

Gestión del Riesgo Manizales - Colombia

Sistema de instrumentación de efectos dinámicos en Manizales-SISMAN-LISA. Diagnóstico del sistema existente, diseño del sistema, implementación, puesta en funcionamiento y mantenimiento por el periodo del proyecto.

Bogotá D.C., 30 de Mayo de 2015

Señores:

UNIVERSIDAD NACIONAL SEDE MANIZALES

Atn: Samuel Darío Prieto

Ciudad

Ref.: Sistema de instrumentación de efectos dinámicos en Manizales- SISMAN-LISA. Diagnóstico del sistema existente, diseño del sistema, implementación, puesta en funcionamiento y mantenimiento por el periodo del proyecto.

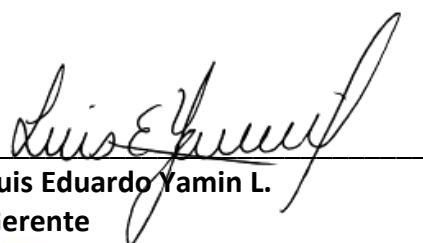
Estimados Señores:

Adjunto a la presente estamos entregando el informe correspondiente al Sistema de instrumentación de efectos dinámicos en Manizales- SISMAN-LISA. Diagnóstico del sistema existente, diseño del sistema, implementación, puesta en funcionamiento y mantenimiento por el periodo del proyecto. El estudio incluye la valoración de la red actual de la ciudad de Manizales y el seguimiento de la instalación de los nuevos acelerógrafos.

Esperamos que este informe cumpla con sus expectativas y quedamos atentos a cualquier aclaración o complementación requerida.

Cordialmente,

INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA – ITEC S.A.S.



Luis Eduardo Yamin L.
Gerente

DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA RED DE ACCELERÓGRAFOS DE MANIZALES

Luis Eduardo Yamin Lacouture

INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

MANIZALES
MAYO DE 2015

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
1 INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	8
2 VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED.....	9
2.1 INSTRUMENTACIÓN EXISTENTE EN MANIZALES	9
2.2 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	13
2.3 ESTADO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA CONTINUIDAD ACTUAL DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	15
2.4 REVISIÓN DE LOS EQUIPOS ACELEROGRÁFICOS Y DIAGNÓSTICO	16
2.4.1 Suministro e instalación de UPS y energía solar	19
3 CONDICIONES DE LA CASETA.....	21
3.1 ESTADO ACTUAL DE LAS CASETAS EXISTENTES.....	21
3.2 MANTENIMIENTO DE CASETAS	25
3.3 AMPLIACIÓN DE LA RED ACELRÓGRAFICA DE LA CIUDAD.....	26
4 SISTEMA ÓPTIMO PARA LA SINCRONIZACIÓN HORARIA PERIÓDICA.....	33
5 SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR.....	34
6 SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS	39
7 INSTALACIÓN DE EQUIPOS ACELEROGRÁFICOS NUEVOS	42
7.1 INSTALACIÓN DE ACELERÓGRAFO EN ROCA	46
8 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	48
9 REFERENCIAS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Ubicación general de las casetas existentes	9
Figura 2-2 Fotografía actual Estación Colonizadores	10
Figura 2-3 Fotografía actual Estación INFI Manizales.....	10
Figura 2-4 Fotografía actual Estación Hospital.....	11
Figura 2-5 Fotografía actual Estación Palogrande.....	11
Figura 2-6 Fotografía actual Estación El Cable	12
Figura 2-7 Fotografía actual Estación Palermo.....	12
Figura 2-8 Fotografía actual Estación UNE-Emtelsa	13
Figura 2-9 Sistema de protección eléctrica para las casetas.....	14
Figura 2-10 Formato de registro del estado actual del acelerógrafo.....	18
Figura 3-1 Ubicación casetas nuevas, casetas existentes y casetas a ampliar.....	27
Figura 3-2 Planos estructurales para construcción de las casetas nuevas.....	29
Figura 3-3 Estación acelerográfica Campus La Nubia.....	30
Figura 3-4 Estación acelerográfica Planta Niza	31
Figura 3-5 Estación acelerográfica Universidad de Manizales	31
Figura 5-1 Panel solar instalado en la estación Palogrande.....	35
Figura 5-2 Panel solar instalado en la estación Palogrande.....	37
Figura 5-3 Componentes necesarios para la instalación del panel solar	38
Figura 6-1 Estructura de funcionamiento de la Red instalada	40
Figura 6-2 Funcionamiento general del sistema de comunicaciones y transmisión de datos para conexión con el SISMAN-LISA.....	41
Figura 7-1 Instalación del BoreHole	46
Figura 8-1 Formato de resultados de los ensayos realizados a) Compresión inconfiada; b) Compresión inconfiada en roca; c) Granulometría; d) Humedad natural, límite líquido y límite plástico	49
Figura 8-2 Formato de resultados de los ensayos realizados a) Triaxial cíclico con deformación controlada; b) Columna resonante; c) Determinación de velocidad de onda de corte (antes de columna resonante); d) Determinación de velocidad de onda de corte (después de columna resonante)	51
Figura 8-3 Perfil estratigráfico	52
Figura 8-4 Variación de la velocidad de onda de corte en profundidad	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Sistema estructural y observaciones puntuales para cada caseta	22
Tabla 7-1 Características y especificaciones de los acelerógrafos instalados en superficie	42
Tabla 7-2 Características y especificaciones de comunicación del equipo	43
Tabla 7-3 Características y especificaciones del acelerógrafo en roca - BoreHole	43
Tabla 7-4 Cantidad de equipos instalados.....	43
Tabla 7-5 Características y especificaciones de los radios y modem	44
Tabla 7-6 Elementos necesarios para la conexión entre estaciones	44
Tabla 7-7 Cantidad de equipos necesarios para la conexión entre estaciones	45
Tabla 8-1 Ensayos estáticos realizados a las muestras recuperadas	48
Tabla 8-2 Ensayos dinámicos realizados a las muestras recuperadas	50

1 INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales y la Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS suscribieron un convenio interinstitucional cuyo objetivo es la “unión de esfuerzos interinstitucionales para desarrollar proyectos de manejo de la información, investigación, monitoreo, capacitación y transferencia tecnológica en temas relacionados con gestión del riesgo, medio ambiente y los recursos naturales renovables en el Departamento de Caldas”, considerando los primeros cuatro aspectos específicos de dicho convenio en relación con a) la problemática de la gestión del riesgo en Manizales; b) el incremento de la sobretasa ambiental con este fin específico; c) programa gestión integral del riesgo en Manizales; y d) la investigación, conocimiento y monitoreo del riesgo; todos aspectos esenciales que exigen el más alto nivel de experticia y conocimiento técnico-científico.

Este proyecto está relacionado específicamente con los aspectos previstos en el “Programa de Gestión Integral del Riesgo de Manizales”, formulado por CORPOCALDAS y el Municipio de Manizales, teniendo en cuenta que su objetivo general es “Mejorar los servicios de la gestión del riesgo en Manizales mediante el fortalecimiento de las políticas, estrategias e instrumentos de identificación del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, articulados a la planificación del desarrollo y al desarrollo sostenible”, y los siguientes objetivos específicos de dicho proyecto:

- a) Profundizar en el estudio y conocimiento sobre amenazas y vulnerabilidades naturales y antrópicas en el municipio de Manizales, como sustento técnico para su incorporación en los procesos de planificación y ordenamiento territorial.
- b) Generar un adecuado manejo de la información relativa a riesgos naturales y antrópicos en la ciudad de Manizales, a través del fortalecimiento de capacidades para la gestión de información y de la consolidación de un sistema de información geográfico sobre riesgos.

El propósito de este componente es aunar esfuerzos para profundizar en el conocimiento sobre las amenazas naturales y socio-naturales y en el grado de vulnerabilidad que presenta la ciudad a las mismas, en sus diferentes dimensiones, para facilitar un adecuado manejo de la información que permita la incorporación de riesgo como determinante en los procesos de planificación y ordenamiento territorial, así como también contar con una apropiada tecnología de sistemas de información que faciliten la comunicación del riesgo en todos los ámbitos.

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo específico de este proyecto consiste en la sistematización y ampliación del Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática de Manizales – LISA y en particular poner a punto la red de acelerógrafos de la ciudad mediante el mantenimiento y reparación de casetas y acelerógrafos superficiales existentes, el complemento con tecnologías GPS para sincronización de tiempos o sistemas equivalentes, la puesta en funcionamiento de 5 nuevas estaciones adquiridas como parte del proyecto al igual que un acelerómetro tipo Bore-Hole en roca profunda y el desarrollo e implementación de sistemas de comunicación y de los sistemas de gestión de datos remotos, incluyendo la comunicación y diseminación de la información generada.

La ciudad contará con una red de acelerógrafos constituida por 12 puntos de instrumentación, uno de ellos con un equipo tipo Bore-Hole, todas ellas interconectadas mediante comunicación por radio frecuencia en interacción desde el centro de control, con sincronizador automático de tiempos y lista para entrar en funcionamiento en coordinación con el software que se desarrolle para este fin.

