

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA  
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO  
SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P.**

**PETER ALEXANDER HENSEL OLAVE**

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

**2014**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA  
DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO  
SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P.**

**PETER ALEXANDER HENSEL OLAVE**

**Trabajo de grado realizado en la modalidad de práctica empresarial para  
optar al título de Ingeniero Civil**

**Director:  
ALVARO VIVIESCAS JAIMES  
Ingeniero Civil, PH. D.**

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

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primeramente le quiero dar gracias a Dios por todas las bendiciones que le ha dado a mi vida y las capacidades con las que me doto para desempeñarme en esta excelente labor como lo es la Ingeniería Civil.*

*Le agradezco también a la Universidad Industrial de Santander que me diera la formación necesaria para poder desempeñarme como un profesional integral.*

*Al equipo de trabajo de ISAGEN que me dio la oportunidad de tener esta magnífica experiencia de aprender y desarrollarme en mi formación de Ingeniero Civil y especialmente a mis tutores Rubén y Daniel que más que excelentes formadores se convirtieron en buenos amigos para mí.*

*Finalmente pero con el mayor significado, le agradezco a mi madre que es mi pilar y modelo a seguir y que siempre me ha apoyado y acompañado en todos los capítulos de mi vida*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	13
1.1 MISIÓN	14
1.2 VISIÓN	14
2. DESCRIPCIÓN GENERAL	15
3. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	16
4. ETAPAS DE AUTOMATIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN	17
4.1. PRIMERA ETAPA	17
4.2. SEGUNDA ETAPA	17
4.3. TERCERA ETAPA	18
5. MOJONES DE CONTROL	19
5.1. COMPONENTES	19
5.2. INSTALACIÓN DE UN MOJÓN DE CONTROL	20
5.3. MOJÓN DE REFERENCIA	21
5.3.1. Componentes	21
5.3.2. Instalación de un mojón de referencia	22
6. PIEZÓMETRO DE HILO VIBRÁTIL.	23
6.1. COMPONENTES	23
6.2. INSTALACIÓN DE UN PIEZÓMETRO DE HILO VIBRÁTIL	23
7. CELDAS DE ASENTAMIENTO	26
7.1. COMPONENTES	26
7.2. INSTALACIÓN DE UNA CELDA DE ASENTAMIENTO	27
7.3. PROCEDIMIENTO DE LECTURA.	28
8. TILTMETER	29

8.1. COMPONENTES	29
8.2. INSTALACIÓN DE UN TILTMETER	29
9. ACELERÓGRAFOS	31
9.1. COMPONENTES	31
9.2. INSTALACIÓN DE UN ACELEROGRAFO	32
10. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y LECTURA DE DATOS	33
10.1. DATALOGGER LEONARDO	33
10.2. DATALOGGER NEW LEONARDO	34
10.3. UNIDAD DE LECTURA C6003	34
10.4. UNIDAD DE LECTURA VOLTA	35
11. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	36
12. SOFTWARE DE GESTION DE DATOS	40
13. RESULTADOS	42
14. CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	46

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso	13
Figura 2. Mojón de control ubicado en los llenos de la presa.	18
Figura 3. Formaleta para el mojón de control	19
Figura 4. Nivelación del cilindro metálico del mojón de control	21
Figura 5. Esquema instalación mojón	21
Figura 6. Elaboración del sello de Bentonita	24
Figura 7. Descenso del piezómetro	25
Figura 8. Celda de Asentamiento.	26
Figura 9. Esquema de funcionamiento de las celdas de asentamiento.	28
Figura 10. Tiltmeter instalado.	29
Figura 11. Secuencia de instalación de Tiltmeter.	30
Figura 12. Acelerógrafo triaxial.	31
Figura 13. Datalogger Leonardo	33
Figura 14. Datalogger New Leonardo	34
Figura 15. Aspecto unidad de lectura C6003.	34
Figura 16. Aspecto unidad de lectura VOLTA.	35
Figura 17. Esquema de distribución de datos.	39

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Toma de registros geológicos de las perforaciones para los piezómetros de las galerías inclinadas de la Presa	46
ANEXO B. Ejemplo de grafica de maximos y minimos del Acelerografo en el WS Galemys.	47
ANEXO C. Visualización pantalla inicial de la aplicación Galemys 3.7.	48

## RESUMEN

**TITULO:** PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA DE OBRAS CIVILES PRINCIPALES DEL PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO QUE ADELANTA LA EMPRESA ISAGEN S.A E.S.P\*

**AUTOR:** Peter Alexander Hensel Olave\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Actas, Informes, Instrumentación Geotécnica, Monitoreo, Automatización, Software.

