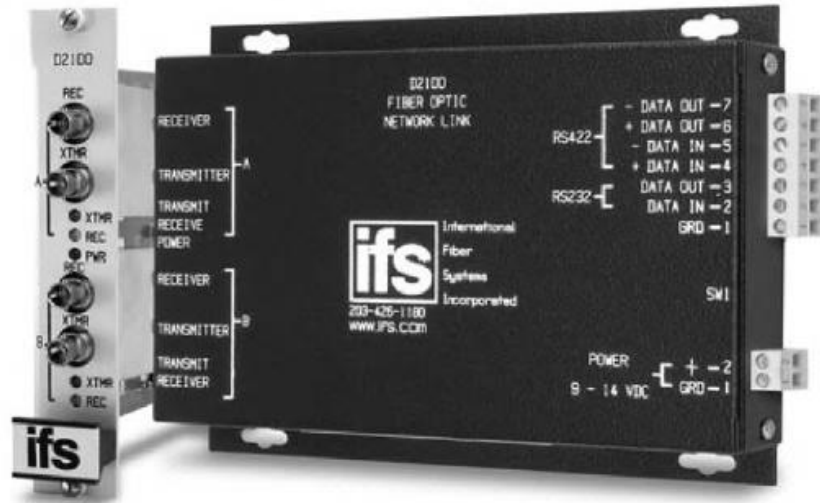
4.3.6 Interfaz de fibra óptica

Esta unidad permite establecer comunicación entre el Datalogger y el servidor de instrumentación a través de cableado de fibra óptica.

La entrada a esta red será mediante un puerto RS485, por ello es necesario instalar una interfaz de fibra óptica conectada al cable de fibra óptica que sale de los ADK-100, y dado que la salida de esta interfaz sólo es posible a través de un puerto RS232, se conectará a éste un convertidor RS232 a RS485. De este modo ya se dispone de un puerto de salida RS485 desde los Datalogger a la red de telecomunicaciones.

La comunicación de los Dataloggers con el servidor se hará a través de la red de telecomunicaciones del proyecto.

FIGURA 24. Interfaz de fibra óptica.



Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

4.3.7 Otros elementos que componen los armarios ADK-100

Los demás componentes que permiten correcto y eficiente funcionamiento de los armarios ADK-100 son:

- **Batería recargable:** Es la batería que alimentará cada uno de los equipos que forman parte del sistema. La batería cuenta con una salida para conectar el cargador, el cual a su vez se conecta a la red eléctrica.
- **Borneras:** Las borneras de instrumentación se instalan cuando los cables provenientes de los instrumentos entren en el armario de protección, estas se conducen a sus correspondientes multiplexores. Las borneras son aptas para conectar dos terminales de cables de 18 AWG y aisladas a 300 V.

- Barra puesta a tierra: La barra de puesta a tierra es de acero y la capa de cobre que posee asegura la protección contra corrosiones, es el elemento final encargado de disipar las cargas estáticas y corrientes de cortocircuito hacia las capas inferiores del suelo.

En más de la mitad de los casos en los que se presenta una corriente de cortocircuito, esta es atribuida a descargas atmosféricas, y en la mayoría de los casos que ocurren daños a personas o a equipos son por una puesta a tierra defectuosa.

- Paneles solares: Para la etapa de operación de la central el sistema de alimentación a los equipos que permiten llevar a cabo la automatización será por medio de paneles solares y un paquete de baterías, cumpliendo con todas las normas y protecciones debidas para su funcionamiento.
- ADKEXKV1: Son el conjunto de componentes de protección para rayos que incluye protecciones bipolares y tripolares de plasma.
- Tomacorriente de 120 Voltios: Por medio de un enchufe macho o clavija permite el paso de la corriente a los equipos, se utiliza en la lámpara de iluminación del tablero, para conectar el cargador de la batería y otros equipos secundarios.

4.3.8 Servidor de instrumentación

El servidor de instrumentación es un computador que recolectará, almacenará y analizará toda la información de las lecturas realizadas en los distintos instrumentos geotécnicos instalados.

Será un equipo de última generación en cuanto a tecnología disponible en el mercado se refiere. Este equipo estará compuesto por CPU, teclado, monitor e

impresora. Incluirá los módulos necesarios para almacenamiento masivo de información, almacenamiento de respaldo y módulos de comunicaciones, para interconectarse con los diferentes, Dataloggers, interrogadores portátiles, acelerógrafos y la red de datos de ISAGEN. El servidor de instrumentación se dispondrá en la sala de control dentro de la casa de máquinas.

4.4 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Para llevar a cabo la segunda y tercer etapa de la automatización de la instrumentación se deben conectar los cables de cada uno de los instrumentos instalados al armario ADK-100 por el paso hermético que este posee y se conectan a sus correspondientes multiplexores en el canal establecido para cada instrumento.

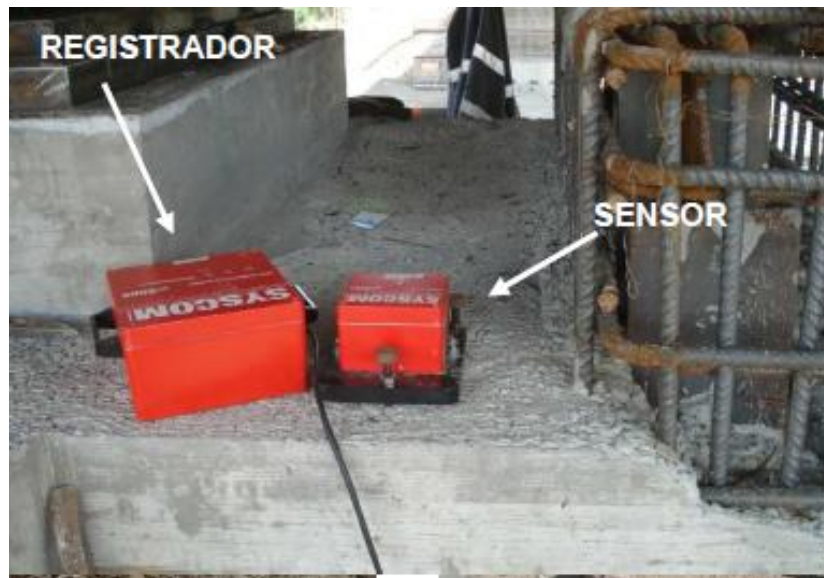
El Datalogger CR-1000 está comunicado a través de un cable tipo flat, con la tarjeta de control de los multiplexores, esta tarjeta por medio de los relés de control controla el funcionamiento de cada multiplexor, decidiendo en base a la información recibida desde el Datalogger que multiplexor ha de funcionar, que tipo de señal hay que suministrarle y gestionará el suministro de alimentación. Cada uno de los multiplexores está conectado a su respectivo relé mediante un conector DIN de 64 pines.

La descarga de datos y programación del Datalogger puede realizarse con un PC de forma manual a través de un segundo conector militar que posee el ADK-100 en su base y que está directamente comunicado con el puerto RS232 que posee el CR-1000. Los Datalogger estarán comunicados entre sí en serie y lo harán mediante fibra óptica, por ello es necesario utilizar una interfaz de fibra óptica en cada uno de los armarios ADK-100. Esta interfaz se comunica con el Datalogger CR1000 a través de un puerto RS232, por ello es necesario agregar una interfaz SC32B que convertirá el puerto de salida CS I/O en un puerto RS232.

La comunicación de los Dataloggers con el servidor se hará a través de la red de telecomunicaciones del proyecto. En el último de los ADK-100 se instala una interfaz de fibra óptica con un convertidor de RS232 a RS485, de este modo se dispone de un puerto de salida RS485 desde los Dataloggers a la red de telecomunicaciones para conducir los datos de instrumentación hasta la sala de control en la casa de máquinas.

En cuanto a los acelerógrafos, cada sensor estará conectado a su respectivo registrador, los cuales estarán comunicados entre sí por medio de la unidad de comunicación NCC, que coordina las actividades de cada uno de los registradores mediante fibra óptica, y permite que el resto sigan funcionando y transmitiendo información en caso de que se produzca un fallo en alguno de ellos.

FIGURA 25. Registrador y sensor de acelerógrafos.



Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

Los acelerógrafos serán los encargados de detectar las vibraciones ocasionadas por sismos, explosiones o algún evento que pueda desestabilizar la presa. Los acelerógrafos se pondrán en contacto, directamente mediante un cable eléctrico

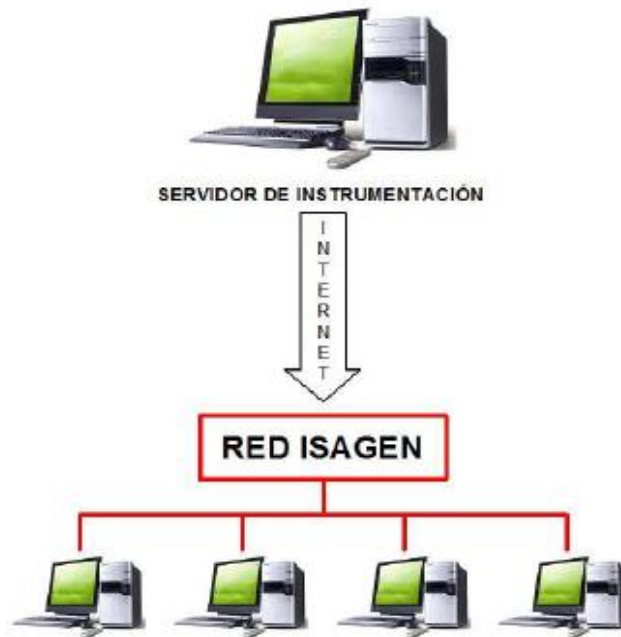
con el primero de los Dataloggers y este se comunica en serie con el resto. Si el evento hace superar los umbrales establecidos, los instrumentos de la presa deben comenzar a realizar lecturas con una frecuencia más elevada de lo programado según lo contemplado en las especificaciones técnicas del proyecto.

Las lecturas en modo de operación normal se realizarán cada hora y al final se promediarán las 24 mediciones hechas para cada instrumento, valor que será el definitivo a almacenar. En caso de que un evento sísmico ocurra, se realizarán 5 ciclos de lectura o medición de los piezómetros de hilo vibrátil, celdas de asentamiento, medidores de desplazamiento de juntas y medidores de deformación unitaria, una vez el evento sísmico haya iniciado. Estos datos se mantendrán completos y no se aplicará ningún promedio u operación para su reducción.

Inmediatamente después de transcurrido el evento sísmico (o cuando el proceso de toma de datos haya finalizado) se continuará haciendo mediciones cada hora durante tres (3) días, los cuales se almacenarán completos y no se les aplicará ningún promedio u operación para su reducción. Pasados los tres (3) días el sistema volverá a su operación normal. En caso de que ocurra otro evento sísmico antes de pasado el lapso de tres (3) días, el sistema iniciará nuevamente el ciclo de medición durante la ocurrencia de sismos, sin que estos lapsos de tiempo sean acumulativos. Durante y después de la ocurrencia de un evento sísmico, deberá mantenerse el registro de las demás variables, con la misma frecuencia establecida inicialmente para la operación normal de la presa.

Desde la sala de control, a través del servidor de instrumentación y la utilización del Software de gestión de datos pueden visualizarse los datos de cada uno de los instrumentos instalados en el proyecto desde cualquier terminal con acceso a la red de ISAGEN.

FIGURA 26. Esquema de distribución de datos.



Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

4.5 SOFTWARE DE GESTION DE DATOS

Para llevar a cabo la gestión de los datos del proyecto hidroeléctrico Sogamoso se utiliza el programa Hystrix, la visualización de los datos obtenidos se realiza con su aplicación Galemys y para la programación de los distintos instrumentos automatizados se aplica el Software Multilogger.