El presente proyecto, aunque no incluye las siguientes actividades complementarias, estará en el proceso de acompañamiento y coordinación con dichas actividades específicas, las cuales estarán a cargo de la Universidad directamente o de otros contratistas:

- La compra de computadores, equipos de transmisión por radio frecuencia, UPS, antenas y otras.
- La compra de equipos acelerográficos o del equipo tipo Bore-Hole.
- La instalación misma del equipo tipo Bore-Hole.
- La compra de los repuestos de equipos requeridos según el diagnóstico que se realice a las estaciones existentes.
- La construcción de las casetas para la instalación de los acelerógrafos nuevos.
- La realización de las perforaciones y la instalación del equipo tipo Bore-Hole, la toma de muestras durante la perforación y la caracterización de la velocidad de onda de corte en el sitio del sondeo.

2 VERIFICACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED

2.1 INSTRUMENTACIÓN EXISTENTE EN MANIZALES

En la ciudad de Manizales existen en la actualidad 7 casetas construidas para instrumentación sísmica mediante acelerógrafos, en las cuales están instalados un total de 5 acelerógrafos ETNA y 2 acelerógrafos SMA03. Las estaciones acelerográficas existentes se encuentran localizadas en la ciudad de acuerdo en lo que se presenta en la Figura 2-1.

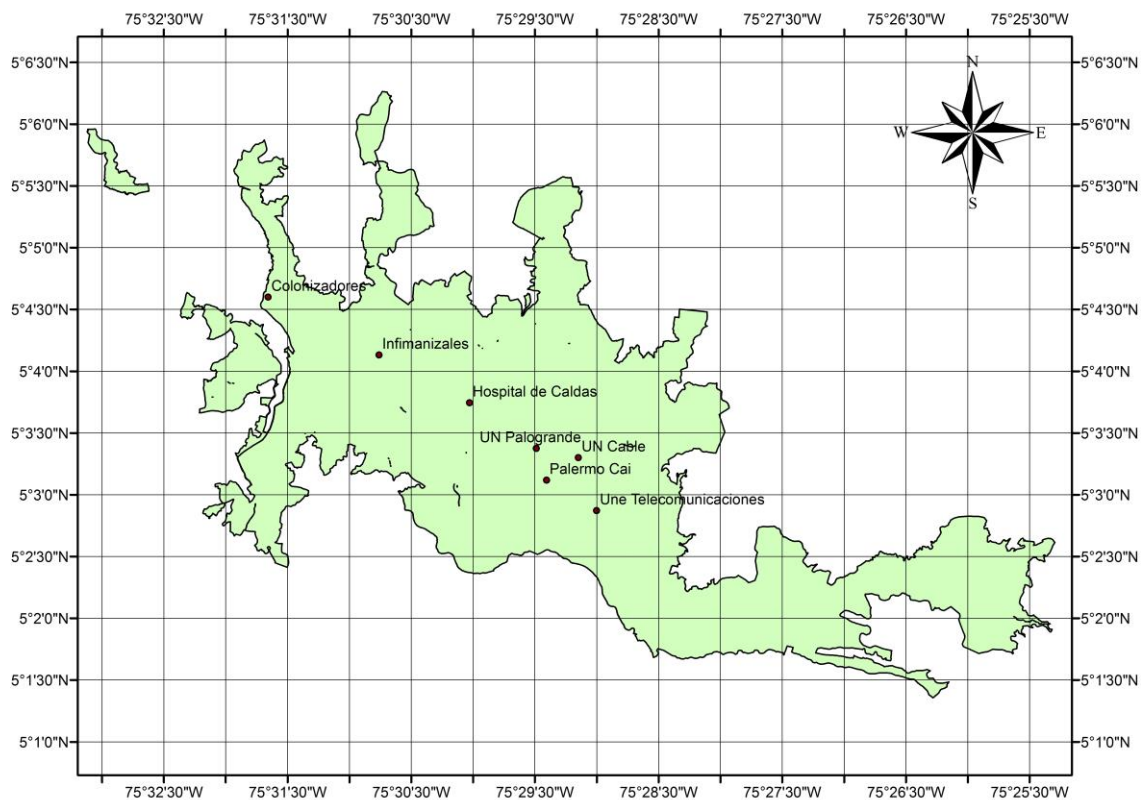


Figura 2-1 Ubicación general de las casetas existentes

A continuación se presenta ubicación y fotografía de las 7 estaciones existentes en la ciudad de Manizales:

1. Estación Colonizadores: en la Avenida 12 de octubre, en el Monumento a los Colonizadores de Chipre (sin equipo actualmente por falla en componente vertical del episensor y la caseta no cuenta con suministro de energía).



Figura 2-2 Fotografía actual Estación Colonizadores

2. Estación INFIMANIZALES: en la Carrera 21 N° 29 – 29, junto al CAI en el parqueadero (acelerógrafo SMA03 de ITEC, sin suministro de energía).



Figura 2-3 Fotografía actual Estación INFI Manizales

3. Estación Hospital: Calle 48 N° 25 – 71, Hospital de Caldas (acelerógrafo ETNA de Kinematics, último mantenimiento en 2010 se encontraba en operación).



Figura 2-4 Fotografía actual Estación Hospital

4. Estación Palogrande: en el Parque Zen del Campus Palogrande de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Carrera 27 N° 64 – 60 (acelerógrafo ETNA de Kinematics, en operación y conectado por RS485 al sistema SISMAN–LISA en el Centro de Computo, actualmente en operación).



Figura 2-5 Fotografía actual Estación Palogrande

5. Estación El Cable: en el edificio nuevo del campus El Cable de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Carrera 23 con Calle 65 (acelerógrafo SMA03 de ITEC, durante último mantenimiento en junio de 2011 se encontraba en operación).



Figura 2-6 Fotografía actual Estación El Cable

6. Estación Palermo: en el Parque de la Calle 68A, junto al CAI de Palermo (acelerógrafo ETNA de Kinemetrics, durante último mantenimiento en 2009 se encontraba en operación).



Figura 2-7 Fotografía actual Estación Palermo

7. Estación UNE: en la Carrera 23 N° 73 – 100, Sede Administrativa de UNE – EPM Telecomunicaciones (acelerógrafo ETNA de Kinemetrics, último mantenimiento en 2009 se encontraba en operación con fallas en el regulador de voltaje).



Figura 2-8 Fotografía actual Estación UNE-Emtelsa

Esta red fue ampliada con tres (3) estaciones nuevas para un total de diez estaciones acelerográficas de las cuales una cuenta con dos equipos, uno instalado en profundidad a nivel de estrato rocoso y el otro instalado a nivel superficial.

2.2 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Actualmente la red acelerográfica compuesta por siete casetas no cuenta con los elementos de protección eléctrica que comprenden una malla externa compuesta por varillas tipo COOPERWELL enterradas en las esquinas del perímetro de las casetas y elementos de protección interna ubicada en la parte superior de las paredes formadas en cables de cobre que se unen a la malla externa para generar el sistema de protección contra descargas eléctricas.

La red fue actualizada con el sistema de protección contra descargas eléctricas para cada caseta de la siguiente manera:

Colocación de cuatro varillas tipo COOPER WELL de 5/8 con una longitud de 1.8 metros enterradas y ubicadas a 40 centímetros de las esquinas, unidas por una malla en cable de cobre No6 enterrada a 15 centímetros. La malla externa se conecta al interior de la caseta con un cable de cobre No6 el cual cuenta con un sistema de malla en la parte superior de los muros de mampostería para garantizar la protección y transmisión eléctrica desde el interior de la caseta al exterior. La Figura 2-9 presenta el esquema de protección contra

descargas eléctricas dispuesto en cada una de las casetas de la red acelerográfica de Manizales.