### DESCRIPCIÓN

En la realización de la práctica empresarial se vieron plasmados los trabajos principales realizados por un auxiliar de Ingeniería Civil, tales como la revisión y envío de planos, actas mensuales de obra y elaboraciones de informes semanales y mensuales de avance de obra, como también el apoyo en trabajo de oficina como el cálculo de cantidades de obra y diseños básicos en AUTOCAD. Adicional a la labor prestada a la empresa, se realizó el apoyo en la culminación del MANUAL DE INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE EQUIPOS GEOTÉCNICOS como aporte del practicante para la empresa ISAGEN S.A E.S.P el cual es un instructivo básico de los instrumentos de medición geotécnica instalados y automatizados en las obras civiles principales del proyecto. En la construcción de una obra de gran magnitud como lo es el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso es de vital importancia realizar un seguimiento detallado a las deformaciones y cambios que se puedan producir en 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; Para ello se hace necesario el uso de equipos de instrumentación geotécnica para realizar estas mediciones. La instalación y adecuación de estos instrumentos se realiza durante la construcción de los diferentes frentes de la obra. Finalmente, se implementa un proceso de automatización con el uso de un software especializado para así continuar con el monitoreo de estos equipos durante la operación de la central hidroeléctrica.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: PhD. Alvaro Viviescas Jaimés

## ABSTRACT

**TITULO:** BUSINESS PRACTICE AS ASSISTANT ENGINEERING IN THE AREA MAIN CIVIL WORKS PROJECT HYDROELECTRIC SOGAMOSO THAT LEAD THE COMPANY ISAGEN S.A E.S.P.

**AUTOR:** Peter Alexander Hensel Olave \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Records, Reports, Geotechnical Instrumentation, Monitoring, Automatization, Software.

### DESCRIPTION

In the realization of the business practice it was captured the principal work by an auxiliary of Civil Engineering such as the review and sent of flat of work and working weekly and monthly progress reports of work, as well as support were reflected in office work as the calculation of amounts of work and basic designs in AUTOCAD. In addition to the work given to the company, support in the ending of the MANUAL OF GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION AND AUTOMATION EQUIPMENT practitioner as a contribution to the company ISAGEN S.A E.S.P which is a basic instructional geotechnical instruments installed measurement was performed and automated in major civil works project. In the construction of a project of great magnitude such as the Sogamoso Hydroelectric Project it is necessary to realize a detailed monitoring of deformations and changes that may occur in underground excavations, opencast excavations, dam fills and the concrete face of dam, in the execution of the work and the worklife of the power station; therefore, the use of geotechnical instrumentation to perform these measurements. The installation and adequacy of these instruments is performed during the construction of the various fronts of the project. Finally this automation process is implemented by mean of specialized software in order to continue monitoring these devices during the operation of the hydroelectric plant.

---

\* Graduate Project

\*\* Physics – Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: PhD. Alvaro Viviescas Jaimes

## INTRODUCCIÓN

ISAGEN S.A. E.S.P una de las empresas generadoras de energía más grandes de Colombia, posee y opera seis centrales de generación, cinco de ellas de origen hidráulico y una térmica. Actualmente se encuentra ejecutando el proyecto Hidroeléctrico Sogamoso que consiste en el aprovechamiento del caudal del río Sogamoso mediante la construcción de una presa de gravas con cara de concreto en el cañón donde el río cruza la serranía de la Paz.

El embalse del Proyecto tendrá la capacidad de almacenar 4.800 millones de metros cúbicos de agua y generar 820MW de energía. Debido a la gran magnitud del proyecto y de las obras a construir 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.

Durante la realización de la práctica se llevaron a cabo actividades como visitas e informes de obra, revisión de actas de acuerdo, remisión de planos de construcción, envió de comunicados y revisión de la documentación general de la obra, entre otras actividades que se complementaron con la elaboración de un manual de instrumentación y automatización para la empresa ISAGEN.