La aplicación de estos componentes permite con los datos recolectados en los distintos instrumentos realizar las siguientes funciones:

- Configuración de instrumentos tanto automáticos como manuales.
- Tratamiento y procesamiento de unidades de ingeniería.
- Creación de bases de datos.
- Generación automática de gráficos que se actualizan automáticamente con la adquisición de nuevos datos.
- Establecimiento de niveles de alarma y avisos (Correo electrónico) de superación de umbrales para cada instrumento, cambiando de color según el nivel de la alarma.
- Envío de avisos (Correo electrónico) por ausencia de lecturas debido a posibles fallos del sistema o si se identifican niveles bajos de las baterías de los Dataloggers.
- Importación automática de los datos de todos los instrumentos automatizados.
- Importación manual de instrumento por instrumento de los datos recopilados mediante lectura manual.
- Importación manual masiva, mediante un archivo Excel, de los datos de un grupo de instrumentos leídos de forma manual.
- Importación de archivos PDF.
- Importación de fotos o imágenes.
- Exportación de archivos en formato Excel.
- Creación y definición de usuarios con password con diferentes niveles de utilización de Hystrix y sus distintas aplicaciones.
- Configuración de la aplicación Galemys.

4.5.1 Programa de gestión de datos Hystrix

Como se decía anteriormente, para llevar a cabo la gestión de los datos del proyecto hidroeléctrico Sogamoso se utilizará el programa Hystrix. El programa está escrito en Microsoft .Net Framework 4.0 (c# -c Sharp) y la base de datos que utiliza es de tipo Microsoft Sql Server 2008. La configuración inicial del Software será realizada por la empresa Monitoriza, cualquier modificación llevada a cabo en

el programa a lo largo del proyecto será enviada para actualización del Software mediante conexión en remoto autorizada al servidor.

Para funcionar de forma independiente requiere de lo siguiente:

- Un servidor de última generación, mínimo con 24 GB Ram y al menos 5 discos de 15.000 rpm en Raid 5+1.
- Windows Server 2008 R2 (Licencia para procesador de uso ilimitado).
- Sql Server 2008 Standard, recomendable Enterprise.
- Acceso a la Terminal de Servicios (escritorio remoto) para instalación, actualización y administración.

Para la programación de los distintos instrumentos automatizados en los Dataloggers se utilizará el Software Multilogger, instalado igualmente en el servidor de instrumentación. Las distintas lecturas obtenidas en cada instrumento son almacenadas en archivos con una determinada extensión (xsl, dat). Dichos archivos son reconocidos por Hystrix que en el mismo momento que son depositados en el servidor los incorpora a su base de datos analizándolos y procesándolos de forma totalmente automática. Los instrumentos en los que las lecturas se realizan de forma manual, solo es necesario ubicar manualmente los datos en una carpeta compartida determinada del servidor, donde Hystrix los incorporará de forma automática a su base de datos.

Todos los instrumentos son configurados desde Hystrix, permitiendo introducir las distintas codificaciones de cada instrumento, información del mismo, fórmulas para transformar unidades eléctricas en unidades de ingeniería o de que archivo tiene que coger los datos por Hystrix cada instrumento para incorporarlos a su base de datos. El programa permite llevar a cabo la definición de las distintas gráficas y curvas para cada instrumento, estableciendo fechas de visualización de datos, colores de las curvas, inserción de objetos o imágenes, títulos, subtítulos, leyendas, nombres de ejes, etc.

4.5.2 Software Multilogger

Multilogger de la marca CANARY SYSTEMS,INC. es una aplicación de Windows diseñada para administrar los sistemas de adquisición de datos automáticos, lo que incluye la programación y la recopilación de datos de manera automática. La utilización de este Software se debe principalmente a que es compatible con los sistemas de adquisición de datos de Campbell Scientific, como el Datalogger CR-1000 utilizado en el proyecto. El Software permite visualizar la base de datos del proyecto en Internet al usar tecnología SQL segura basada en los servicios de Microsoft Internet Information Services (IIS)

Este Software será instalado en los portátiles y en el servidor de instrumentación, los cuales manejarán los datos y la visualización de gráficas durante las diferentes etapas de la automatización.

4.5.3 Aplicación Galemys

La aplicación Galemys es configurada desde Hystrix, permitiendo llevar a cabo la visualización de los datos de los distintos instrumentos en el modo deseado, ya sea en sitio o en cualquier otro punto autorizado por ISAGEN.

A su vez, la aplicación Galemys es capaz de realizar las siguientes operaciones:

- Visualización de los datos de cada instrumento en formato gráfico, a partir de un plano interactivo.
- Visualización directa de los datos de cada instrumento en formato gráfico.
- Visualización de información general y técnica de cada uno de los instrumentos a partir de un plano interactivo.
- Visualización directa de información general y técnica de cada uno de los instrumentos.
- Visualización directa de información general de la presa.
- Visualización y exportación de una base de datos de las mediciones de un grupo de instrumentos.

4.5.3.1 Visualización pantalla principal

Al abrir la aplicación Galemys el programa solicita un nombre de usuario y contraseña, luego aparece una pantalla de inicio con la imagen del proyecto y un cuadro en la margen izquierda que contiene la información general del mismo; el cuadro tiene los siguientes tópicos:

- Modelo render en 3D.
- Nivel del embalse.
- Altura del relleno de la presa.
- Temperatura ambiente.
- Humedad.
- Precipitación.
- Fecha y hora actual.

En la parte superior del programa se encuentra la pestaña “Principal”, donde se ubican los siguientes iconos:

- CAD Mapas: Localización general de los instrumentos sobre los planos.
- Imagen Mapas: Muestra el Render 3D del proyecto.
- Gráficos: Permite visualizar el grafico de cada instrumento.
- Dispositivos: Se selecciona una fecha para mostrar la base de datos de los instrumentos.
- Documentos: Muestra los documentos referentes a la instrumentación del proyecto, tales como, certificados de calibración de celdas de asentamiento y certificados de los instrumentos por parte del fabricante.
- Refrescar: Recarga los datos y las actualizaciones del programa.
- Reporte: General: Reporte general de la instrumentación.
- Importar Procedimiento: Permite importar base de datos de las carpetas ubicadas en los computadores.
- Gerente de Gráficos: Permite combinar varias graficas entre los instrumentos seleccionados.

FIGURA 27. Visualización pantalla inicial de la aplicación Galemys.



Fuente: Asesoría del Proyecto Sogamoso INGETEC.

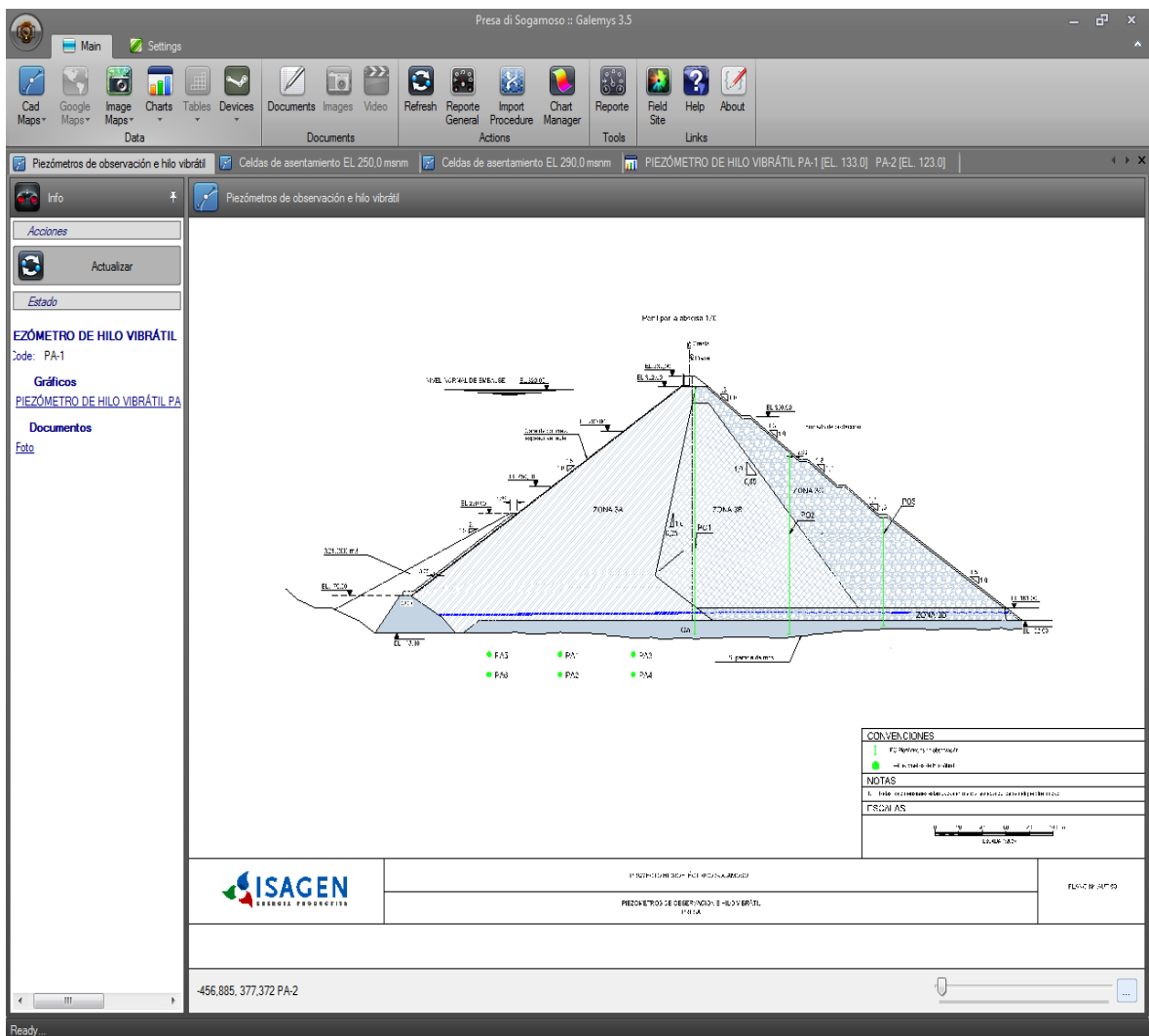
4.5.3.2 Visualización de los instrumentos instalados

La aplicación Galemys permite visualizar la localización de los instrumentos instalados en la presa desde una vista en planta, por niveles y cortes, cada instrumento aparece con su correspondiente identificación. Para ello se selecciona "CAD Mapas" y se escoge que tipo de instrumentos se quieren localizar.

El instrumento aparece de color verde cuando las mediciones están entre los valores normales o seguros; si por el contrario las mediciones superan los umbrales establecidos el instrumento se torna a un color rojo, con el fin de que el operador encargado perciba de forma rápida el instrumento.

La figura 28 es la visualización en el Software de un corte de la presa y la localización de los piezómetros de hilo vibrátil.