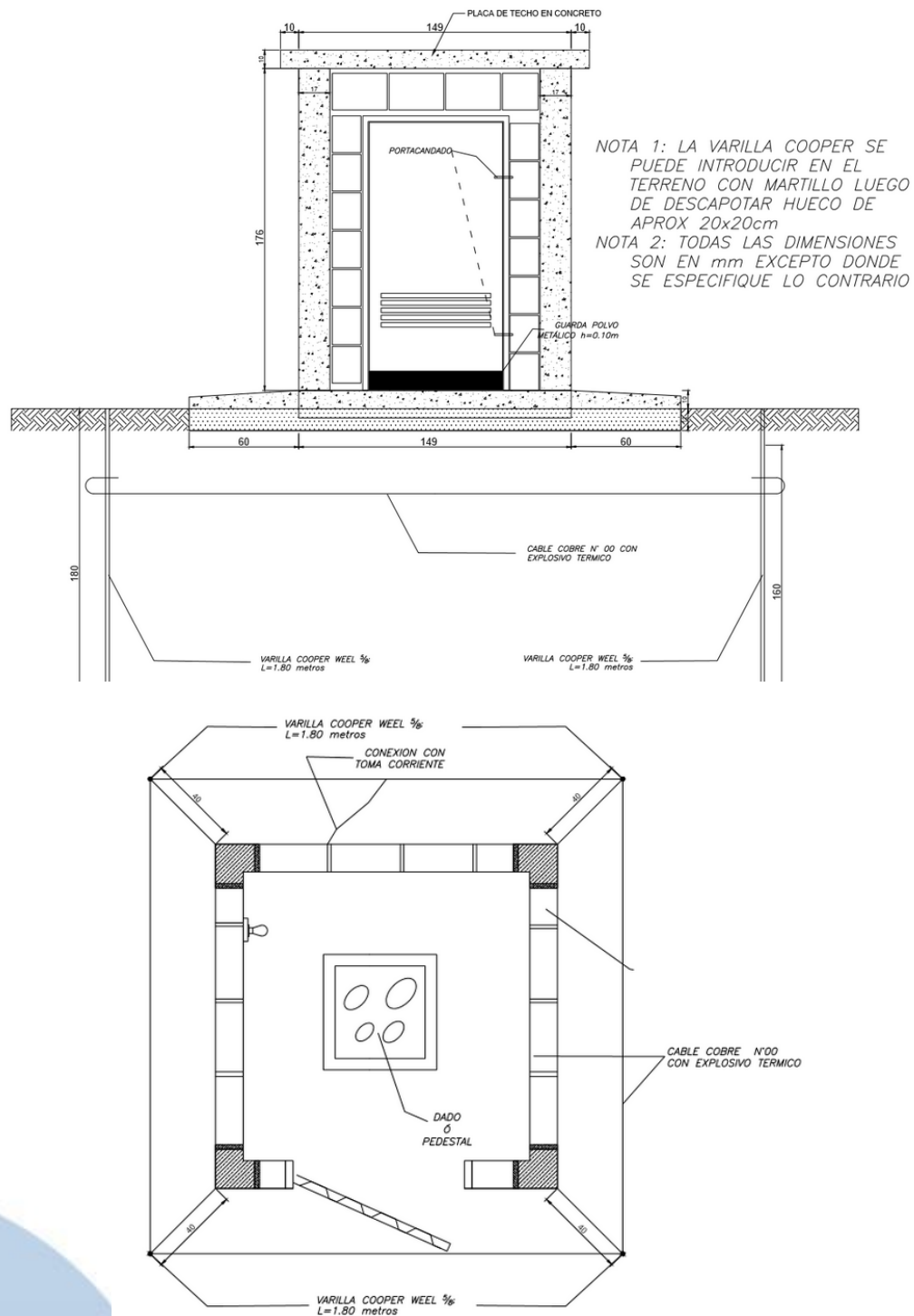


Figura 2-9 Sistema de protección eléctrica para las casetas

2.3 ESTADO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA CONTINUIDAD ACTUAL DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se realizó una visita técnica por parte de un ingeniero especialista en instrumentación y un ingeniero civil y se realizó la verificación del estado de iluminación y la verificación de la continuidad actual del servicio de energía eléctrica. El resultado del estado actual para cada una de las casetas es el que se presenta a continuación:

1. Estación Colonizadores: La caseta cuenta sin punto de conexión a energía externa desde hace más de 6 meses y se ha reportado la rotura de cables de conexión al sistema. Actualmente el punto de conexión de energía al taco más cercano es manipulado por personas ajenas a la universidad y ha permanecido intermitente antes de ser desconectado.

2. Estación INFIMANIZALES: La caseta no cuenta con punto de conexión a energía externa permanente y se han reportado problemas con el funcionamiento del sistema de iluminación. La conexión a energía eléctrica ha sido intermitente durante su funcionamiento. El funcionamiento interno de los tacos y bombillos para el suministro de energía en la caseta está en buenas condiciones. En la caseta se ha hecho revisión y verificación del estado y funcionamiento del equipo por parte de la Universidad Nacional.

3. Estación Hospital: La caseta cuenta con un punto de conexión a energía directamente a la planta del hospital y no se han reportado problemas con el funcionamiento del sistema de iluminación. El funcionamiento interno de los tacos y bombillos para el suministro de energía en la caseta está en buenas condiciones. La caseta es monitoreada y se le hace revisión preventiva a cargo del personal de planeación y la universidad Nacional.

4. Estación Palogrande: La caseta cuenta con punto de conexión a energía externa permanente y no se han reportado problemas con el funcionamiento del sistema de iluminación. El funcionamiento interno de los tacos y bombillos para el suministro de energía en la caseta está en buenas condiciones. En la caseta se ha hecho revisión preventiva de cambio de bombillos y verificación del estado y funcionamiento del equipo por parte de la Universidad Nacional.

5. Estación El Cable: La caseta cuenta con punto de conexión a energía externa permanente y no se han reportado problemas con el funcionamiento del sistema de iluminación. El funcionamiento interno de los tacos y bombillos para el suministro de energía en la caseta está en buenas condiciones. En la caseta se ha hecho revisión preventiva de cambio de bombillos y verificación del estado y funcionamiento del equipo por parte de la Universidad Nacional.

6. Estación Palermo: La caseta cuenta con un punto de conexión a energía directamente a la planta del hospital y no se han reportado problemas con el funcionamiento del sistema de iluminación. El funcionamiento interno de los tacos y bombillos para el suministro de energía en la caseta está en buenas condiciones. La caseta es monitoreada y se le hace revisión preventiva a cargo del Ingeominas y la universidad Nacional.

7. Estación UNE: Actualmente la caseta no cuenta con suministro de energía externo. No se puede hacer la verificación interna de los elementos de suministro (bombillo y acelerógrafo). La caseta es monitoreada periódicamente por la universidad Nacional.

La actualización de la red y diagnóstico de las condiciones actuales del estado de energía eléctrica e iluminación permite garantizar para cada una de las casetas la conexión del suministro de energía eléctrica en diferentes punto con energía permanente y autónoma con son las subestaciones y plantas de energía de edificios colindantes o de las mismas instalaciones en donde aplique.

2.4 REVISIÓN DE LOS EQUIPOS ACELEROGRÁFICOS Y DIAGNÓSTICO

Las visitas técnicas a cargo de Ingeniería Técnica y Científica ITEC –S.A.S. permitieron diagnosticar sobre el estado de los equipos, sus componentes y elementos tanto para el sistema de suministro de energía adicional como para las tarjetas de adquisición y de memoria, cables de poder y estado general interior y exterior de protección.

Se realizó la extracción de los equipos acelerográficos de cada una de las casetas para realizar la revisión y mantenimiento por parte de los especialistas e ingenieros en instrumentación de ITEC y poder conceptualizar y diagnosticar el estado actual de los equipos y sus componentes.

Se realizó la inspección detallada de cada uno de los equipos acelerográficos y los elementos de suministro de energía independiente tales como baterías y conexiones con el equipo técnico de ingenieros especialistas en instrumentación de ITEC y la Universidad de los Andes. Para cada una de los equipos se puede tener un diagnóstico del estado, observaciones y recomendaciones generales como se presentan en el Anexo 1. En la Figura 2-10 se presenta la hoja de vida técnica y física del equipo que muestra el estado actual del software y del equipo sus componentes respectivos.

ESTADO FÍSICO Y REVISIÓN COMPONENTES ACELERÓGRAFO ETNA - PALERMO		ITEC INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS AMBIENTALES	
Modelo: ETNA	Fecha Instalación: Última instalación	04/12/2014	Instalado por: Universidad Nacional
Referencia: 154	Nombre de la Estación: PALE		Ubicación: CAI PALERMO
Descripción del Terreno: No se encuentra Nivelado		Coordenadas: Lat.5.05219N Lon.-75.48931E Elev:2117m	
		Orientación del Equipo: Eje Z	
<p>* Nota: Actividades Adicionales</p> <p>L = Limpieza del Sitio E = Mantenimiento Eléctrico B = Reemplazo Baterías F = Cambio de Fusibles</p>		<p>ACCIÓN CORRECTIVA:</p> <p>MANTENIMIENTO</p>	

Figura 2-10 Formato de registro del estado actual del acelerógrafo

En general se encuentra el siguiente diagnóstico para los equipos de las estaciones acelerográficas:

1. Estación Colonizadores: El equipo no establece comunicación a pesar de que el botón de encendido se prende. Muestra prueba afirmativa al TEST de autodiagnóstico. Se encuentra aparentemente en buen estado y la memoria está llena.
2. Estación Hospital: Equipo aparentemente en buen estado físico. Las funciones técnicas y de adquisición de datos registran de manera correcta. El equipo establece comunicación y permite hacer la extracción de los registros sísmicos registrados. Requiere reemplazo de batería
3. Estación INFI-Manizales: Equipo con aparente estado físico aceptable. Ausencia de batería. Aparentemente la tarjeta de memoria y adquisición se encuentra limpia y en buen estado. No evidencia sobrecarga ni explosión o contacto con el agua, sulfatación o corrosión.
4. Estación UNE-Telecomunicaciones: El equipo aparentemente se encuentra en buen estado físico. Se permite hacer conexión y extracción de los eventos sísmicos

- registrados. Las tarjeta de memoria, visualización y control de carga se encuentran en buen estado. Se encuentra dañada una de las componentes de registro.
5. Estación Palermo: Equipo aparentemente en buen estado físico. Las funciones técnicas y de adquisición de datos registran de manera correcta. El equipo establece comunicación y permite hacer la extracción de los registros sísmicos registrados. Requiere de reemplazo de batería. El equipo es propiedad del Ingeominas.
 6. Estación El Cable: El equipo no establece comunicación a pesar de que el botón de encendido se prende. Muestra prueba afirmativa al TEST de autodiagnóstico. Se encuentra aparentemente en buen estado y la memoria está llena.
 7. Estación Palogrande: Presenta evidencias de sobrecarga, sulfatación y posible explosión de la batería. Sistema de conexión de circuito con la batería desconectada. Sistema de seguridad no Fallo. Fusibles, Tarjeta de visualización y control de carga y Tarjeta de memoria en buen estado. Board presenta evidencia de sulfatación y corto circuito. Tarjeta de alimentación dañada.