## 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

ISAGEN es una empresa colombiana de servicios públicos dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica. La infraestructura actualmente instalada está conformada por cinco centrales hidroeléctricas y una central térmica con una capacidad total de generación de 2.212 megavatios (MW) distribuidos en 1.912 MW hidráulicos y 300 MW térmicos.

El Proyecto se encuentra en la zona nororiental de Colombia, en el departamento de Santander, en el cañón del río Sogamoso que cruza la Serranía de la Paz, 75 km antes de su desembocadura en el río Magdalena y 62 km aguas abajo de la influencia de los ríos Suarez y Chicamocha. Para la generación de energía se utilizará el agua embalsada del río Sogamoso mediante una presa de gravas con cara de concreto de 190 metros de alto y 345 metros de ancho. El agua es tomada por un sistema de captación que la conduce hacia las 3 unidades de generación ubicadas en la central subterránea.

**Figura 1. Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso**



## **1.1 MISIÓN**

ISAGEN desarrolla la capacidad de generación y 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.

## **1.2 VISIÓN**

ISAGEN es líder en generación y transacciones de energía en tiempo real 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. DESCRIPCIÓN GENERAL**

Para ISAGEN es necesario hacer uso de unos adecuados equipos de medición geotécnica, ya que con ellos se puede tener registro del comportamiento de la zona en donde se está trabajando, ya sea en excavaciones subterráneas como también en trabajos de movimientos de tierra, y rellenos que se realicen y excavaciones a cielo abierto. En la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se contó principalmente con equipos de la marca Italiana SISGEO, la cual junto a MONITORIZA se encargó de la distribución, instalación y automatización de los instrumentos utilizados en la obra.

### 3. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Los instrumentos que se implementarán en el proyecto corresponden a: mojones para el control de desplazamientos superficiales, inclinómetros para el seguimiento de los desplazamientos horizontales en profundidad, piezómetro manométrico 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 y vertederos de aforo para controlar las emanaciones de agua por las galerías.

Los instrumentos que se instalarán a medida que avanzan los trabajos en la cara de concreto son los inclinómetros o tiltmeters para el control de posible vuelcos o giros de las losas de concreto, medidores de juntas en una, dos y tres dimensiones, 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 además de el uso de dispositivos de cero stress.

La implantación de un sistema automático de monitoreo en un proyecto hidroeléctrico permite un mayor y mejor control del mismo durante la ejecución de los trabajos, así como posteriormente durante la vida útil de la presa. Para ello es necesario todo un sistema que permita la automatización y un Software de gestión de datos como lo es el GALEMYS 3.7.

## **4. ETAPAS DE 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. PRIMERA ETAPA**

En la primera etapa se instalan los equipos 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.

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 (Dataloggers). Todos los datos de la instrumentación instalada, serán recolectados y descargados manualmente en el servidor.

### **4.2. 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.

#### **4.3. 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.

**Figura 2. Mojón de control ubicado en los llenos de la presa.**



## 5. 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.

### 5.1. COMPONENTES

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

**Figura 3. Formaleta para el mojón de control**



## **5.2. 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 una 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 la 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.

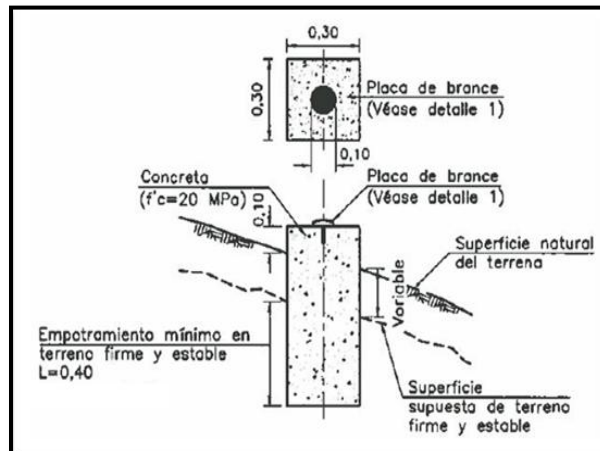
Se replantea la posición del mojón de control, luego se coloca la formaleta, seguidamente se funde el concreto y antes que el concreto fragüe se ubica dentro de la formaleta en toda la mitad del mojón un cilindro metálico a través de toda la altura del mojón que en la punta inferior tiene un sistema 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.