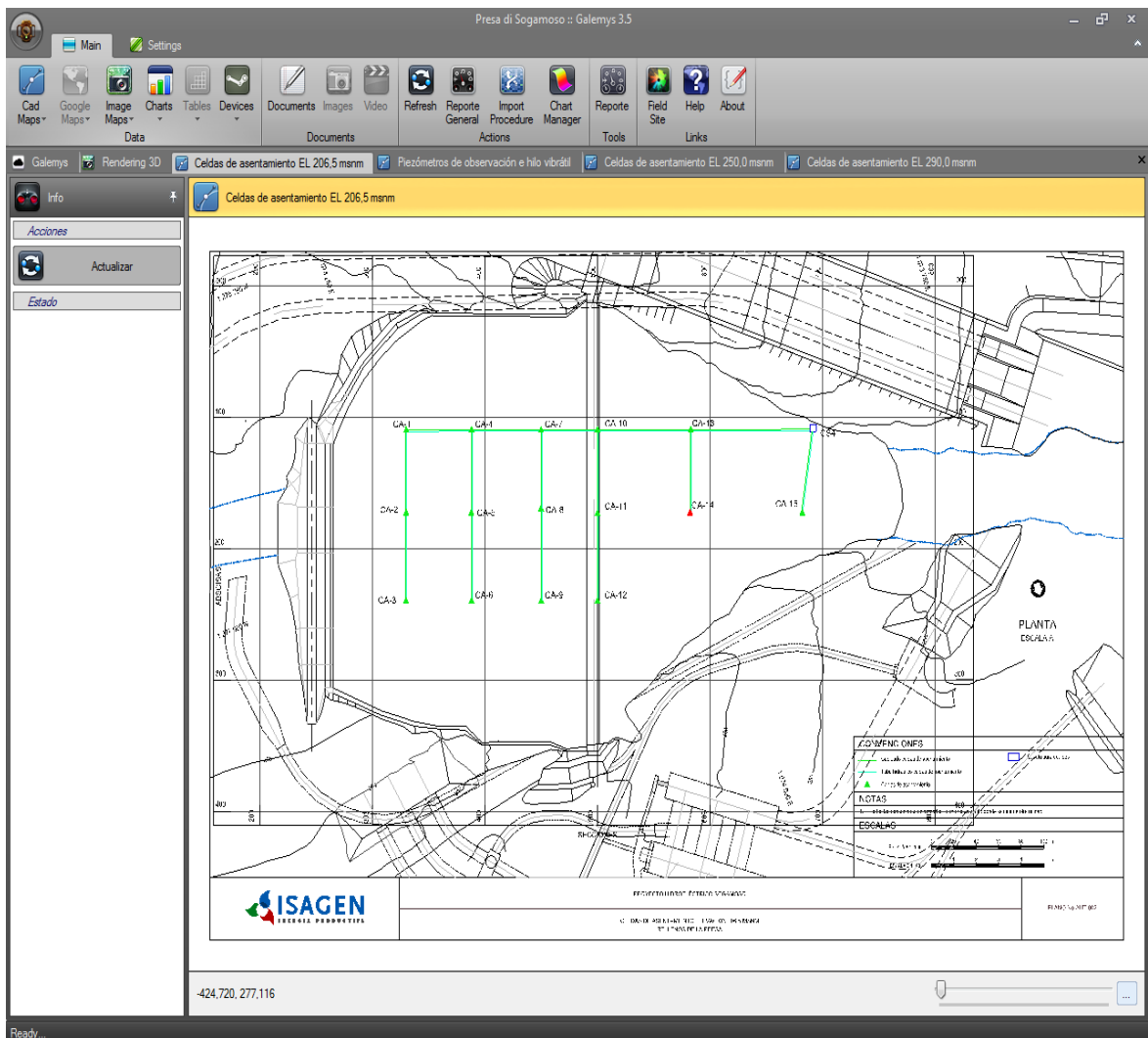
FIGURA 28. Visualización en perfil de piezómetros de hilo vibrátil en la presa.



Fuente: Asesoría del Proyecto Sogamoso INGETEC.

La figura 29 es la visualización en el Software de una vista en planta de la elevación 206,5 en la presa y la localización de las celdas de asentamiento en este nivel.

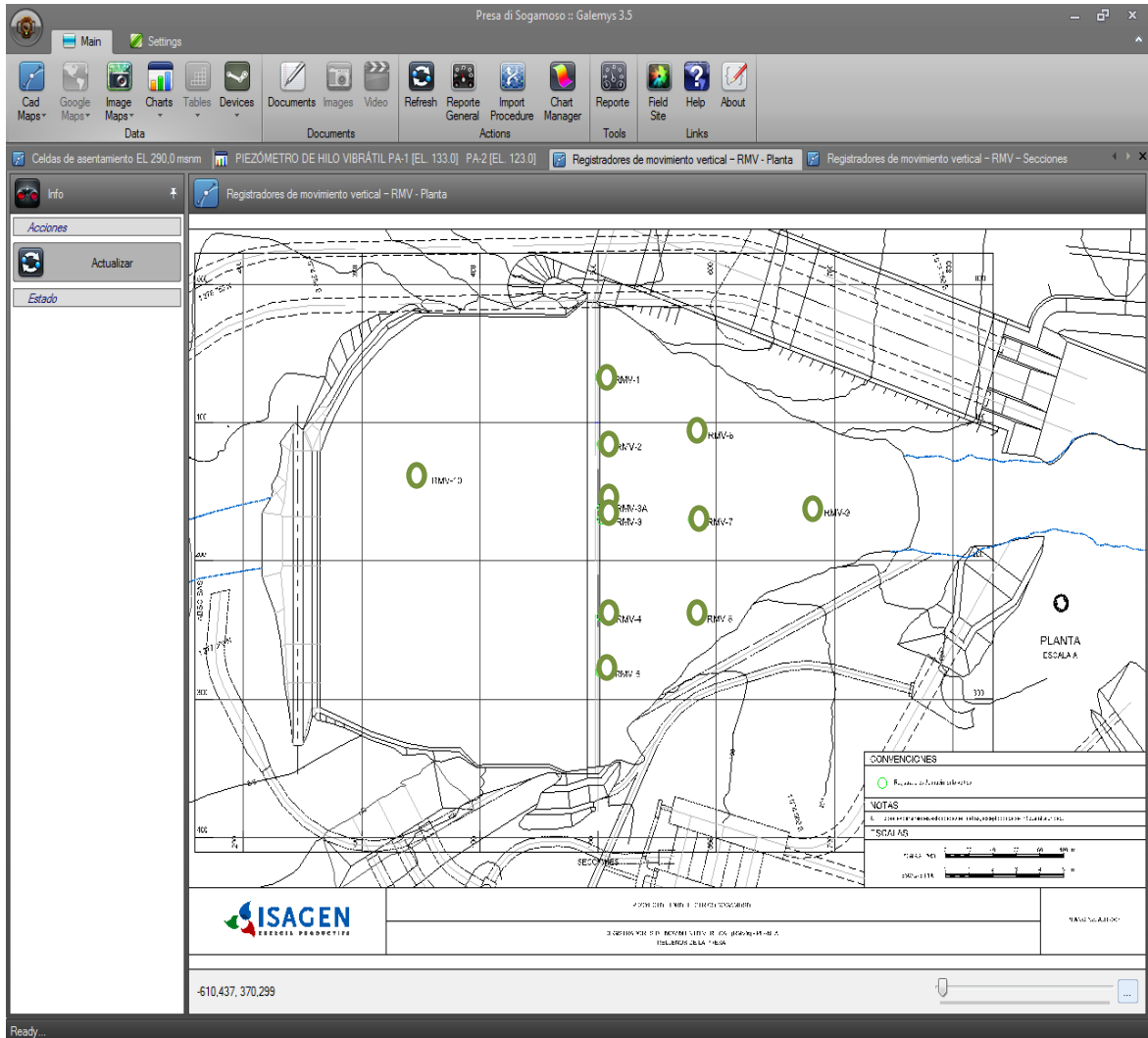
FIGURA 29. Visualización en planta de celdas de asentamiento elevación 206,5.



Fuente: Asesoría del Proyecto Sogamoso INGETEC.

La figura 30 es la visualización en el Software de una vista en planta de la presa y la localización de los registradores de movimiento vertical (RMV).

FIGURA 30. Visualización en planta de los registradores de movimiento vertical RMV's.



Fuente: Asesoría del Proyecto Sogamoso INGETEC.

4.5.3.3 Visualización de gráficos

Los gráficos están conectados directamente con su correspondiente instrumento incluido en los planos y son desplegados mediante la pulsación del icono del instrumento o se puede buscar el instrumento por el icono “Charts” o combinando gráficos en el “Gerente de gráficos”.

Los gráficos son totalmente interactivos, de modo que se puede visualizar directamente el valor del instrumento en la fecha que se desee y que forme parte de la frecuencia de lecturas establecida. De igual manera, se pueden visualizar los valores que formen parte de rangos preestablecidos, por ejemplo, los últimos 100 valores, los valores de los últimos 7 días, los valores del mes actual, los valores del año actual, etc. Dentro de cada uno de los rangos anteriores es posible la ejecución de un zoom interactivo de un intervalo de datos determinados, puede ser 12 horas, 24 horas, 2 días o bien seleccionando de forma manual un rango deseado.

La figura 31 es la visualización en el Software de las gráficas del nivel piezométrico para los piezómetros de hilo vibrátil PA-1 (color azul) y PA-2 (color verde), la línea de color rojo es el umbral para estos instrumentos de 170 msnm, pasado este valor el instrumento se muestra en rojo en los planos y manda una alarma (Correo electrónico) al operador.

FIGURA 31. Visualización de gráficas para piezómetros de hilo vibrátil.



Fuente: Asesoría del Proyecto Sogamoso INGETEC.

5. CONCLUSIONES

Realizar la práctica empresarial en un proyecto de tal magnitud como lo es el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso permite fortalecer los conocimientos del estudiante en la ejecución de las obras civiles en general. Desarrollar una práctica tan cerca de la obra facilita el acceso a la información sobre las especificaciones técnicas, procedimiento constructivos, detalles constructivos y genera espacios de aprendizaje en la formación del profesional. Se logró comprender la importancia y equilibrio entre los diferentes entes involucrados en el proyecto; la participación de ISAGEN, la supervisión de obra de la Interventoría, el conocimiento de la Asesoría y la experiencia del Contratista son fundamentales para darle continuidad y culminación a las actividades de obra.

Se redactó el manual sobre la automatización de la instrumentación geotécnica del proyecto apoyado en la información suministrada por los fabricantes, el personal del Contratista encargado de llevar a cabo la automatización, así como los conocimientos y experiencias compartidos por ISAGEN, la Interventoría y el equipo de trabajo de la Asesoría que se encarga de la recolección de datos de los instrumentos instalados.

La realización del manual permite dimensionar la importancia de la implantación de un sistema automático de monitoreo, el cual ofrece un mayor y mejor control del mismo durante la ejecución de los trabajos, así como posteriormente durante la vida útil de la central hidroeléctrica. La representación de cada instrumento a instalar, los componentes, el procedimiento de instalación, la descripción de cada uno de los componentes que formarán parte de la arquitectura del sistema, el Software de gestión de datos y la visualización de la aplicación Galemys, es de gran utilidad para los futuros encargados de la central hidroeléctrica.

La participación en el proceso de implementación de los diferentes tipos de instrumentación permite comprender su importancia como factor primordial en la detección temprana de movimientos, que al ser incorporados a modelos geotécnicos y estructurales de las obras, y a sistemas de análisis de tendencias posibilitan en el caso de existir algún desplazamiento significativo y no previsto, tomar los correctivos necesarios que permitan su control evitando daños estructurales que puedan repercutir en la pérdida de vidas humanas, perjuicio a los programas de ejecución de proyectos y producir un impacto económico negativo.

La implementación de la automatización de la instrumentación geotécnica del proyecto debe ir acompañada de diferentes reuniones que permitan no solamente generar y transmitir información de manera aclaratoria a los asistentes, sino también enlazar los diferentes puntos de vista de los participantes en una solución que además de ser técnicamente viable sea favorable en términos de programación de obra e impacto económico.

BIBLIOGRAFÍA

BAQUERO, Carolina. Manual de consulta de la instrumentación geotécnica instalada actualmente en el proyecto hidroeléctrico Sogamoso. Bucaramanga, 2012, 141 p. Trabajo de grado (Ingeniera Civil), modalidad: Practica empresarial. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil.

ISAGEN S.A. E.S.P. EJECUCIÓN PROYECTOS DE GENERACIÓN; PROYECTO SOGAMOSO [Citado el 17 de Noviembre de 2012]. Disponible en:

<http://www.isagen.com.co/nuestra-empresa/gestion-de-proyectos/ejecucion-proyectos-de-generacion/proyecto-sogamoso/>

ISAGEN S.A E.S.P Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Especificaciones técnicas, pliego de condiciones – Parte II, licitación pública No. 5/415 Contrato II, Capitulo 17. Instrumentación Geotécnica.

ISAGEN S.A. E.S.P. Descripción general del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Pliego de Condiciones – Parte I. Licitación Pública No. 5/415. Anexo No.4, 2009.

LA EXPERIENCIA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA. PERFIL DE LA COMPAÑÍA Y CATÁLOGO DE PRODUCTOS. SISGEO. CATALOGO_SPA-REV.00 04/05.

MEMORIA TÉCNICA GENERAL DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA. CÓDIGO MG-DOB-ICTSAS-04 REVISION 00, Propiedad Grupo ICT SAS, 2011, 251p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, Sexta actualización. Bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008.

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN – INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA – ARQUITECTURA. CÓDIGO MG-GTE-GICTII-02 REVISION 002, Propiedad Grupo ICT SAS, 2011, 127 p.

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN – INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA – SOFTWARE DE GESTIÓN DE DATOS. CÓDIGO MG-GTE-GICTII-01 REVISION 01, Propiedad Grupo ICT SAS, 2011, 38 p.