Las recomendaciones generales y acciones correctivas de estos equipos corresponden al reemplazo de cuatro de los equipos en los que se utilizan las componentes y partes que no se encuentren comprometidas para garantizar el funcionamiento de al menos un acelerógrafo marca ETNA. Se recomienda el reemplazo de las baterías para los equipos que se encuentren funcionando actualmente y revisiones periódicas de mantenimiento de limpieza y ajustes de tarjeta por parte de un técnico eléctrico o un ingeniero en instrumentación.

2.4.1 Suministro e instalación de UPS y energía solar

Para garantizar el suministro de energía permanente en cada una de las casetas que hacen parte de la red acelerográfica de Manizales, se recomienda la instalación de paneles que suministren energía solar con el fin de garantizar la puesta a punta de cada una de las casetas.

La instalación de paneles solares permite solventar problemas tales como la desconexión con el punto de energía o roturas en el sistema eléctrico bajo tierra, específicamente con la acometida. El permiso y funcionamiento intermitente de electricidad por el mínimo control que se tiene cuando son equipos electrodependientes con instituciones o edificaciones cercanas.

El presente estudio pretende instalar al menos un panel solar que garantice el suministro independiente de energía y diagnosticar y conceptuar al respecto acerca de las ventajas de implementación de paneles solares en cada una de las estaciones en términos económicos, técnicos, de servicio, seguridad y beneficio para el sistema y la red

acelerográfica de la ciudad. La instalación del panel solar se llevará a cabo en la estación de la universidad Nacional en Palogrande debido a la ubicación, seguridad y control periódico de fácil acceso para visitas futuras.



3 CONDICIONES DE LA CASETA

Actualmente la red acelerográfica cuenta con siete casetas dispuestas para salvaguardar los equipos acelerográficos de la red que permitan registrar los eventos de origen sísmico en el entorno Colombiano y alrededores. El estado actual de las casetas con base en la inspección técnica detallada por un grupo de ingenieros competentes permite diagnosticar y conceptualizar el estado con el fin de generar las conclusiones y recomendaciones en cada sitio.

Por esta razón y de acuerdo a los estudios que se vienen adelantando en la ciudad de Manizales en el presente proyecto, se busca la ampliación del Laboratorio de Instrumentación Sísmica Automática de Manizales – LISA y en particular poner a punto la red de acelerógrafos de la ciudad mediante el mantenimiento y reparación de casetas y acelerógrafos superficiales existentes, el complemento con tecnologías GPS para sincronización de tiempos o sistemas equivalentes, la puesta en funcionamiento de 3 nuevas estaciones adquiridas como parte del proyecto al igual que un acelerómetro tipo Bore-Hole en roca profunda y el desarrollo e implementación de sistemas de comunicación y de los sistemas de gestión de datos remotos, incluyendo la comunicación y diseminación de la información generada.

Se presenta entonces el estado actual de cada una de las casetas existentes y se incluyen las actividades de mantenimiento de las mismas. De igual manera se presenta la ampliación de la red con 3 casetas nuevas y la puesta en funcionamiento a punto.




3.1 ESTADO ACTUAL DE LAS CASETAS EXISTENTES


La inspección y visita técnica permite diagnosticar lo siguiente sobre el estado actual de las casetas acelerográficas.

En general las casetas presentan problemas de limpieza debidas a polvo. La ausencia de guardapolvos permite el ingreso de insectos y demás animales pequeños a la caseta. Las casetas no se encuentran impermeabilizadas al exterior y cuentan con problemas de ventilación dada la humedad que se presenta en las paredes de los muros. El sistema estructural y observaciones puntuales de cada caseta es el que se resumen en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Sistema estructural y observaciones puntuales para cada caseta

Id	Estación	Coordenadas		Dirección	Equipo	Sistema Estructural	Foto	Observaciones ITEC
		Latitud	Longitud					
1	Hospital de Caldas	5°03'33.7"	-75°30'12.3"	Clle 48 N° 25 - 71	Existente	Muros de mampostería no confinada		Requiere de Limpieza, Guardapolvo, Humedad pared. Requiere control de agua en la parte trasera. Energía OK, Falta de Desagüe, Ventilación. Cuenta con Equipo ETNA funcionando
2	INFI-Manizales	5°04'17.3"	-75°30'57.6"	Cra 22 N° 18 - 09	Sin Equipo	Muros de mampostería confinada		Actualmente se encuentra sin energía. Requiere adecuar el sistema de polo a tierra. Problemas de humedad, salpicadura. Requiere de Guardapolvo Metálico, Ventilación. Estación escogida para la instalación de Bore-Hole. Caseta con ampliación para salvaguardar Bore-Hole.
3	UNE-Telecomunicaciones	5°03'02.6"	-75°29'12.1"	Cra 23 N° 73 - 100	Sin Equipo	Muros de mampostería confinada		Dificultad de acceso, Mala ventilación, Mucha humedad. La caseta cuenta con buena energía. Requiere Impermeabilización debido a problemas de humedad detectados.

Id	Estación	Coordenadas		Dirección	Equipo	Sistema Estructural	Foto	Observaciones ITEC
		Latitud	Longitud					
4	Parque Palermo	5°03'17"	-75°29'36.4"	Clle 19 N° 21 - 44	Existente propiedad de la RNA	Muros de mampostería confinada		Se encuentra ubicado en una zona dura. Requiere Eliminar vegetación, Acelerógrafo correspondiente SGC. Requiere adecuar el perímetro para evitar empozamiento de las aguas lluvias.
5	Parque Monumento a los Colonizadores	5°04'46.5"	-75°31'51.5"	Clle 19 N° 21 - 44	Sin Equipo	Muros de mampostería confinada		Esta sin energía, Requiere conexión anti-corte. Tiene vegetación alrededor. Tiene problemas avanzados de Erosión y Socavación del suelo. Presencia de capa vegetal en la losa de cubierta. Requiere Limpieza e impermeabilización. No cuenta con energía actualmente.
6	Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Campus El Cable	5°03'28.8"	-75°29'20.6"	Avenida Santander con avenida Lindsay	Existente	Muros de concreto reforzado		Caseta OK, Tamaño Pequeña, Contiene acelerógrafo ITEC. Requiere de limpieza y mantenimiento general.

Id	Estación	Coordenadas		Dirección	Equipo	Sistema Estructural	Foto	Observaciones ITEC
		Latitud	Longitud					
7	Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Campus Palogrande	5°03'27.6"	-75°29'20.2"	Cra 27 N° 64 - 60	Existente	Muros de concreto reforzado		Caseta OK. Corresponde a la estación central. Vegetación a su alrededor. Requiere remoción de la capa vegetal en la parte superior para instalación de panel solar. Requiere de limpieza y mantenimiento general.

La disposición de los planos estructurales que se utilizaron para el mantenimiento y puesta en funcionamiento de las casetas existentes que salvaguardan los acelerógrafos se encuentran en el Anexo 2.

3.2 MANTENIMIENTO DE CASETAS

El mantenimiento de las casetas existentes tuvo en cuenta las siguientes actividades que fueron controladas bajo presupuesto y tiempos de ejecución a cargo de la supervisión de la universidad Nacional e ITEC mediante la inclusión de un ingeniero residente competente.

Las actividades de mantenimiento se realizaron simultáneamente con las actividades de construcción de casetas nuevas

1. Adecuación de Puertas:

- Pulir
- Colocar imprimante
- Pintar
- Incluir guardapolvos en las puertas
- Malla tipo mosquitero en la celosía de la puerta

2. Reemplazo de candados.

3. Limpieza y adecuación de Salpicaduras. Adecuación para corta goteras.

4. Inclusión de rejillas para Ventilación.

5. Limpieza general en el interior.

6. Impermeabilizar.

7. Revocar los muros de mampostería.

8. Adecuación y/o inclusión del sistema contra descargas eléctricas.

9. Para el caso de INFIMANIZALES se requirió:

- Ampliación de la caseta para salvaguardar el acelerómetro enterrado a nivel de roca.
- Aseguramiento de perforaciones con muros de concreto y tapas de acero tipo acueducto.