**Figura 4. Nivelación del cilindro metálico del mojón de control**



### **5.3. MOJÓN DE REFERENCIA**

**Figura 5. Esquema instalación mojón**



#### **5.3.1. Componentes**

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

**5.3.2. Instalación de un mojón de referencia.** Este tipo de mojones son anclados a la roca donde teóricamente no hay movimientos, por lo cual se usan como referencia admitida.

Para su instalación debe buscarse un lugar aislado, sobre roca. 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.

## **6. PIEZÓMETRO DE HILO VIBRÁTIL.**

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

### **6.1. COMPONENTES**

El piezómetro de hilo vibrante está constituido por los siguientes elementos:

- 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. Ver Anexo A.

### **6.2. INSTALACIÓN DE UN PIEZÓMETRO DE HILO VIBRÁTIL**

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.

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.

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

Con la ayuda del cable se baja el instrumento hasta alcanzar el lecho de arena. El Sondeo se continua rellenando 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.

**Figura 6. Elaboración del sello de Bentonita**



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.

**Figura 7. Descenso del piezómetro**



## 7. CELDAS 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.

**Figura 8. Celda de Asentamiento.**



### 7.1. COMPONENTES

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

## **7.2. INSTALACIÓN DE UNA CELDA DE ASENTAMIENTO**

Replantear los puntos de instalación de las celdas de carga así como la situación 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 aparte de adecuación del terreno para conducciones eléctricas e hidráulicas.

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.

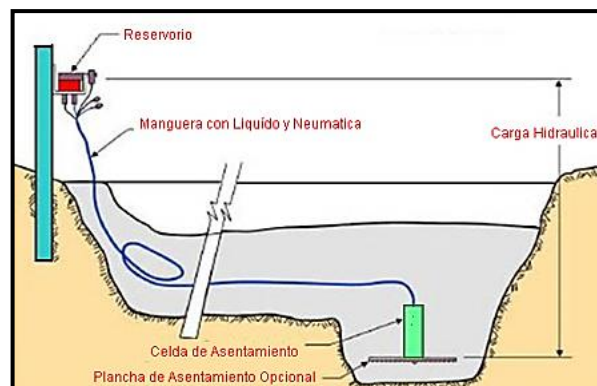
Se recomienda no instalar más de 5 celdas por tanque de referencia, ya que una cantidad superior instalada en un mismo tanque puede dificultar bastante los procesos de instalación y generar problemas como la formación de burbujas de aire; de otro lado la rotura de un ducto de alguna de las celdas puede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

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

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.

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.

**Figura 9. Esquema de funcionamiento de las celdas de asentamiento.**



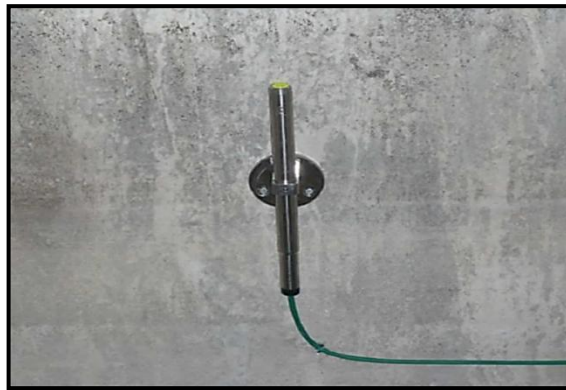
### 7.3. PROCEDIMIENTO DE LECTURA.

Las lecturas se realizan mediante la unidad de lectura VOLTA de Sisgeo o el Datalogger NEW LEONARDO del mismo fabricante.

## 8. TILTMETER

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

**Figura 10. Tiltmeter instalado.**



### 8.1. COMPONENTES

- Tiltmeter
- Pernos expansivos
- Caja de protección

### 8.2. INSTALACIÓN DE UN TILTMETER

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.