ANEXOS

ANEXO A. Mojón de control y de referencia

Mojones de control

Son instrumentos de control que permiten realizar mediciones del desplazamiento tanto horizontal como vertical del terreno donde son instalados; pueden ser prefabricados o fundidos en sitio. Su posición debe ser referenciada respecto a otro mojón que se ha ubicado en un lugar estable y se denomina mojón de referencia.

Componentes

- Dado de concreto.
- Platina de bronce.
- Cilindro metálico.

Mojón de control ubicado en los llenos de la presa.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Instalación de un mojón de control

El proceso de instalación consiste en trazar en el terreno el punto proyectado para hacer el control, luego se realiza pequeña excavación que permita ubicarlo sobre el suelo.

Se funde un dado de concreto en el cual está embebido un pin de bronce, este pin será el apoyo del jalón con el prisma.

En el caso específico de los mojones sobre la cara de concreto el dado de hormigón debe instalarse de manera solidaria con la cara de la misma, para garantizar lo anterior deben anclarse varillas de hierro corrugado sobre la cara de la presa en el punto donde se está realizando la instalación del mojón.

El prisma debe contar con un recubrimiento para protección contra agentes externos (intemperie) en el cual se dejará una ventana que permita su observación desde los puntos de control que se hayan determinado.

Se replantea la posición del mojón de control, luego se coloca la formaleta, seguidamente se funde el concreto y antes que el concreto fragüe se ubica dentro de la formaleta en toda la mitad del mojón un cilindro metálico a través de toda la altura del mojón que en la punta inferior tiene un sistema de anclaje con la superficie en la que se apoya y en la punta superior tiene un tornillo que sirve como base de anclaje para el prisma.

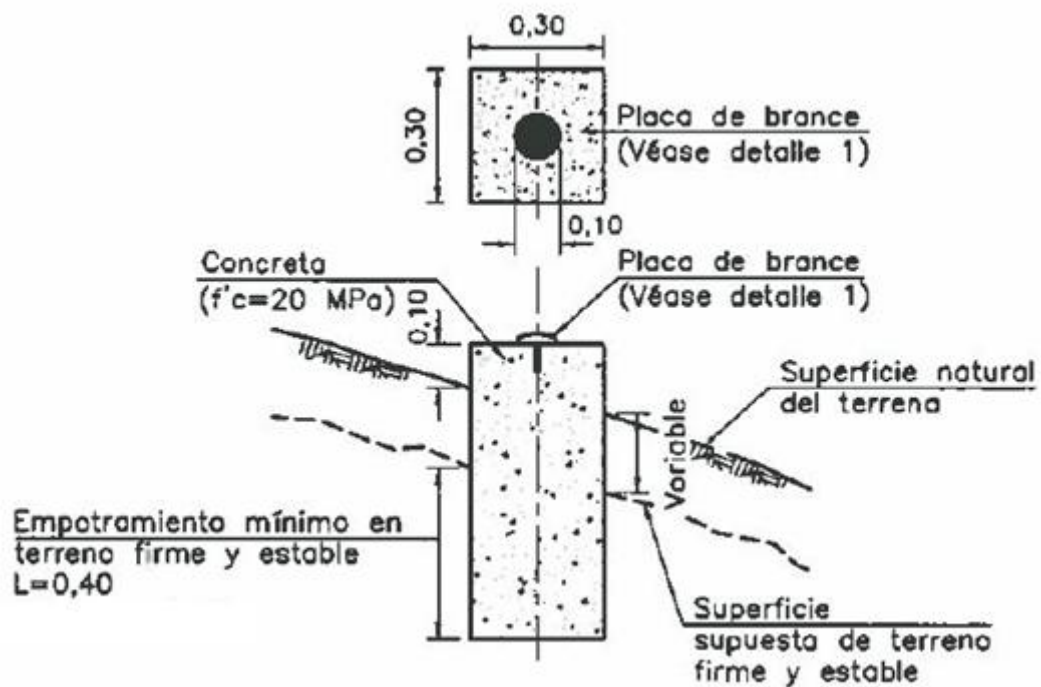
Mojón de referencia.

Componentes

- Dado de concreto.
- Cilindro metálico.
- Tornillo o base de anclaje del prisma reflectante.
- Prisma reflectante.

Instalación de un mojón de referencia

Esquema instalación mojón.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Este tipo de mojones, anclados a la roca donde teóricamente no hay movimientos se usan como referencia admitida.

Para su instalación debe buscarse un lugar apartado, sobre roca firme y se replantea en el terreno.

Se realiza una perforación para anclar el mojón a la roca por medio de un cilindro de aproximadamente un metro de altura y 30 cm de diámetro, se funde el dado en concreto y mientras el concreto aún se encuentre fresco, se introduce el cilindro antes mencionado, que en la parte superior tiene un tornillo o base metálica para fijar el prisma reflectante.

ANEXO B. Sistemas Dex-Brs (registrador de movimiento vertical)

Son usados para medir los asentamientos en los llenos de la presa y tener información sobre el comportamiento del terreno natural bajo la presa.

Componentes

- Anillos magnéticos.
- Placas de acero.
- Tubería ABS.
- Juntas telescópicas.
- Sonda detectora de campos magnéticos.

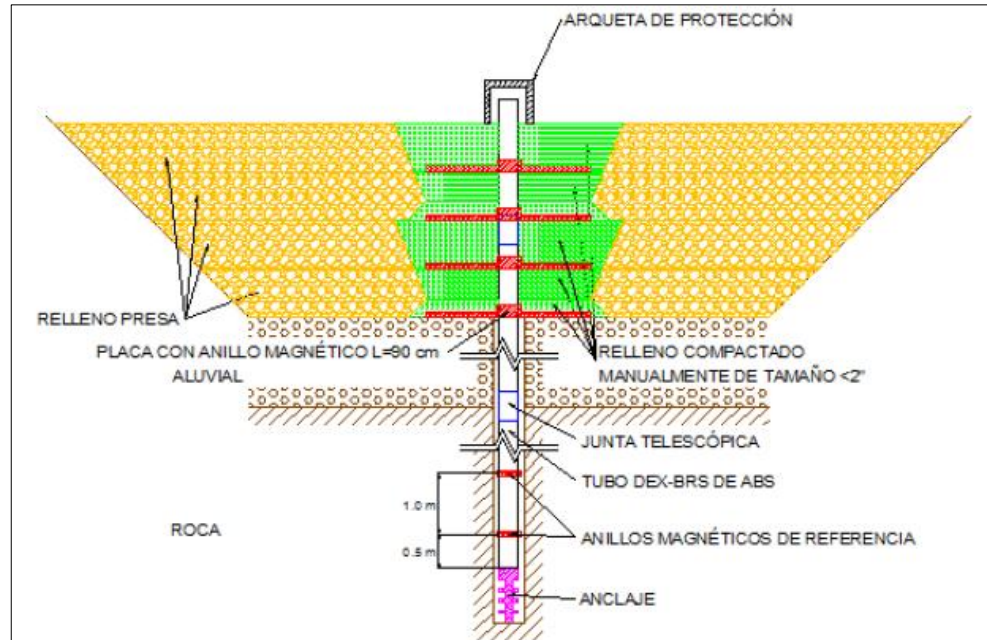
Sistema Dex-Brs.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Procedimiento de instalación

Esquema instalación sistema Dex-Brs.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Conocer la profundidad donde teóricamente no se producen asentamientos para tomar esto como referencia fija en las mediciones, replantear las coordenadas del sondeo, perforar 2 m debajo del punto determinado como estable.

En un extremo de una sección de tubería ABS de 38mm (1 ½") se acopla el anclaje de fondo al sistema y en el otro extremo de la tubería se inserta un anillo magnético hasta que quede a 0.5m del extremo superior del anclaje, luego se inserta otro anillo magnético quedando a 1.5 m del extremo superior del anclaje. En el extremo opuesto del tubo ABS se instala una junta telescópica para anexarle el siguiente tramo de tubería, se inserta la tubería en el orificio y sucesivamente se va anexando tubería hasta que se llegue a los inicios de los llenos de la presa, se procede a inyectar lechada con cemento en el espacio entre la tubería y el agujero de perforación para que el sistema quede funcionando solidariamente con el

terreno, en el nivel donde se inician los llenos de la presa se deja libre 1.5 m del extremo superior del tubo en el que se fija la parte inferior de la junta telescópica, luego se coloca una placa metálica que tiene inserto un anillo magnético de 8,3 cm de diámetro. Esta placa tiene unas dimensiones de 90x30x3.3 cm y en la mitad un orificio donde se introduce el anillo antes mencionado. Después de haber insertado la placa se fija el extremo superior de la junta.

Instalación sistema Dex-Brs.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Las placas metálicas se instalan cada 3 metros en forma perpendicular la una a la otra, la primera es instalada con una dirección de 45° al eje del río, la que le sigue a 90° de la anterior y así sucesivamente.

Instalación de la placa magnética

Para la instalación de la placa magnética se debe colocar arena fina y compactar con máquina liviana un metro alrededor del tubo. Luego colocar arena muy fina y nivelar la superficie, verificando por medio de una regla de nivel. Se inserta la placa con anillo magnético en la tubería y se verifica por topografía el nivel de ésta, se fija el anillo magnético a la tubería con tornillos, luego se coloca arena muy fina en la parte superior de la placa, se rodea la tubería con arena fina hasta una altura considerable con relación a el nivel en que están los llenos de la presa y al próximo banqueo a realizar. Luego se coloca un cascarón metálico para que

proteja la tubería de los trabajos de llenos de la presa. Se repite el proceso hasta que se finalicen los llenos en la presa, cuando esto ocurre se protege el instrumento con una arqueta en la parte superior del tubo.

Protección al sistema Dex-Brs.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Instalación de las juntas telescópicas

Las juntas telescópicas se instalan en los extremos de la tubería, esta tubería vienen en secciones de 3 m, en el momento del ensamble de la junta se aplica silicona líquida en toda la superficie de contacto. No debe olvidarse realizar el ajuste de los tornillos en las zonas acanaladas de las juntas. La unión debe protegerse con geotextil que es adherido con cinta adhesiva transparente.

ANEXO C. Inclinómetro

Son instrumentos que permiten realizar la medición de los movimientos que se presentan en el terreno a diferentes profundidades así como realizar monitoreo de la estabilidad del mismo.

En el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso estos instrumentos de medición son fácilmente identificables ya que sus cajas protectoras de concreto se encuentran pintadas de color amarillo.

Componentes

Revestimiento guía, que consiste en un tubo ranurado e instalado permanentemente para controlar la orientación de la sonda.

Sonda Inclinométrica: La sonda S242SV30 está equipada con un servo-acelerómetro biaxial de rango $\pm 30^\circ$ que garantiza resultados de elevada precisión y repetitividad de las medidas.

Cable inclinométrico: Empleado para bajar la sonda inclinométrica en el interior de las tuberías inclinométricas. Resistente a la abrasión y a los agentes químicos. La vaina externa de poliuretano contiene en su interior una trenza metálica que reduce la tensión del cable y el deslizamiento entre el conductor y la vaina. El núcleo está formado por un cable de acero inoxidable que evita el alargamiento del cable inclinométrico. El relleno plástico interior elimina el deslizamiento entre cada conductor y la vaina externa de poliuretano. Sobre la vaina externa se encuentran marcas táctiles cada 50 cm. El cable incluye el conector para la sonda inclinométrica.

Torpedo ingresando en la tubería inclinométrica.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Torpedo inclinométrico.

Torpedo inclinométrico con cable de conexión.