Las recomendaciones generales de mantenimiento y puesta en funcionamiento de las casetas a punto son las siguientes:

1. Colocar Estantería metálica con un formato de inspección del acelerógrafo que quede en la caseta en una bolsa para protección contra humedad.
2. Incluir silla portátil.
3. Incluir escoba.
4. Revisión periódica trimestral del estado actual de las casetas de la red acelerográfica de Manizales por parte de la Universidad Nacional.

3.3 AMPLIACIÓN DE LA RED ACELRÓGRAFICA DE LA CIUDAD

La puesta a punta permite actualizar tecnológicamente los equipos acelerográficos que realizan el registro de los eventos sísmicos con sistemas de información recientes y complementación con tecnologías GPS, antenas y radios para sincronizar tiempos y garantizar una comunicación centralizada. Para ello la Universidad Nacional decidió instrumentar con tecnología de punta la totalidad de las casetas existentes con equipos acelerográficos nuevos de la marca REFTEK en superficie y la inclusión de tres nuevos acelerógrafos que permitan tener un mejor cubrimiento de los registros en el perímetro urbano de la ciudad. Por tal razón se puso en marcha el proyecto de ampliación y construcción de tres casetas nuevas y la ampliación de una caseta existente para salvaguardar tres de los acelerógrafos nuevos y otro más que fue instalado en roca profunda que se ubican como se presenta en la Figura 3-1.

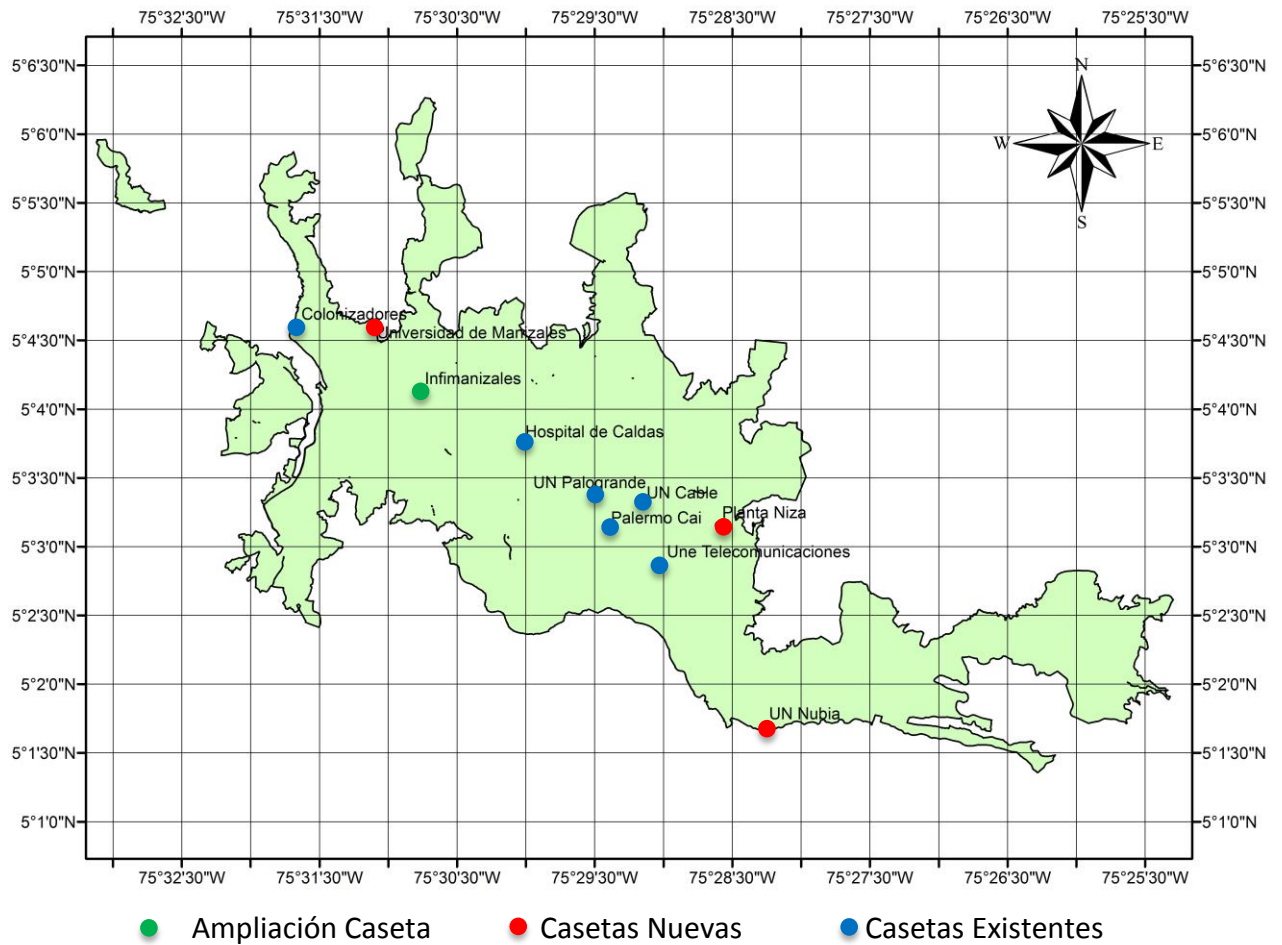


Figura 3-1 Ubicación casetas nuevas, casetas existentes y casetas a ampliar

La construcción de las casetas nuevas tuvo en cuenta las siguientes actividades que fueron controladas bajo presupuesto y tiempos de ejecución a cargo de la supervisión de la Universidad Nacional e ITEC mediante la inclusión de un ingeniero residente competente.

1. Descapote y retiro del mismo
2. Nivelación del terreno
3. Excavación en tierra
4. Afirmado compactado
5. Instalación de tubería PVC sanitaria 2" con accesorios (para desagüe y bajante)
6. Instalación de rejilla PVC sanitaria 2" para desagüe
7. Instalación de canal tipo estándar en PVC con soportes cada 0.50 m
8. Instalación de rejilla PVC sanitaria 4" para ventilación
9. Construcción de muro en ladrillo farol (e=0,12 m)

10. Construcción de placa base en concreto reforzado impermeabilizado y afinado ($e=0.12$ m, $f'c=210$ kg/cm², plastificante tipo pastocreto o similar)
11. Construcción de columna de concreto 0.15x0.15 ($f'c=210$ kg/cm²)
12. Construcción de dado en concreto reforzado ($f'c=210$ kg/cm²)
13. Construcción de placa de techo en concreto reforzado impermeabilizado y afinado ($e=0.10$ m, $f'c=210$ kg/cm², plastificante tipo pastocreto o similar)
14. Construcción de andén en concreto de ($f'c=210$ kg/cm²).
15. Pañete liso exterior impermeabilizado ($e=0.03$ m, $h=0.45$ m)
16. Colocación de acero longitudinal para columnas, placas de techo y base ($f_y=4200$ kg/cm²), varilla corrugada.
17. Colocación de acero para flejes en columnas de 0.15x0.15m ($f_y=4200$ kg/cm²), varilla corrugada, $f 3/8"$
18. INSTALACIÓN de ductos, 1 toma corriente doble, 1 interruptor sencillo, 1 plafón, 1 bombillo, 1 caja de 2 tacos de 18 A.
19. Construcción de 1 caja de inspección externa en concreto de 0.50 m X 0.50 m x 0.90 m (incluye tapa en concreto con refuerzo)
20. Instalación de línea a tierra
21. Instalación de 1 corta picos, 1 regulador de voltaje 18a
22. Instalación cable antifraude calibre 8 con tubería PVC para acometida principal (diámetro= 1")
23. Reconexión de la línea de energía
24. Suministro e instalación de puerta metálica cold rolled con celosía (calibre 18) de 0,70 m x 1,70 m (incluye marco $e=0.12$ m, chapa cerradura, porta candado arriba y abajo, guardapolvo metálico soldado)
25. Pintura puerta, marco y nave completa
26. Compra candado
27. Relleno impermeabilizante (para juntas), tipo sikaflex (0.01x0.02 m)

Las tres casetas nuevas se construyeron en un periodo de dos meses en conjunto con las actividades de mantenimiento de las demás casetas de la red. El resultado de la construcción de cada una de las casetas con base en los planos estructurales que se presentan en la Figura 3-2 es el siguiente:

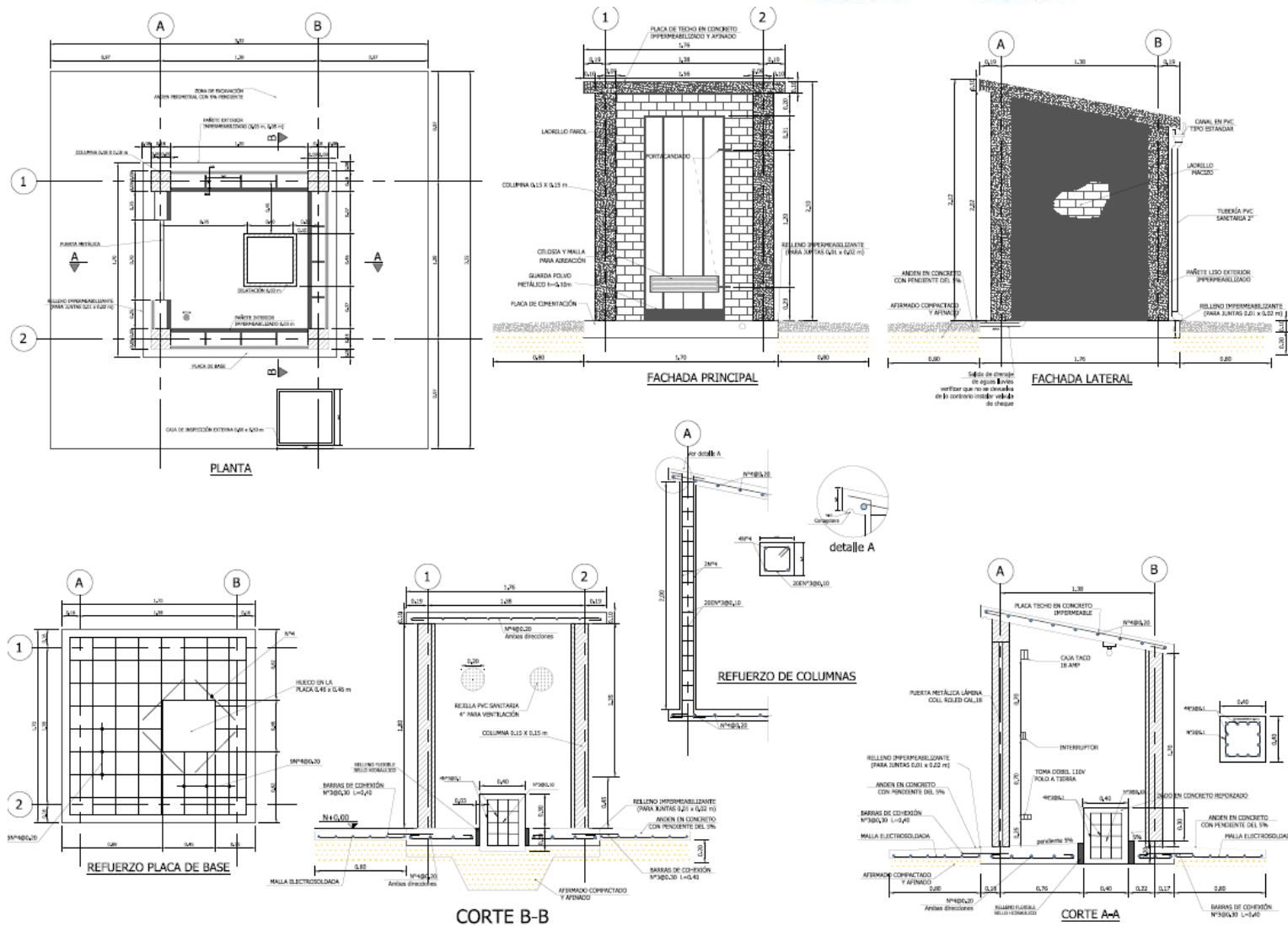


Figura 3-2 Planos estructurales para construcción de las casetas nuevas

1. Caseta La Nubia: Se ubica en los predios de la universidad Nacional sede Manizales en el campus La Nubia Carrera 27#64-60 junto al aeropuerto de la ciudad. Cuenta con una toma eléctrica a una subestación de energía a menos de 50 metros de distancia. No tiene edificios que interfieran con la transmisión de las señales de antenas y GPS al centro de control. El estado actual de la caseta después de la construcción se presenta en la Figura 3-3.



Figura 3-3 Estación acelerográfica Campus La Nubia

2. Caseta Planta Niza: Se ubica en los predios de la planta de tratamiento de Niza en la Avenida Kevin Angel No 59-181. Se encuentra ubicada en la parte más alta de la planta a distancias mayores de 50 metros de los tanques de almacenamiento de agua y las tuberías. No tiene edificios que interfieran con la transmisión de las señales de antenas y GPS al centro de control. El estado actual de la caseta después de la construcción se presenta en la Figura 3-4.



Figura 3-4 Estación acelerográfica Planta Niza

3. Caseta Universidad de Manizales: Se ubica en los predios de la universidad de Manizales en la Cra 9 No 19-03. Se encuentra ubicada en un sector de grandes pendientes y arboles a su alrededor. No tiene edificios que interfieran con la transmisión de las señales de antenas y GPS al centro de control pero cuenta con la presencia de árboles cercanos a la construcción. El estado actual de la caseta después de la construcción se presenta en la Figura 3-5.



Figura 3-5 Estación acelerográfica Universidad de Manizales

La disposición de los planos estructurales que se utilizaron para la construcción y puesta en funcionamiento de las casetas que salvaguardan los acelerógrafos se encuentran en el Anexo 3.

4 SISTEMA ÓPTIMO PARA LA SINCRONIZACIÓN HORARIA PERIÓDICA

Los sistemas de reloj interno (sin sincronización con GPS) de las estaciones acelerográficas llegan a tener una precisión del orden 0.1 ppm, lo que equivale aprox. a una desviación de 2 seg por año como máximo (valor dependiente de la temperatura de funcionamiento). La inclusión del sistema de GPS por estación permite la sincronización continua del temporizador interno, pero implica un gasto importante, pues la ubicación geográfica de la estación puede ser realizada solo una vez al momento de la instalación.

Como alternativa para disminuir al mínimo la incertidumbre de temporización y los costos fijos del proyecto, y teniendo en cuenta la conexión entre el computador principal con las estaciones acelerográficas, se utiliza la actualización vía internet del computador principal y actualización por la red en las estaciones acelerográficas. Existen en internet servicios que ofrecen la actualización del reloj del sistema con base en relojes atómicos como: "<http://time.windows.com/time.windows.com>", una vez el sistema maestro este actualizado, se procede a actualizar cada una de las estaciones por medio de la red. Este proceso se realizaría periódicamente para disminuir al mínimo el posible error en la hora de las estaciones.

En caso de falla de internet se pueden usar el acceso mediante la red celular. Para ello usando la conexión de un modem celular (GSM) en la estación central con el objetivo de tener un camino directo de envío de alertas (SMS o llamada celular) y un método alternativo de conexión a Internet (Conexión redundante). Los modem GSM son muy confiables, de bajo costo y alta velocidad de transmisión de datos, pero generan un gasto fijo por uso de red y dependen de la confiabilidad de la misma a la cual se encuentran inscritos.

5 SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR

Con el propósito de brindar un respaldo en el suministro de energía eléctrica a los equipos instalados en las casetas, se realizó la instalación de un panel solar en la Estación Palogrande. El objetivo es poder proveer energía al equipo en caso que se presenten interrupciones en el servicio de la red eléctrica encargada de suministrar energía.

El panel instalado con marca Yingli Green Energy (NYSE: YGE) corresponde a la empresa de los mayores fabricantes fotovoltaicos verticalmente integrado, que comercializa sus productos bajo la marca “Yingli Solar”. El rendimiento del panel cuenta con Células solares multicristalinas de alta eficiencia y un vidrio texturizado de alta transmitancia que permiten alcanzar una eficiencia del módulo de hasta el 16,2% lo que minimiza los costos de instalación y maximiza la producción energética del sistema por unidad de superficie.

El panel solar maneja una tolerancia positiva ajustada de 0W a +5W asegurando una potencia en los módulos igual o superior a la nominal, contribuyendo a su vez a minimizar las pérdidas por dispersión de parámetros y a mejorar el rendimiento del sistema.

El panel solar ha demostrado una alta clasificación en las pruebas de rendimiento realizadas por TÜV “TÜV Rheinland Energy Yield Test” y en el “Photon Test” demostrando un alto rendimiento y una producción anual elevada.

En general el panel:

- Cumplen completamente con los certificados y normativas vigentes.
- Soportan cargas de viento de hasta 2,4kPa y cargas de nieve de hasta 5,4kPa, confirmando así su estabilidad mecánica.
- Resisten satisfactoriamente la exposición a niebla salina en su punto más severo y en ambientes con alto contenido de amoníaco, asegurando así el rendimiento en condiciones adversas.