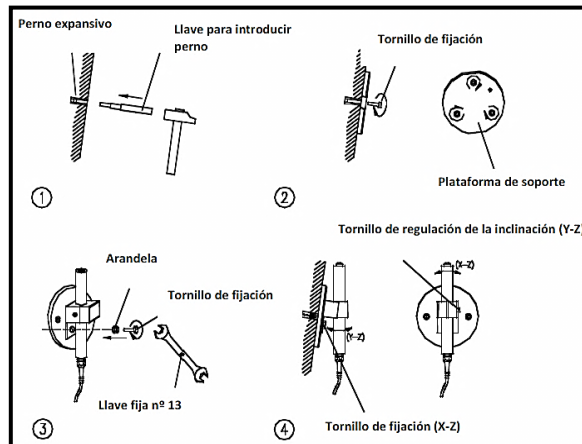
Se replantea el punto donde se desea instalar el instrumento y se marca la posición donde se perforarán los agujeros para el anclaje.

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.

**Figura 11. Secuencia de instalación de Tiltmeter.**



## 9. ACELERÓGRAFOS

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 la central subterránea, especialmente debidas a movimientos sísmicos, explosiones o algún evento climático.

**Figura 12. Acelerógrafo triaxial.**



### 9.1. COMPONENTES

- Tres acelerógrafos AFB-CD de Solgeo.
- Tres registradores para acelerógrafos Solgeo Dymas24 mod. 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 con modem para fibra óptica/LAN, pc integrado para interactuar con el sistema WMS. 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.

- Un receptor GPS para la sincronización de las señales de las estaciones de registro.

## **9.2. INSTALACIÓN DE UN ACELEROGRAFO**

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. Las pruebas de funcionamiento de los equipos, así como de los datalogger serán ejecutadas por el fabricante directamente en la obra, con todas las ventajas del caso. Se realizará una ejecución de las pruebas finales con la presencia directa de los fabricantes y con el personal técnico de cada uno, Sisgeo por la parte de instrumentación geotécnica, Solgeo por la parte de acelerógrafos y Field por la parte del Software; permite tener un especialista de cada tipología de instrumentación que puede utilizar sus conocimientos técnicos para una precisa y atenta configuración del Sistema. *Ver Anexo B.*

## 10. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y LECTURA DE DATOS

### 10.1. DATALOGGER LEONARDO

Figura 13. Datalogger Leonardo



El Datalogger Leonardo es capaz de leer todos los tipos de sensores, salvo los modelos con hilo vibrante, y puede visualizar diferentes unidades como kPa, m, kN, micro esfuerzos, °C, ángulos.

El control del dispositivo se realiza por medio de un teclado de tipo alfanumérico ubicado en el panel frontal. El instrumento se suministra con: cargador, batería, jumper, cable y cable de puerto de comunicaciones.

## 10.2. DATALOGGER NEW LEONARDO

Figura 14. Datalogger New Leonardo



El Datalogger New Leonardo posibilita la lectura de todos los tipos de instrumentos de Sisgeo, incluidos los de hilo vibrátil y los sensores eléctricos.

## 10.3. UNIDAD DE LECTURA C6003

Figura 15. Aspecto unidad de lectura C6003.



La unidad de lectura C6003 es una central de medición de bolsillo mono canal provista de display LCD de 3.5 dígitos. Viene programada desde los laboratorios de Sisgeo para poder leer instrumentos con señal de salida en mA, V y mV/V.

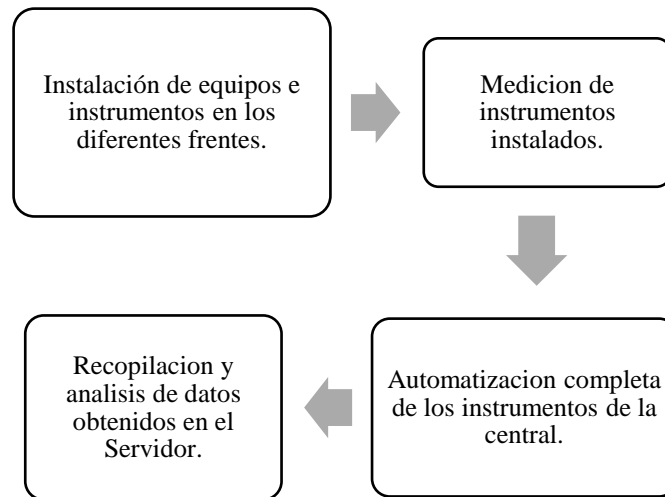
#### 10.4. UNIDAD DE LECTURA VOLTA

El lector de datos VOLTA ha sido desarrollado para obtener lecturas de instrumentos de hilo vibrátil. La unidad cuenta con un microprocesador que permite medir tanto la fase de excitación del hilo vibrante como la detección de fase. La frecuencia es determinada por el método de transformada de Fourier, este método de análisis de la señal es usado para eliminar las frecuencias de interferencia.