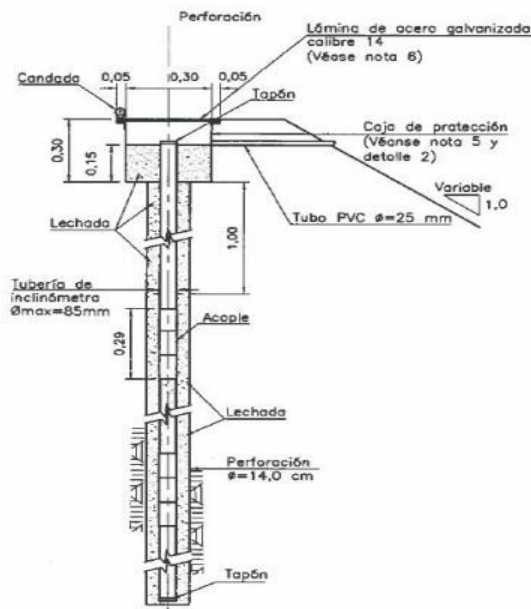
Fuente: Catálogo Sisgeo SPA Rev. 0

Especificaciones Técnicas

Rango de medida	: $\pm 53^\circ$ desde la vertical.
Repetitibilidad	: $\pm 0.003^\circ$.
Temperatura de utilización	: $-20^\circ\text{C} +50^\circ\text{C}$.
Precisión (con central ARCHIMEDE)	: ± 0.02 mm por 500mm.
Distancia entre ejes ruedas	: 500 mm.
Longitud	: 750 mm (sin conectores).
Diámetro de ruedas	: 32 mm.
Longitud de cable	: 30, 50, 60, 100, 150, 200 m.
Graduación	: Cada 50 cm.
Dimensiones	: 25.4x653mm. Sin cable de control.
Peso	: 1.8Kg.
Material	: Acero inoxidable.

Procedimiento de instalación

Esquema de instalación del inclinómetro.



Fuente: Plano E3-LT4.2-GEO-036. Rev. 1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

Para la instalación de este instrumento debe seguirse el procedimiento que se detalla a continuación:

Ubicación y/o replanteo de la localización del sondeo. Deben realizarse procedimientos de sondeo que permitan tener un conocimiento del terreno donde va a ser ubicado el inclinómetro, lo anterior para poder determinar una profundidad de instalación en la que teóricamente el terreno es estático y puede ser usado como una referencia fija.

Se realiza la excavación de sondeo hasta la profundidad establecida, dicha perforación tendrá un diámetro mínimo de 10,16 centímetros (4") y una desviación no mayor del 5% de la longitud de la perforación.

Debe instalarse una tubería de revestimiento de 85 milímetros que permita alojar dentro de sí la tubería inclinométrica y la tubería de inyección de la lechada.

Realización del sondeo.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

El tubo inclinométrico a instalar debe sellarse con el tapón de fondo teniendo especial cuidado en que se logre un sello que impida la entrada de la lechada u

otro material presente en el foso hacia el interior del tubo inclinométrico. En el extremo libre del tubo se ubica una unión que se fija mecánicamente con tornillos o remaches, la misma debe sellarse con silicona para evitar la entrada de material dentro del tubo (lechada u otro material), esta unión se recubre con cinta para una mayor protección. El tubo inclinométrico así preparado es introducido en la perforación de sondeo junto a la tubería de inyección de lechada.

Este proceso debe repetirse hasta que se pueda verificar que la base del tubo inclinométrico se encuentra totalmente apoyado en el fondo de la perforación.

Se rellena el espacio existente entre la el foso de sondeo y la tubería inclinométrica con lechada de cemento, que se inyecta utilizando la tubería de inyección que se insertó junto con la tubería inclinométrica.

Mientras se realiza la inyección de la lechada se procede a retirar la tubería de revestimiento.

Tubería introducida en el sondeo.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Nota: En este proceso debe tenerse especial cuidado de no retirar accidentalmente la tubería inclinométrica junto con el revestimiento que se está extrayendo.

El foso de sondeo se rellena completamente con la lechada de cemento, se debe garantizar la perfecta unión de la tubería de tal manera que al iniciar el llenado, la mezcla no fluya hacia el interior del tubo.

Una vez concluido el llenado se recorta la porción restante del tubo inclinométrico permitiendo que sobresalga del foso del sondeo aproximadamente unos 20 centímetros de tubería, los cuales se protegen mediante el uso de una caja de concreto que debe contar con una tapa para su chequeo y limpieza.

Caja de protección en concreto.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

ANEXO D. Piezómetro de tubo abierto

Son instrumentos que se utilizan para medir el nivel de agua o nivel freático en el terreno donde se encuentran ubicados.

Componentes

- Tramos de tubo PVC de 38mm (1 ½”) de diámetro que serán empalmados mediante accesorios de unión y las mismas se fijaran con pegamento especial para tubería PVC. La cantidad de tramos a usar estará determinada por la longitud de la perforación realizada para la instalación.
- Punta de plástico poroso tipo Casagrande.
- Sonda Indicadora de nivel de agua C112.1. Está compuesta por una cinta milimetrada en cuyo extremo se encuentra la sonda de medición de nivel. En tambor de enrollamiento se encuentra alojada la batería que alimenta los indicadores.

Piezómetro de tubo abierto.



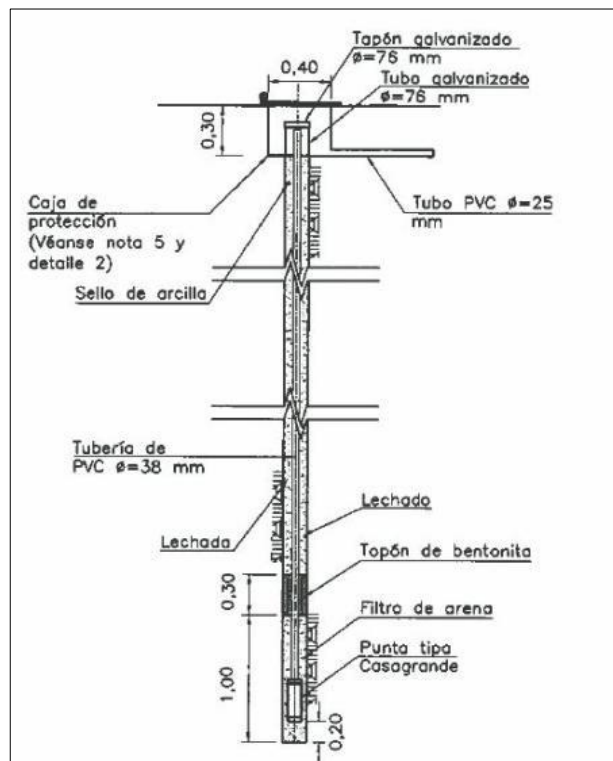
Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Procedimiento de instalación

Pasos previos a la instalación

El elemento de filtro deberá saturarse de agua antes de realizar la instalación, para asegurar la completa saturación del mismo debe sumergirse en agua durante un tiempo no inferior a 24 horas.

Esquema de instalación piezómetro de tubo abierto.



Fuente: Plano E3-LT4.2-GEO-036. Rev. 1, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

Debe replantearse en superficie la localización del sondeo. Se establece la profundidad del sondeo basándose en la localización del nivel freático; para lo anterior el instalador debe valerse de los resultados de sondeos anteriores; si estos no existen el instalador se basará en la detección de la capa acuífera mientras se realiza la perforación del sondeo. El diámetro del sondeo debe ser de

76mm (3”), la profundidad de sondeo debe ser 50 cm mayor que el punto de instalación que se haya determinado para el filtro.

El filtro piezométrico debe ser recubierto con material geotextil para evitar su posible obstrucción debido a la presencia de material fino sobre la superficie del mismo.

Recubrimiento del filtro con Geotextil.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Antes de introducir la tubería debe hacerse en el sondeo una cama con arena de 3,2mm (1/8”) de tamaño máximo, cuya altura puede estar entre los 50 y 100 cm.

Se comienza a introducir la tubería en el sondeo que tiene acoplado en el extremo inferior una punta de plástico poroso, este proceso se realizará por tramos de tubería, por seguridad se sujeta el primer tramo; que contiene el elemento filtrante con una cuerda. En el extremo libre se coloca el accesorio de unión (para realizar las uniones de los accesorios debe seguirse el proceso recomendado de limpieza de los mismos con limpiador para tubería PVC y posterior aplicación del pegante para las mismas). Cada una de las uniones es protegida con cinta adhesiva transparente. Se coloca el tramo siguiente de tubería y se desliza el amarre de la

cuerda hasta el extremo del mismo. Se continúan agregando tramos de tubería siguiendo el procedimiento anterior hasta alcanzar la superficie del sondeo.

Introducción y acoplamiento de tubos de PVC.



Fuente: Propia.

Se deja una longitud de aproximadamente 40 cm sobresaliendo de la superficie del sondeo para la posterior colocación de la placa.

Cuando la tubería se encuentre posicionada, se procede al llenado del sondeo con arena gruesa hasta la altura donde debe ubicarse el sello impermeable; la altura de colocación del sello se determina mediante la observación de los núcleos extraídos del sondeo.

Realización del sello y finalización del llenado.

Para realizar el sello se utiliza bentonita en piedra ya que sus propiedades físicas la constituyen en un material ideal para esta aplicación; ya que tiene la particularidad de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen seco.

Esta debe depositarse lentamente en el interior del sondeo, se procede a humedecerla y se espera unos minutos para que se hidrate; se continúa el llenado con arena hasta llegar al extremo del sondeo.

Sello impermeable con bentonita sódica en piedra.



Fuente: Propia.

Finalmente se coloca el tapón de la tubería y se procede a realizar el fundido de la placa de protección.

Caja de protección en concreto.



Fuente: Propia.

ANEXO E. Piezómetro de hilo vibrátil

Estos instrumentos permiten realizar mediciones de la presión del agua al interior del terreno donde son instalados.

Componentes

- Una cuerda de acero que está sujeta en un extremo a una pared inmóvil y en el otro a una membrana a través de la cual se percibe el cambio en la presión externa.
- Un filtro de cobre o cerámica que está instalado en el extremo o punta del sensor, por donde el agua entra a la membrana. Una o dos bobinas (dependiendo de la versión) que tienen como función excitar el hilo mediante una frecuencia determinada, mientras la otra capta la frecuencia de vibración del hilo convirtiéndola en corriente.

Nota: Los piezómetros deben tener capacidad para medir hasta 1,8 MPa (18 kgf/cm²) de presión positiva, sensibilidad en la punta de 0,001 MPa (0,01 kgf/cm²) y exactitud de 0,1% sobre la amplitud total. Los piezómetros deberán tener un diámetro máximo de 25mm.

Piezómetro de hilo vibrátil.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Procedimiento de instalación

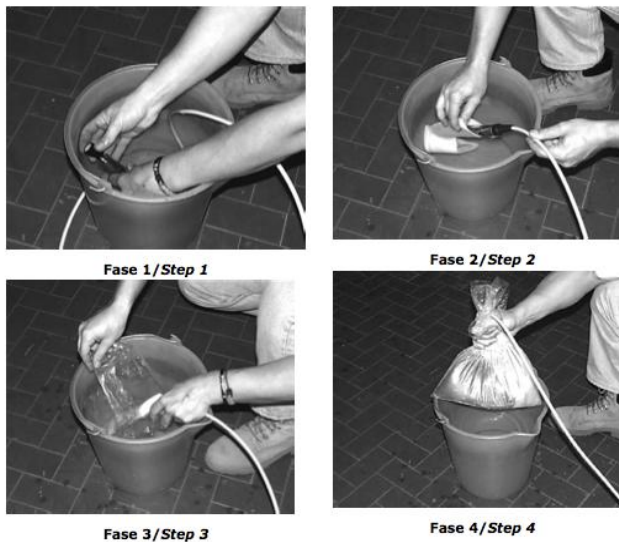
Pasos previos a la instalación

Antes de realizar la instalación de esos instrumentos debe realizarse una lectura manual de los mismos, la lectura obtenida debe compararse con la lectura registrada en la hoja de datos que suministra el fabricante, lo anterior con el fin de verificar el correcto funcionamiento del instrumento.

Nota: Los valores pueden diferir ligeramente de los suministrados por el fabricante, sin que esto indique un mal funcionamiento del instrumento; simplemente se debe a la variación de las condiciones de temperatura y presión. Los filtros cerámicos deben ser retirados del instrumento y sumergidos en agua desaireada para saturarlos durante un periodo no menor de 24 horas. Si se cuenta con un saturador, la operación puede realizarse con el mismo de manera casi instantánea.

Preparación del piezómetro

Secuencia de preparación del piezómetro.