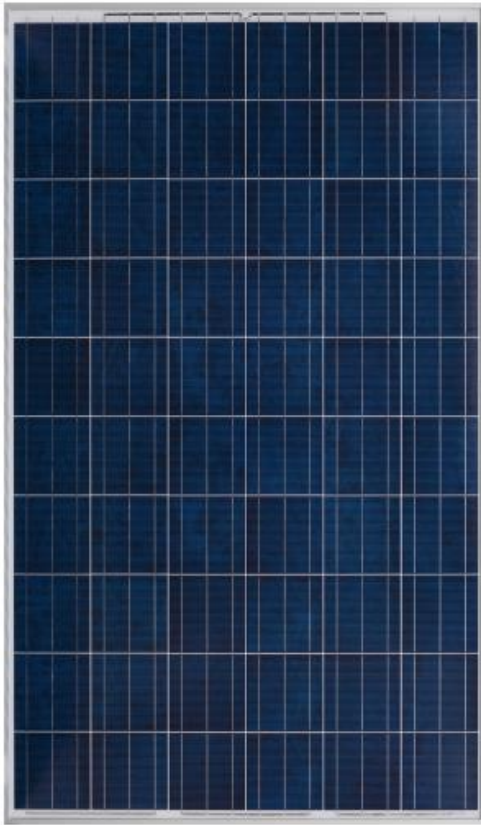


Figura 5-1 Panel solar instalado en la estación Palogrande

Las características de operación del panel solar se presentan a continuación:



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parámetros eléctricos para STC

Tipo de Módulo	YLxxxP-29b (xxx=P _{max})						
Potencia de salida	P _{max}	W	260	255	250	245	240
Tolerancia	ΔP _{max}	W	0 / +5				
Eficiencia del módulo	η _m	%	15,9	15,6	15,3	15,0	14,7
Tensión en P _{max}	V _{mpp}	V	30,3	30,0	29,8	29,6	29,3
Intensidad en P _{max}	I _{mpp}	A	8,59	8,49	8,39	8,28	8,18
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	37,7	37,7	37,6	37,5	37,5
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	9,09	9,01	8,92	8,83	8,75

STC: 1000 W/m² Irradiancia, 25°C Tmódulo, AM1,5 distribución espectral según EN 60904-3
Reducción media de la eficiencia relativa de 5% a 200 W/m² según EN 60904-1

Parámetros Eléctricos en Temperatura de Operación Nominal de la Célula(TONC)

Potencia de salida	P _{max}	W	189,7	186,0	182,4	178,7	175,1
Tensión en P _{max}	V _{mpp}	V	27,6	27,4	27,2	27,0	26,8
Intensidad en P _{max}	I _{mpp}	A	6,87	6,79	6,71	6,62	6,54
Tensión en circuito abierto	V _{oc}	V	34,8	34,8	34,7	34,6	34,6
Intensidad en cortocircuito	I _{sc}	A	7,35	7,28	7,21	7,14	7,07

TONC: Temperatura en circuito abierto del módulo a 800W/m² de Irradiancia, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura de Operación Nominal de la Célula	TONC	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P _{max}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V _{oc}	β _{Voc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I _{sc}	α _{Isc}	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para V _{mpp}	β _{Vmpp}	%/°C	-0,42

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Máxima tensión del sistema	1000V _{DC}
Valor máximo del fusible en serie	15A
Limitación de corriente inversa	15A
Rango de temperaturas de funcionamiento	-40°C hasta 85°C
Máxima carga estática frontal (nieve)	5400Pa
Máxima carga estática posterior (viento)	2400Pa
Max. impacto por granizo (diámetro / velocidad)	25mm / 23m/s

MATERIALES

Cubierta frontal (material / espesor)	Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3,2 mm
Célula solar (cantidad / tipo / dimensiones / Número de Busbars)	60 / silicio multicristalino / 156 x156 mm / 2 ó 3
Encapsulante (material)	Etilvinilacetato (EVA)
Marco (material / color / color del anodizado / sellado del marco)	Aluminio anodizado / plata / claro / material de sellado
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65
Cable (longitud / sección)	1100mm / 4mm ²
Conector (tipo / grado de protección)	MC4 / IP67 o YT08-1 / IP67 o Amphenol H4 / IP68

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Dimensiones (longitud / anchura / profundidad)	1650mm / 990mm / 40mm
Peso	18,5kg

ESPECIFICACIONES DEL EMBALAJE

Número de módulos por palé	26
Número de palés por contenedor (40')	28
Dimensiones del Embalaje (longitud / anchura / profundidad)	1710mm / 1160mm / 1178mm
Peso del palé	514kg

Unidades: mm

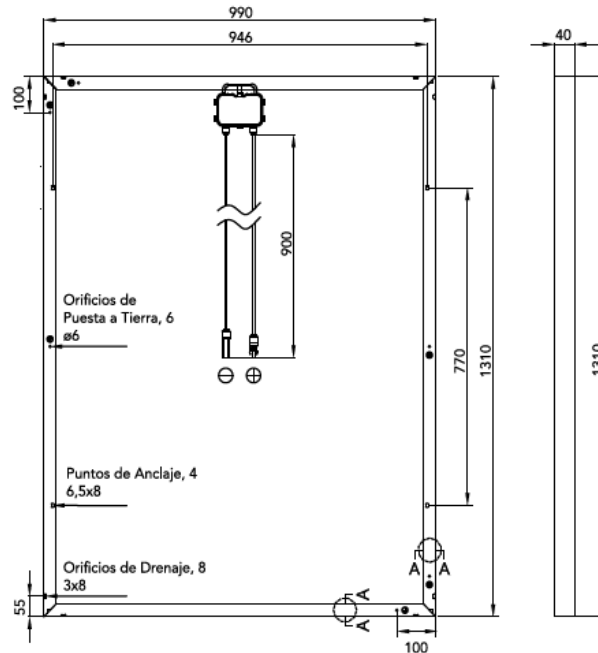


Figura 5-2 Panel solar instalado en la estación Palogrande

El panel está compuesto por los siguientes elementos que se presentan en la Figura 5-3 y fueron instalados para la puesta en funcionamiento del mismo.

1. Panel Solar 255 W a 24V monocristalino
2. Batería Mtek 12 Voltios de 205 Amperios.
3. Inversor DC-AC de 350W/24VDC pura victrom Phoenix nema 5-15R
4. Controlador PWM 10 A-12VDC/24VDC phocos CXN10-1.1


ITEM	IMAGEN	DESCRIPCION
1		Panel 255W a 24V monocristalino
2		Bateria mtek 12V 205 Amp
3		Inversor DC-AC 350W/24VDC pura victrom Phoenix nema 5-15R
4		Controlador PWM 10A-12VDC/24VDC phocos CXN10-1.1

Figura 5-3 Componentes necesarios para la instalación del panel solar

Las especificaciones técnicas del panel solar suministradas por el fabricante se encuentran en el Anexo 4.

6 SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS

El sistema de comunicación para transmisión de datos se desarrolla para garantizar la adquisición y registro de los datos en un centro de control para el sistema de información sísmica de Manizales y realiza procesamientos para la estimación automática de daños tras la ocurrencia de un terremoto.

El sistema de comunicación para transmisión de datos, dentro de su concepción, realizará las siguientes tareas:

- a) Monitoreo de movimiento fuerte mediante la red de acelerógrafos instalados los cuales disparan procedimientos de registro en cuanto un umbral de aceleración sísmica es superado. Los registros almacenados permanecen momentáneamente dentro de la memoria del equipo.
- b) Transmisión periódica de toda la información almacenada en los equipos de la red a la base de datos central del SISMAN-LISA, en la cual son pre procesados y almacenados para después ser publicados.
- c) Publicación de toda la información registrada por la red en un portal particular destinado a la divulgación de esta información con fines de conocimiento científico y de ingeniería.
- d) El sistema cuenta con una estación central de registro, conectada por medio de cable físico serial al sistema de cómputo central, y en la cual se registrarán los eventos base del procesamiento de daños post-terremoto. Una vez registrado un evento, el sistema dispara procesos de estimación de la sacudida en toda la ciudad en términos de medidas de movimiento fuerte con sentido físico y de ingeniería, y así mismo la estimación de los daños predio por predio en toda la ciudad.
- e) La estimación de daños es calculada en unos pocos minutos y enviada por correo electrónico y mensaje celular a usuarios clave y personas encargadas de la respuesta a la emergencia.
- f) La plataforma SIRMAN centraliza toda la información obtenida y generada por las redes de medición mencionadas anteriormente, y presenta al usuario la información de la forma en que se requiere para apoyar la gestión del riesgo de desastres.

La red implementada tuvo en cuenta la instalación de un computador central conectado a un modem de radio frecuencia y un puerto dedicado del tipo RS485 (para el caso de Palogrande en el que se cuenta la estación principal con un acelerógrafo cercano). La estación central está encargada de mantener la comunicación en tiempo real del

acelerógrafo usado como estación de disparo y análisis, y una comunicación conmutada, periódica con cada una de las estaciones remotas.