Figura 16. Aspecto unidad de lectura VOLTA.



## 11. 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.

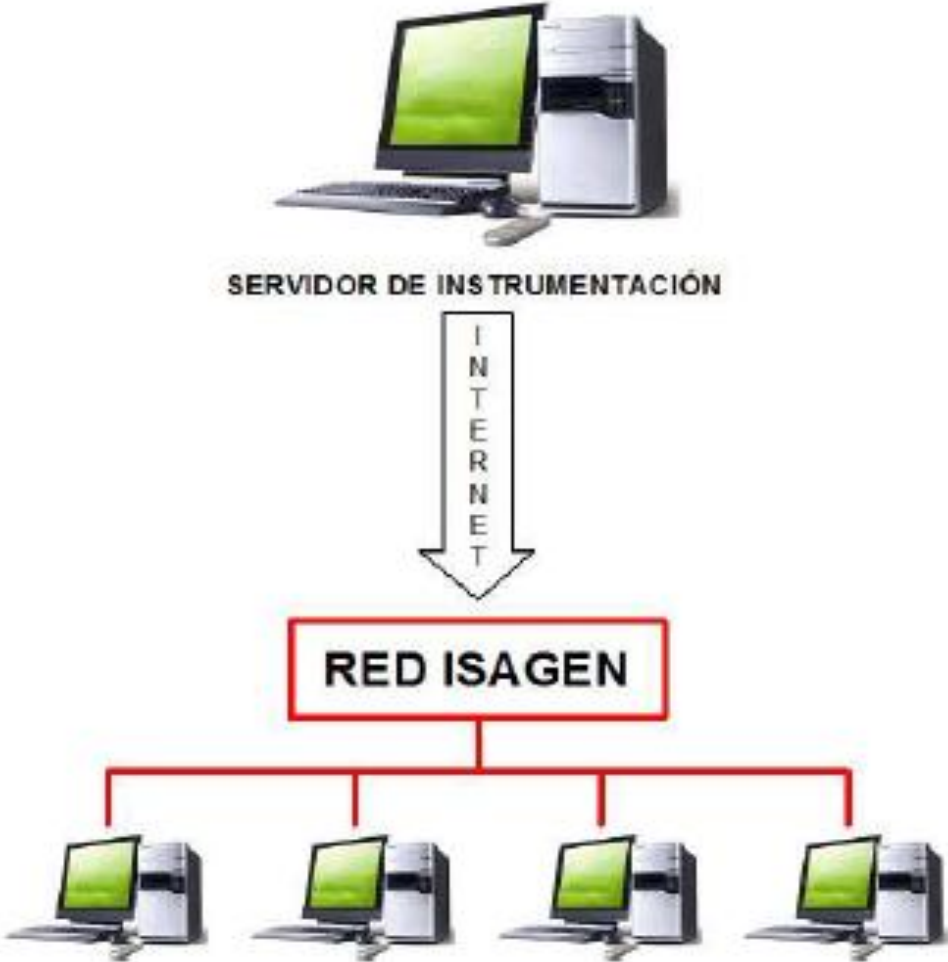
Los acelerógrafos serán los encargados de detectar las vibraciones ocasionadas por sismos, explosiones o algún evento que pueda desestabilizar la presa. Los acelerógrafos se pondrán en contacto directamente mediante un cable eléctrico con el primero de los Dataloggers y este se comunica en serie con 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 17. Esquema de distribución de datos.



## 12. 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. *Ver Anexo C.*

### **13. RESULTADOS**

Durante el proceso de instalación y recolección de datos de los diferentes instrumentos geotécnicos se pudo evidenciar que los datos tomados son estables para una evaluación válida de la estabilidad y comportamiento en los variados sitios donde se dispusieron.

En repetidos casos algunos de los equipos presentaban averías por lo cual el contratista debía costear y suministrar los repuestos necesarios o el cambio del equipo si es necesario, asegurando así la toma de medidas constantes para análisis y estudios posteriores.