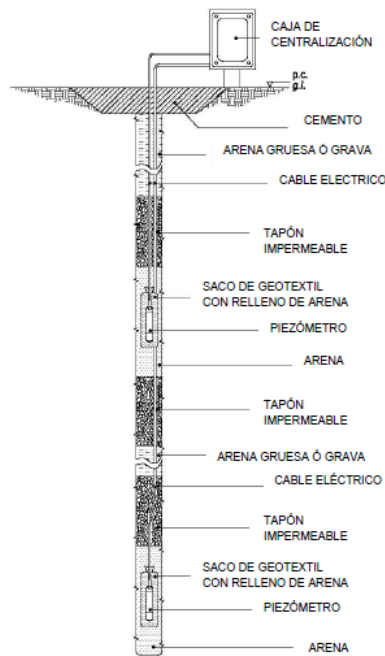


Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

En un recipiente lleno de agua se introduce el piezómetro junto con el filtro cerámico que debe ya encontrarse saturado (**Fase1**), debe dejarse que la cámara hidráulica se llene y a continuación se coloca el filtro cerámico en su lugar.

Con el instrumento aún bajo el agua este se introducirá en el saco geotextil (**fase 2**) el espacio existente entre dicho saco y el piezómetro se debe rellenar con arena fina; todo el conjunto se introduce en una bolsa plástica, se fija la bolsa al cable y de esta manera se transporta hasta la boca del sondeo.

Esquema instalación para el piezómetro de hilo vibrátil.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Para la instalación de este instrumento debe seguirse el procedimiento descrito a continuación:

La localización de del sondeo debe replantearse en superficie. Se establece el emplazamiento en profundidad del instrumento, para hacerlo se utiliza los resultados de sondeos previos, si están disponibles, de lo contrario se debe

prestar especial atención a la detección de capas de acuíferos durante la perforación del sondeo.

Una vez determinado el punto de instalación del piezómetro se realiza la perforación, adicional a la profundidad de perforación, se perforan 50 cm adicionales; la profundidad de toda la perforación se verifica mediante una cinta métrica. El fondo del sondeo debe lavarse hasta que el agua salga limpia en la superficie.

Se toma nuevamente una lectura manual del instrumento para asegurar su correcta operación.

La perforación de 50 cm realizada después del punto de instalación debe llenarse con arena o grava fina (\varnothing Max 0.5 cm).

Se transporta el piezómetro previamente preparado hasta la boca del sondeo y se introduce por la misma.

Nota: Una vez la bolsa de plástico se encuentre sumergida debe romperse para que el piezómetro quede dentro del agua.

Descenso del piezómetro.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Con la ayuda del cable se baja el instrumento hasta alcanzar el lecho de arena. El sondeo se continua relleno con arena o grava hasta recubrir el instrumento por lo menos 50 cm (La distancia debe tomarse con cinta métrica). Tomar una nueva lectura manual del piezómetro para verificar su correcto funcionamiento.

Debe realizarse un tapón de bentonita u otro material de características similares, el mismo debe tener un metro de espesor. Se completa el relleno del sondeo con arena gruesa el cual debe ser compactado con instrumentos livianos.

Relleno del sondeo.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

Instalación de dos piezómetros en un mismo sondeo

Para iniciar la instalación del segundo piezómetro debe rellenarse con arena o grava gruesa la distancia que resta después del tapón de bentonita puesto en el primer procedimiento, hasta que el sondeo se encuentre a 1,5 metros de la posición donde se desea ubicar el segundo piezómetro.

Seguidamente se realiza un nuevo tapón de bentonita de características idénticas al anterior.

Para introducir el segundo piezómetro deben seguirse los mismos pasos de preparación y manejo que con el primer instrumento.

Después de que el segundo instrumento haya sido cubierto 50 cm arena gruesa se realiza un último tapón de bentonita análogo a los anteriores y se completa el relleno del sondeo con arena gruesa, el cual deberá ser compactado con instrumentos livianos.

La instalación se finaliza con la colocación de una arqueta que brinde protección al cable.

ANEXO F. Celda de carga

Las celdas de carga de tensión están diseñadas para indicar lecturas precisas mediante la transmisión de la carga de tensión aplicada a un indicador. La Celda de Carga de Tensión está disponible en muchos tamaños y se usa en muchas aplicaciones.

Conocidas también con el nombre de transductores de tensión, las celdas de carga de tensión son un tipo de transductor porque pueden convertir la fuerza mecánica registrada en señales eléctricas utilizables para hacer mediciones en varias aplicaciones, entre las que se cuentan pruebas mecánicas, monitoreo continuo de sistema y también pueden ser usadas como componentes de otros dispositivos de medición.

Componentes

Las celdas de carga eléctricas están constituidas por un cuerpo de acero inoxidable de forma toroidal, sensibilizado por medio de extensómetros de tipo resistivo instalados en configuración de puente de Wheatstone completo, garantizando así una sensibilidad muy pequeña a las cargas excéntricas. Las celdas de carga deberán tener una amplitud de medición de 0 a 600KN y una baja distorsión con la temperatura.

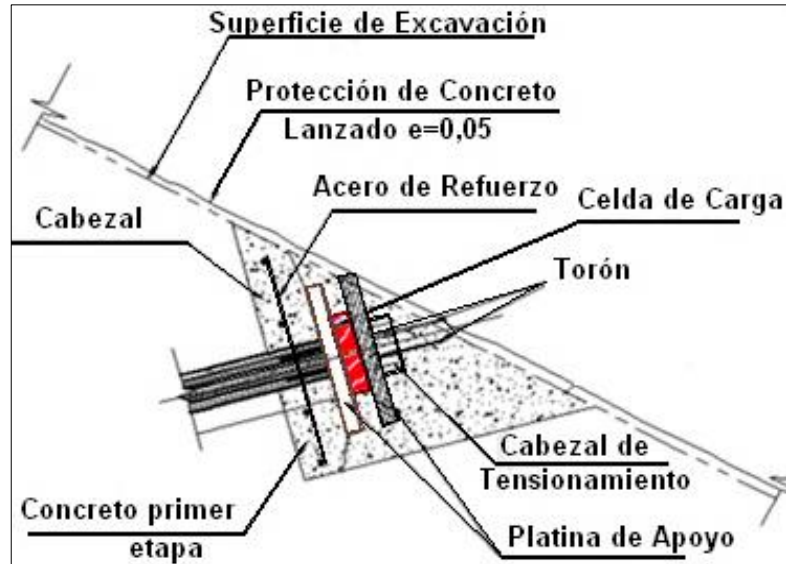
Celda de carga.



Fuente: Catalogo Sisgeo SPA-REV. 00 04/05

Instalación de la celda de carga.

Esquema instalación celda de carga.



Fuente: Propia.

Importante: La instalación de la celda de carga en el tendón a controlar debe realizarse antes de proceso de tensado del mismo.

Para la instalación de este instrumento sobre el tendón que desea monitorearse debe insertarse la placa de reparto del tendón a continuación de la celda de carga si esta es completamente plana.

De lo contrario debe construir una placa de distribución que se adapte a la placa de reparto del tendón en la base del mismo y a la celda de carga en su parte superior, en ese caso se insertara dicha placa e inmediatamente después la celda de carga.

Seguidamente se inserta la placa de distribución superior, la misma debe adaptarse en su cara inferior a la forma de la celda de carga y en su cara superior

a la placa de cuñas. Para finalizar la instalación se debe insertar la placa de cuñas en la parte más exterior del tendón.

Se procede con el tensado del tendón, esta operación se realiza lentamente para poder garantizar que la celda de carga haya quedado ubicada exactamente en la posición deseada; una vez se ha posicionado la celda de carga se continúa con el tensado del tendón. Finalmente se conducen los cables de conexión de la celda, hacia el punto donde se realice la lectura, que deben haber sido protegidos correctamente.

Celda de carga instalada.



Fuente: Manual de consulta instrumentación geotécnica del PHS. CAROLINA BAQUERO.

ANEXO G. Celda de asentamiento

Las celdas de asentamiento se utilizan, junto con los sistemas DEX-BRS para poder tener el registro y control de los asentamientos que ocurran en el relleno de la presa.

Componentes

- Tanque de referencia (Reservorio)
- Tubería de polietileno
- Ductos hidráulicos
- Celda de asentamiento
- Mezcla agua –glicerina

Nota: El rango de las celdas deberá ser mínimo de 7,0m con respecto al nivel de referencia con sensor de hilo vibrátil de sensibilidad del 0,025% del rango total y 0,25% de precisión sobre el rango total, con circuito para recircular agua desaireada y con sistema manual de desaireación del agua.

Celda de asentamiento.



Fuente: Propia.

Procedimiento de instalación

Esquema de funcionamiento de las celdas de asentamiento.



Fuente: Propia.

Replantear los puntos de instalación de las celdas de asentamiento, así como la localización del tanque de referencia.

Después de definir los puntos de emplazamiento de las celdas se realiza una excavación con medidas aproximadas de 50 x 50 x 80 cm, en ella se inserta una arqueta de protección de medidas similares prefabricada en cemento. La celda se introduce en la arqueta, esta celda queda embebida en material de tamaño máximo de 6,4mm (1/4") y compactada con pisón de mano. Sobre ésta se debe colocar dos capas más de 0,20m de material con tamaño máximo de 5cm, estas dos últimas capas se deben compactar con pisones neumáticos.

Para la ubicación de los tanques de referencia debe construirse un muro que permita ubicar los tanques citados a una altura aproximada de 2 metros sobre el extremo del cual sale el ducto de las celdas.

Las conducciones eléctricas e hidráulicas se llevan desde el punto de ubicación de las celdas hasta los tanques de referencia siguiendo el procedimiento descrito en el aparte de adecuación del terreno para conducciones eléctricas e hidráulicas.

Instalación de la celda de asentamiento.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Precauciones a tener en cuenta durante la instalación de las celdas de asentamiento.

Se debe procurar que el ducto hidráulico se encuentre totalmente estirado, la formación de dobleces en el mismo puede impedir o dificultar el desplazamiento del fluido, así como la posible formación de burbujas de aire.

Debe prestarse especial atención al proceso de conexión del ducto hidráulico al emboquillado de la celda ya que pueden formarse burbujas debido al aire presente en la cámara hidráulica de la celda.

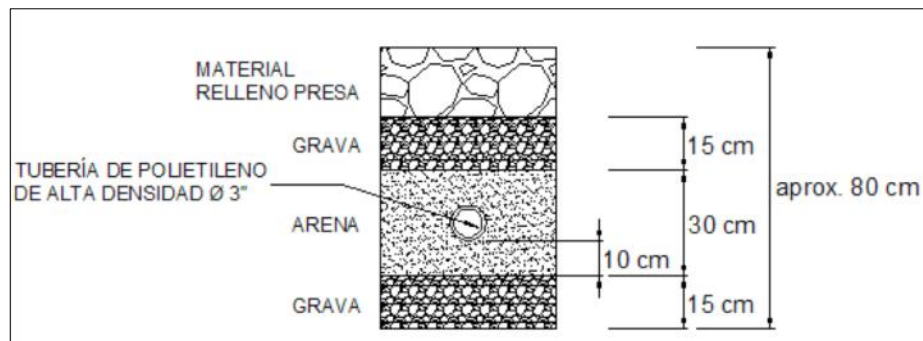
Se recomienda no instalar más de 5 celdas por tanque de referencia, ya que una cantidad superior instalada en un mismo tanque puede dificultar bastante los procesos de instalación y generar problemas como la formación de burbujas de aire; de otro lado la rotura de un ducto de alguna de las celdas puede provocar la

pérdida de presión perjudicando todo el sistema ya que se tendrían lecturas erróneas de cada una de las celdas.

Adecuación del terreno para conducciones eléctricas e hidráulicas

Para la conducción de las conexiones eléctricas e hidráulicas desde las celdas hasta los tanques de referencia, se requiere realizar una excavación con dimensiones aproximadas de 50 cm de ancho por 80 cm de profundidad. El fondo de la misma se cubre con una capa de grava de 15 cm de espesor, sobre esta primera capa se deposita una segunda capa de arena de 10 cm de espesor. Las dos capas deben ser compactadas de forma manual.

Esquema para la instalación de la tubería para la celda de asentamiento.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Para la protección de los ductos eléctricos e hidráulicos se utiliza tubería de polietileno de alta densidad, el diámetro interior de las mismas debe permitir albergar los ductos de todo el sistema, (Generalmente $\varnothing 3''$); en caso contrario se dispondrá de otra tubería, ya que ninguna de las conexiones debe quedar desprotegida dentro de la excavación. El espacio existente entre la excavación y la tubería de polietileno debe rellenarse con una capa de arena compactada en forma manual de 20 cm, sobre esta capa se deposita una nueva capa de grava de aproximadamente 15 cm de espesor; para el espacio restante se utilizan los mismos materiales del relleno de la presa, esta capa final debe compactarse de forma mecánica.

Se instalan los tanques de referencia sobre muro construido para tal fin, seguidamente se conectan los tubos provenientes de las celdas con su correspondiente emboquille en el tanque. Se procede a llenar el tanque con la mezcla de agua y glicerina para que esta se distribuya por los ductos hidráulicos hacia las celdas.

Tanque reservorio.



Fuente: Propia.

Proceso de purga del sistema hidráulico

Para eliminar las burbujas de aire presentes en el sistema hidráulico cada una de las celdas debe ser desconectada de su correspondiente ducto hidráulico, se conecta dicho ducto al desaireador y se eliminan todas las burbujas de aire presentes en el tubo permitiendo que el fluido retorne hacia el extremo de la celda. Cuando la mezcla de agua y glicerina fluya sin presentar burbujas de aire se conecta nuevamente el ducto al emboquille de la celda.

Las celdas serán ubicadas en las excavaciones que fueron construidas para ello, la excavación se rellena con arena hasta cubrir la celda y las conexiones; debe compactarse teniendo cuidado de no dañar las conexiones hidráulicas o eléctricas.

Se sigue llenado con arena hasta que la arqueta de protección se encuentre totalmente cubierta, el material de llenado se compacta de forma manual.

El procedimiento anteriormente descrito debe repetirse por cada una de las celdas que se encuentre instalada.

Las conexiones eléctricas provenientes de las celdas se ubican en una caja de protección en el muro donde está el tanque de referencia. Para finalizar la instalación se alberga tanto el tanque de protección como el muro de referencia, en una caseta que lo proteja de los cambios bruscos de temperatura por factores atmosféricos.

ANEXO H. Extensómetro de cinta

En las excavaciones subterráneas es necesario controlar el movimiento que se está generando durante su construcción, las argollas de convergencia son instaladas en puntos de la misma sección para medir movimientos relativos entre las mismas.

Componentes

- Perno simple con una argolla en uno de sus extremos.
- Extensómetro de cinta.

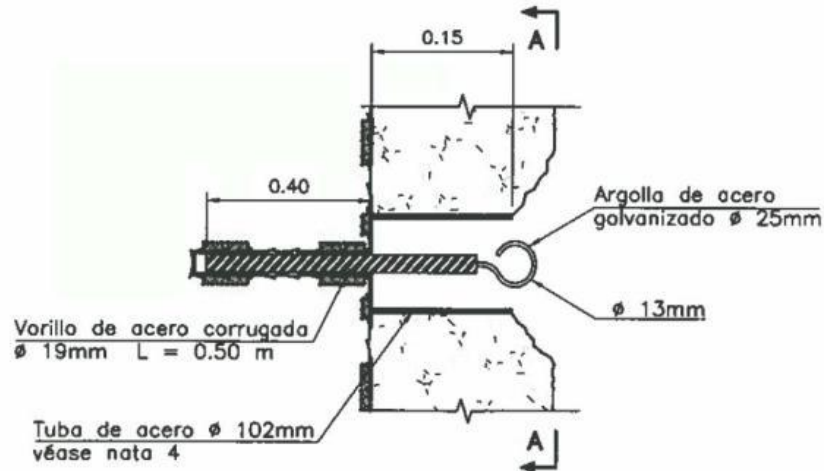
Aspecto de Argolla de convergencia instalada.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Procedimiento de instalación

Esquema instalación de argollas de convergencia



Fuente: Plano E3-LT4.2-GEO-023 Rev.2, Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

Las secciones de convergencia están constituidas por un número variable de puntos, esto depende del criterio del diseñador. Usualmente se ubican 2 o 4 puntos en diferentes zonas horarias de la misma sección, ya sea en túneles, cavernas, pozos o galerías; en éstos se hace la perforación de los pernos, luego se introduce el perno, cuando se haya aplicado los dos primeros centímetros de concreto lanzado se deberá colocar la argolla y luego se terminará de aplicar el espesor necesario de concreto lanzado, protegiendo convenientemente las argollas de forma tal que la argolla quede en la parte exterior del agujero, posteriormente se llena el espacio entre el orificio y el perno con lechada de cemento que contiene un acelerante de fraguado.

Procedimiento de lectura

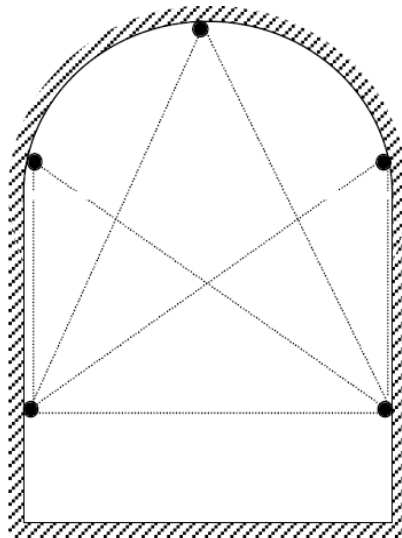
Toma de lecturas con extensómetro de cinta.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Las argollas se usan para generar cuerdas a las que se les mide la distancia en la misma sección de la excavación. El extensómetro de cinta tiene dos puntas, donde una de ellas se sujeta a una de las argollas y la otra se engancha a la otra argolla y se hace lo mismo con las otras restantes, el extensómetro registra la variación de distancia entre los dos puntos fijos, esto puede indicar convergencia o divergencia de la sección en el análisis de datos.

Ejemplo posicionamiento de argollas para medida de convergencia.



Fuente: Distometro anastro. Manuale d'uso

ANEXO I. Extensómetro de posición múltiple

Son usados para medir a diferentes profundidades las deformaciones relativas entre el punto de anclaje del extremo de cada extensómetro y el sostenimiento de la perforación. Estas deformaciones ocurren debido a la descompresión por la excavación de los túneles de gran diámetro o las obras en la central subterránea.

Componentes:

- Transductores.
- Extensómetro de posición múltiple con las siguientes características:
 - Amplitud: 30mm.
 - Sensibilidad: 0,025mm.
 - Profundidad máxima del aparato: Hasta 100 m.

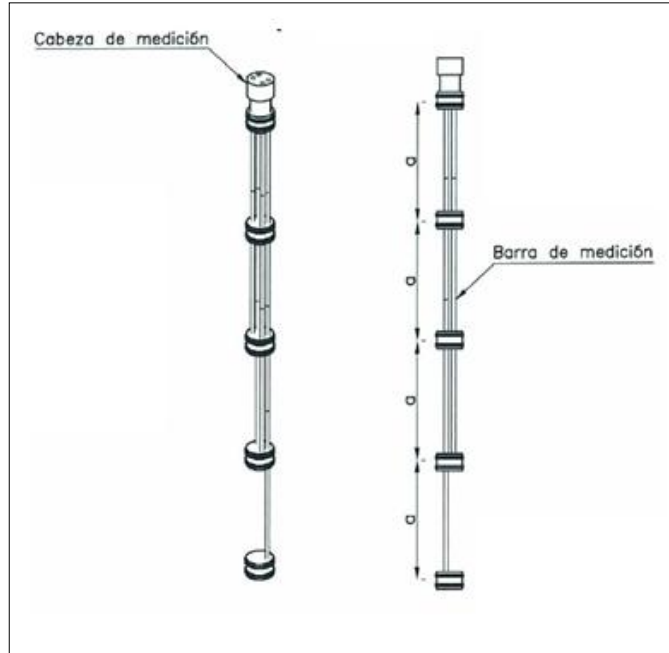
Apariencia del extensómetro de posición múltiple antes de su instalación.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Procedimiento de instalación

Esquema de instalación extensómetro de posición múltiple.



Fuente: Plano E3-LT3.2-GEO-041. Rev. 3. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, Diseños INGETEC.

Las perforaciones donde se instalan los extensómetros de posición múltiple deben ser lavadas con agua y aire a presión, antes de colocar el instrumento.

Antes de comenzar la instalación de los extensómetros se debe realizar una lectura manual de prueba de los mismos. Se ubican los puntos donde se planea instalar los extensómetros de posición múltiple, ya sea en los hastiales o en la bóveda del túnel, se hace la perforación para introducir los extensómetros, las perforaciones donde se instalan los extensómetros de posición múltiple deben ser lavadas con agua y aire a presión, antes de colocar el instrumento.

Perforación para instalación de extensómetro de posición múltiple.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Los extensómetros vienen enrollados, éstos deben desenrollarse para introducirse en la perforación cuidadosamente, la parte del instrumento que apunta hacia el exterior de la perforación se ancla al recubrimiento del túnel por medio de una pieza de madera puesta sobre él que se sujeta con dos puntillas a las paredes del túnel, para que el extensómetro permanezca posicionado dentro del sondeo, se tapa el espacio entre el extensómetro y el borde de la pared del túnel, luego se inyecta lechada por la tubería propia que trae el extensómetro para tal fin hasta rellenar por completo la zona perforada, la lechada deberá fluir en forma continua a presión constante y contener una proporción agua/cemento no mayor de 1:1, se deja fraguar la lechada, se retira la tabla usada para el anclaje y se instalan los transductores de desplazamiento para cada una de las posiciones del extensómetro.

Extensómetro de posición múltiple instalado.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

Se debe realizar una lectura de cada uno de los transductores para verificar que no se hayan afectado en el proceso de anclaje. Luego se llevan las conducciones eléctricas por medio de tubería tipo Conduflex de 50mm (2") de diámetro, que va embebida en el concreto lanzado aplicado como revestimiento del túnel hasta la unidad de adquisición de datos, donde se realizarán las lecturas del instrumento.

Caja de protección.



Fuente: Registro fotográfico equipo Proyecto Sogamoso ISAGEN.

ANEXO J. Tiltmeter o clinómetro

Son instrumentos que permiten controlar los posibles giros o vuelcos de las losas instaladas en la cara de concreto de la presa.

Componentes

- Tiltmeter
- Pernos expansivos
- Caja de protección

Tiltmeter instalado.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Procedimiento de instalación

Antes de comenzar la instalación del instrumento se debe comprobar la funcionalidad del instrumento, verificando la proporcionalidad entre la inclinación y la señal eléctrica usando la unidad de lectura. Igualmente, la superficie debe estar limpia y tan plana como sea posible.

Se replantea el punto donde se desea instalar el instrumento y se marca la posición donde se perforarán los agujeros para el anclaje.

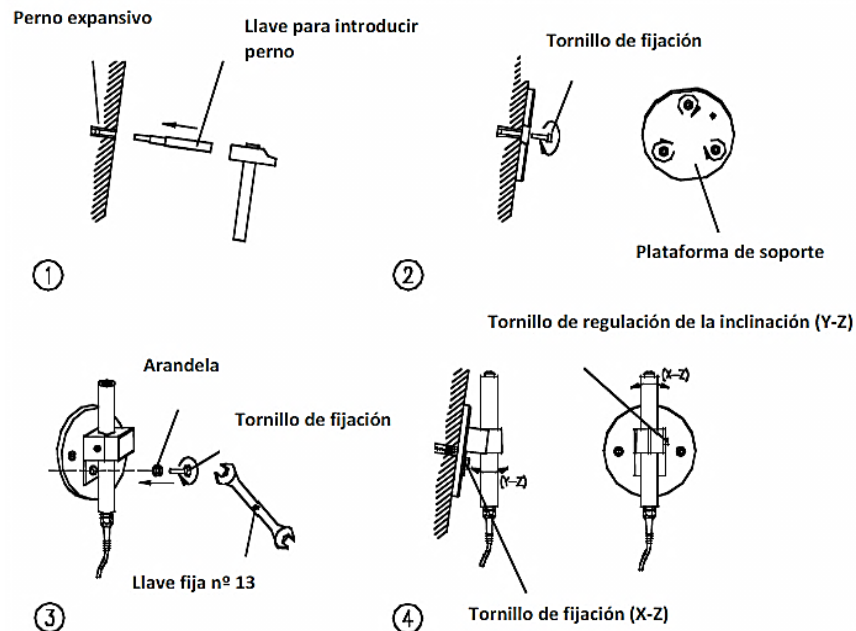
Se realiza la perforación en la losa de concreto y se introduce una resina de fijación si es necesario. Luego se introducen los pernos expansivos de anclaje y se fija la plataforma de soporte apretando los tornillos.