La etapa de automatización de los equipos instalados aun se encuentra en proceso de terminación y se espera tener lista para mediados del año 2014 con lo cual se realizará una toma de datos generales de todos los equipos instalados en obra.

## 14. CONCLUSIONES

El uso de instrumentación geotécnica es un elemento fundamental para la recopilación, sostenimiento y normal ejecución de cualquier mega proyecto, como lo es el Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso que adelanta la empresa ISAGEN S.A. E.S.P y que se encuentra próximo a su finalización.

El variado número de instrumentos y las diferentes funciones que cumplen cada uno de ellos ilustra la gran cantidad de mediciones que e deben obtener tanto en la construcción como puesta en marcha de la central hidroeléctrica, así como lo son los asentamientos de los diferentes materiales utilizados en la presa, los movimientos y aceleraciones que se produzcan en las cavernas y diferentes túneles y los desplazamientos que pueda tener la presa y su cara de concreto una vez llenado el embalse, entre muchos otros factores que son de suma importancia registrar.

En este articulo el usuario puede obtener información detallada de algunos de los principales instrumentos que se instalaron en todos los frentes del proyecto que requerían ser monitoreados, sus características principales, lugar donde fueron instalados, aplicaciones, usos y el procedimiento básico de instalación de los mismos; así como también un inductivo básico del proceso de automatización de los mismos.

La labor prestada tanto por el Contratista para el suministro e instalación de los equipos, la asesoría que realiza los estudios y recopilación de la información, la interventoría que supervisa todo el proceso de instalación y funcionamiento de los instrumentos e ISAGEN, conjuntamente permitió realizar un trabajo consolidado y de excelente calidad para llevar un control completo del proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

Digitilt Datamate II 50310999. Durham GeoSlope Indicator. USER MANUAL. 2007.

Distometro A Nastro Tape Extensometer. Manule d'uso/Instruction manual. (03/05, Rev.1, DNP0).

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. Licitación Pública No. 5/415. Anexo No.4, 2009.

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/>

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.

New Leonardo – Leonardo – Galileo Datalogger. Sisgeo. Portable Datalogger & Accesories. User Manual. Rev.0 – 20.01.2011.



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.

Readout Units & Dataloggers. Sisgeo. User manual. Rev.00 – 10/2007.

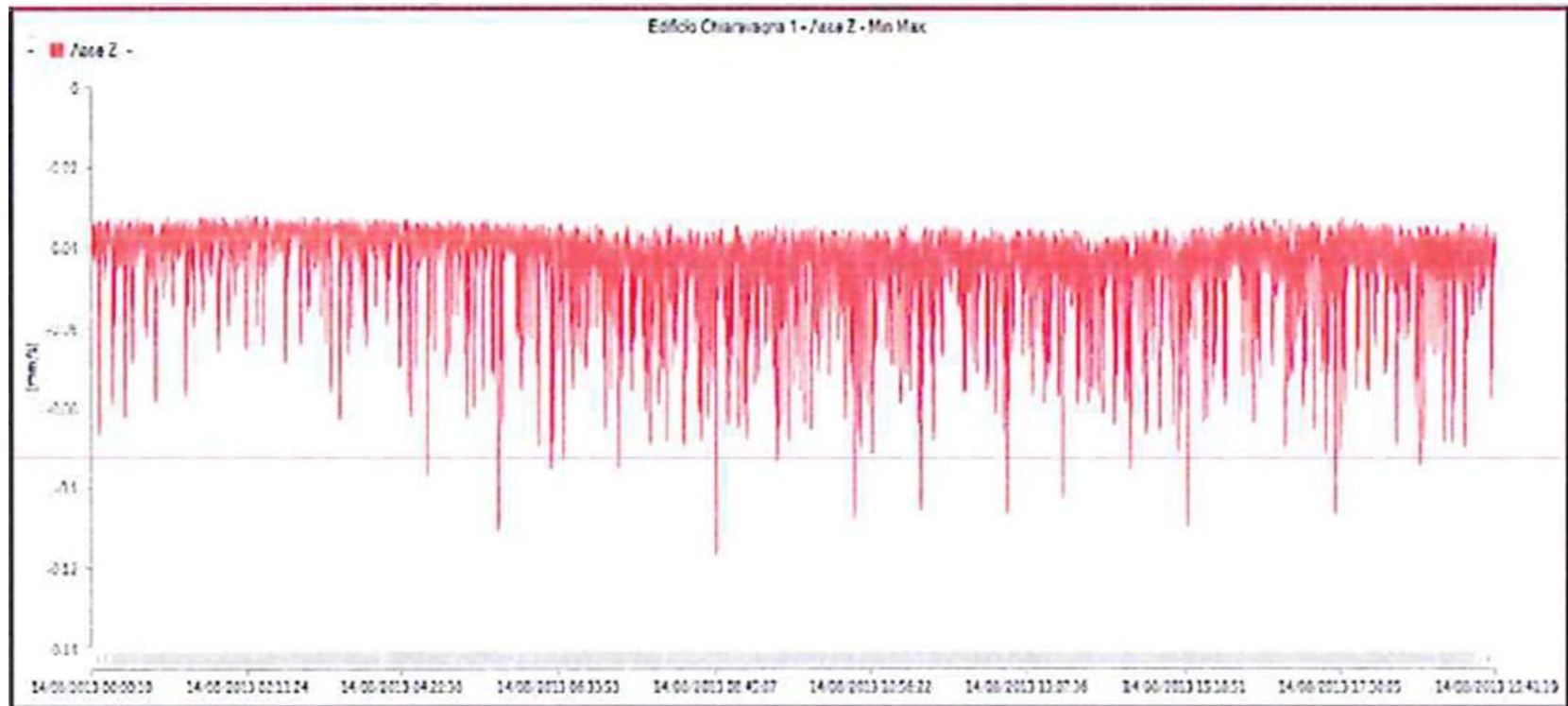
Sistema De Automatización – Instrumentación Geotécnica – Arquitectura. Código MG-GTE-GICTII-02 Revisión 002, Propiedad Grupo ICT SAS, 2011, 127 p.

## ANEXOS

### ANEXO A. Toma de registros geológicos de las perforaciones para los piezómetros de las galerías inclinadas de la Presa

		<b>REGISTRO LITOLÓGICO DE PERFORACIÓN P23 Y P24</b>													
Localización: <b>PRESA GALERÍA ELEVACIÓN 322. ESTRIBO DERECHO</b>		REFERENCIA: <b>P23 Y P24</b>													
Coordenadas: <b>N: 1277,197.930 E: 1074,152.680</b>		Roca: <b>Perforada: 30.35 m</b>													
Ángulo con la vertical: <b>0.0 °</b>		Recuperada: <b>27.58 m</b>													
Profundidad: <b>30.35 m</b> Cotas: <b>Superficie: 322.00 msnm</b>		Porcentaje: <b>90.87 %</b>													
Equipo: <b>0</b>		Roca: <b>322.00 msnm</b> Fondo: <b>291.50 msnm</b>		Fechas: <b>Iniciación: Noviembre de 2013.</b> <b>Terminación: Noviembre de 2013.</b>											
SISTEMA DIÁMETRO	REVESTIMIENTO	MUESTRA #	COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	ESTRATOS	DESCRIPCIÓN	R. Q. D.				PENETRÓMETRO DE BOLILLO kg/cm <sup>2</sup>	N.º DE RECIBRO	COLOR AGUA	CALIA #	Observaciones
							20%	50%	70%	90%					
			322.00	0		ARENISCA (Tels) litico cuarzosa, gris, grano medio a grueso, moderadamente dura a friable, muy fracturada, fresca.					32	%			
			321.00	1											
			320.00	2		ARENISCA (Tels) litico cuarzosa, amarillo y rojiza, grano grueso, moderadamente dura a friable, poco fracturada, oxidada.					74	%			
			319.00	3											
			318.00	4		ARENISCA (Tels) gris .					93	%		1	Arenisca gris , grano grueso, moderadamente dura a friable, poco fracturada.
			317.00	5											
			316.00	6		ARENISCA (Tels) litico cuarzosa, rojiza y en partes gris, grano grueso, localmente conglomerado, moderadamente dura, poco fracturada, meteorizada y en partes costras					96	%			

**ANEXO B. Ejemplo de grafica de maximos y minimos del Acelerografo en el WS Galemys.**



*mm/s<sup>2</sup> v.s Digits (registrados por el datalogger)*

## ANEXO C. Visualización pantalla inicial de la aplicación Galemys 3.7.