Se monta el Tiltmeter sobre la abrazadera de la plataforma de soporte enroscando el tornillo de esta. Una vez montado se ajusta la verticalidad del Tiltmeter usando el nivel de burbuja situado en el extremo superior del sensor.

Se conecta el Tiltmeter a la unidad de lectura tomando medidas y se mueve el instrumento hasta obtener una medida lo más cercana a cero. Se fija bien todos los tornillos, se toman lecturas registradas como iniciales.

Finalmente, se protege el instrumento con una caja de protección pudiendo ser metálica o en concreto y se conduce el cableado por una tubería hasta el lugar donde se desee realizar las lecturas.

Secuencia de instalación de Tiltmeter.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

ANEXO K. Medidor de juntas

Los medidores de juntas se instalan en la cara de concreto de la presa para medir los desplazamientos que se producen entre los bloques existentes a ambos lados de una misma junta.

Componentes

- Un transductor de cuerda vibrante alojado en un cuerpo de acero inoxidable y montado sobre un soporte.
- Una varilla de acero inoxidable conectando el transductor de desplazamiento al elemento.

Medidor de juntas instalado.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

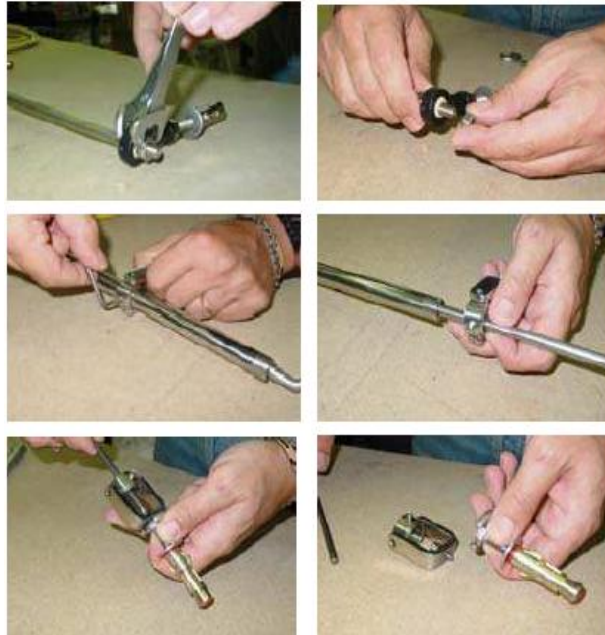
Procedimiento de instalación

El medidor de juntas se suministra montado por tanto es se debe desensamblar las piezas del instrumento de la siguiente manera:

Se quita la tuerca de bloqueo que sujeta la junta de fijación a la varilla de acero inoxidable, se quita el pasador de seguridad y retira el anillo de ajuste del soporte

cuerpo del transductor. Se debe retirar el soporte del transductor desatornillándolo del perno de anclaje.

Secuencia de desensamblaje de medidor de juntas.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

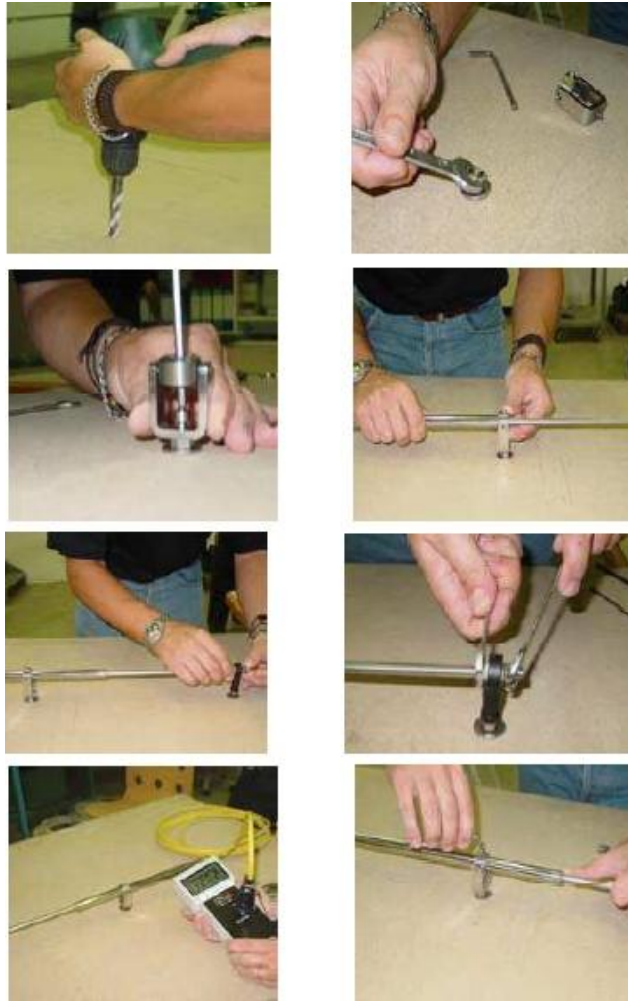
Una vez desensamblado el medidor, se procede a taladrar los dos agujeros donde se colocarán los tornillos de anclaje, dejando un margen de tolerancia en la distancia.

Se atornilla el soporte del cuerpo del transductor a su anclaje correspondiente y se fija con alguna resina, luego insertamos el transductor en el anillo del soporte ajustable. Procedemos a insertar la junta de fijación de la varilla de acero inoxidable y la fijamos.

Se conecta la unidad de lectura y extraemos la varilla de acero tirando del cuerpo del instrumento hasta obtener la posición inicial deseada, lo más aconsejable es

que esta sea a mitad de rango de los dos bloques. Finalmente, se bloquea el pasador de seguridad del soporte del transductor.

Secuencia de desensamblaje de medidor de juntas.

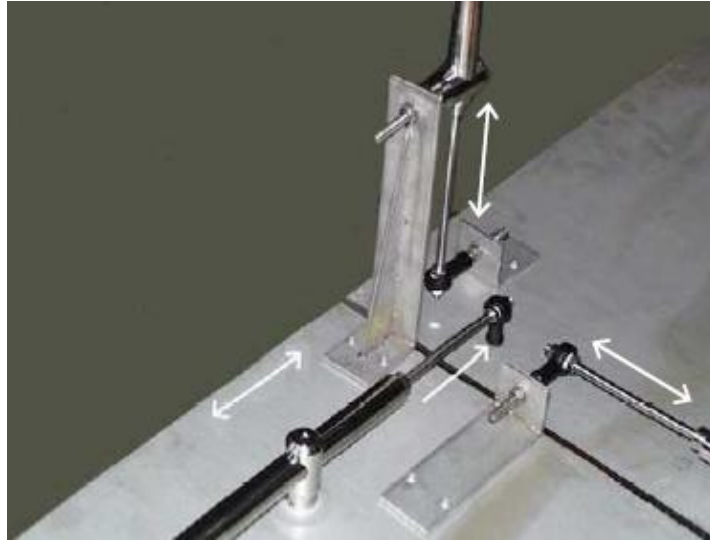


Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Medidor de juntas en 3 direcciones

Los medidores de juntas se pueden instalar de manera que permitan medir el movimiento de la junta en el espacio.

Instalación de medidores de juntas en 3 direcciones.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Para su instalación se deben hacer las perforaciones para los tornillos de anclaje usando una plantilla de manera similar al de la imagen superior y realizar el mismo procedimiento indicado anteriormente. Se debe tener especial cuidado en la unión de los tres cables eléctricos que se unirán en uno solo.

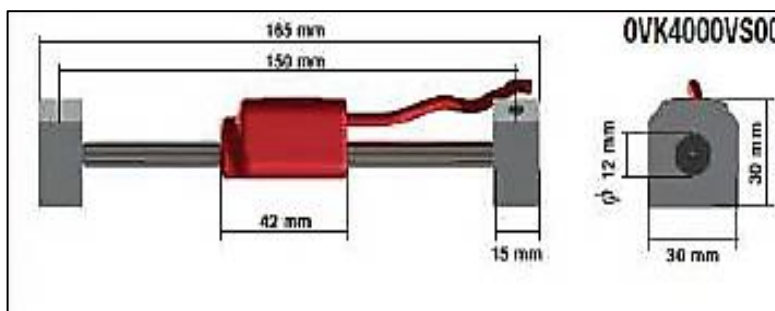
ANEXO L. Medidor de deformación unitaria

Este tipo de medidores se utilizan para controlar las deformaciones en estructuras de hormigón o en las barras de acero de la estructura.

Componentes

- Un medidor de deformación unitaria
- Tubo de protección en PVC
- Varillas de acero

Esquema de un medidor de deformación unitaria.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Procedimiento de instalación

Se replantea el punto donde se desea instalar el medidor y a su vez la dirección en que se colocará.

Se instalan dos varillas paralelas, atadas a la armadura o ancladas al terreno, la distancia de estas debe ser menor que la longitud del instrumento pero mayor que el núcleo de este. Se ata el medidor a las varillas instaladas procurando dejar libres de cualquier tipo de obstáculos los extremos.

Se envaina el cable en un tubo de protección flexible y resistente, pudiendo ser de PVC. Se conduce el cable hasta la posición de la caja donde se realizará la toma de lecturas.

El instrumento queda listo para ser cubierto por el concreto, debiendo quedar completamente embebido dentro de este. Finalmente, en el extremo del cable colocar una caja de protección y conducir a las casetas de protección.

Medidor de deformación .para hormigón.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

ANEXO M. Acelerógrafo

Los acelerógrafos se instalan para llevar a cabo el control de las posibles vibraciones en 3 direcciones que se produzcan en la presa y en casa de máquinas, especialmente debidas a movimientos sísmicos, explosiones o algún evento climático.

Componentes

- Un acelerógrafo MS2002+ de Syscom
- Un registrador Datalogger MR2002-SM24 de Syscom. Es el equipo que realizará la recopilación de las lecturas realizadas por los acelerógrafos, se instala una unidad por cada acelerógrafo.
- Una unidad de comunicación NCC de Syscom. Es el equipo de control de tareas que admite la llegada y comunicación entre sí de hasta 8 registradores; se comunica con estos mediante fibra óptica.

Acelerógrafo triaxial.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Procedimiento de instalación

Estos instrumentos vienen completamente preparados de fábrica, de modo que solo requieren la construcción de una pequeña caseta de protección. Cada acelerógrafo se depositará en el suelo en la posición establecida y se protegerá.

Se conectará el cableado de fibra óptica de cada unidad, a la unidad de lectura y esta a su vez al sistema automático de adquisición de datos-

Registrador y sensor de acelerógrafos.



Fuente: Memoria técnica general del sistema de automatización.

ANEXO N. Vertedero de aforo

Los vertederos de aforo se instalan en aquellas zonas de la obra donde se produzcan emanaciones o escapes de agua elevados, con el fin de controlar el caudal de estos flujos. Estos vertederos pueden ser en forma rectangular, trapezoidal o en “V”.

Componentes

- Aforador.
- Cuenco sedimentador.
- Escala hidrométrica.

Vertedero de aforo instalado.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Procedimiento de instalación

Se realiza un canal abierto en el punto donde se desee controlar el caudal del agua. En este canal se ejecuta un cuenco para retener el agua y mantenerla en calma, además se hace un tanque de sedimentación, ambos en concreto.

La base del canal debe tener una pendiente entre 1% a 3% inclinado hacia la cara del aforador. Se fija el aforador al canal de medida, asegurándose de quedar perfectamente vertical y perpendicular al eje del canal.

Aforador con sección V.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.

Se hace una sección de transición después del aforador para unir el canal de medición a la corriente de agua; las dimensiones de esta sección deben ser similares a las del canal de medida con una pendiente de 5%. Finalmente, se fija la escala hidrométrica a la pared del cueco próxima al aforador en V, de modo que las divisiones milimetradas mostrarán el nivel del agua.

Aforador con escala hidrométrica.



Fuente: Memoria técnica general de instrumentación geotécnica.