Dependiendo del estudio de intensidad de señal se instalaron en puntos intermedios repetidoras y se usan algunas de las estaciones acelerográficas como nodo de comunicación y repetidora simultáneamente. En la Figura 6-1 se muestra un esquema de funcionamiento de la red, los elementos encerrados en líneas punteadas indican que son alternativas que debe ser seleccionadas una de acuerdo a la ubicación de la estación de disparo. La gráfica muestra tres tipos diferentes de equipos mostrando la interconexión de diferentes equipos en una misma red y por lo tanto es posible usar cualquier tipo de equipo como estación de disparo.

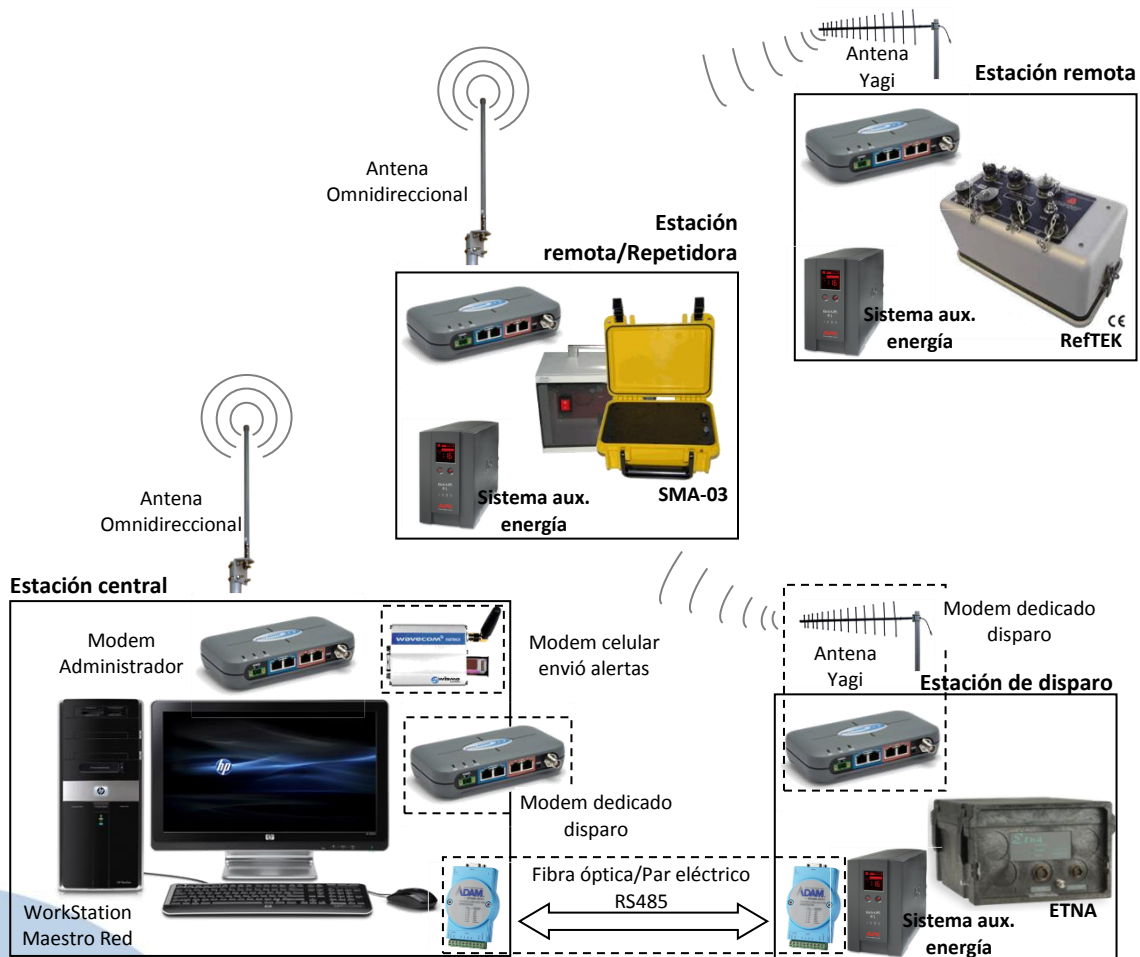


Figura 6-1 Estructura de funcionamiento de la Red instalada

La forma general cómo el sistema de comunicaciones para transmisión de datos y posterior alimentación al sistema de información sísmica de Manizales funciona, se presenta en la Figura 6-2.

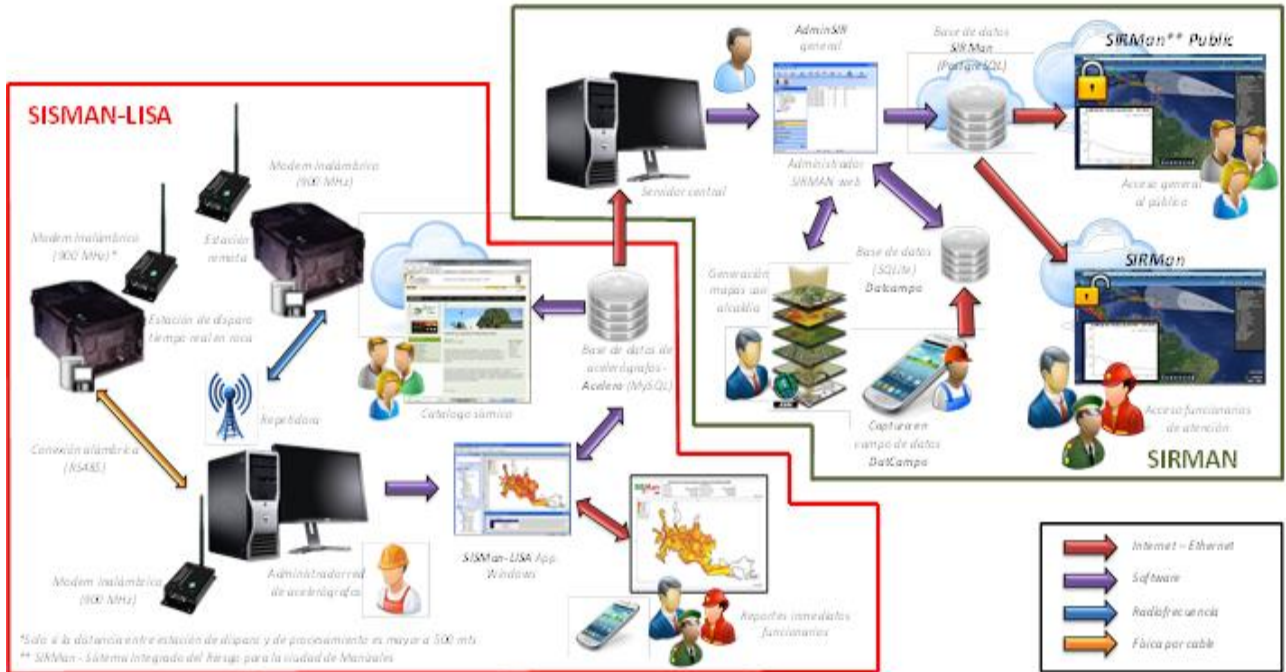


Figura 6-2 Funcionamiento general del sistema de comunicaciones y transmisión de datos para conexión con el SISMAN-LISA

Ventajas que permite el registro y transmisión de la información es que en procesamientos siguientes el sistema es capaz de interactuar hasta cierto punto con sistemas de evaluación del riesgo.

7 INSTALACIÓN DE EQUIPOS ACELEROGRÁFICOS NUEVOS

La ampliación de la red a manera de garantizar el registro sísmico en todas las zonas de la ciudad permitió la instalación de tres acelerógrafos en superficie y uno en profundidad sobre roca adicionales, ubicados en el perímetro urbano que permitieran la puesta en funcionamiento a punta de la red.

Los equipos adicionales que fueron instalados para el cubrimiento de la red acelerográfica de Manizales constan de lo siguiente:

- Acelerógrafos de superficie de 3 canales
- Sensor tipo Borehole
- Acelerógrafo de superficie con 6 canales para permitir entrada del Borehole
- Radios de comunicación para la comunicación inalámbrica entre estaciones
- Sistema de protección de las estaciones

Las características y especificaciones del acelerógrafo de superficie se presentan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1 Características y especificaciones de los acelerógrafos instalados en superficie

Id	Característica del Sensor	Valores mínimos
1	Número de direcciones de medición	3 Ortogonales
2	Amplitud máxima de registro	$\pm 1 \text{ G } (\pm 9.81 \text{ m/s}^2)$
3	Ancho de banda mínima de medición (Frecuencia natural)	50 Hz
4	Amortiguamiento crítico	70%
5	Rango dinámico [SNR = $20 \cdot \ln(\text{Amp. Máxima/Noise Floor})$]	135 dB
7	Sistema de verificación de funcionamiento y calibración	Existente
Características electrónicas digitalizador		
8	Frecuencia de muestreo	100 sps
9	Rango dinámico [SNR = $20 \cdot \ln(\text{Amp. Máxima/Noise Floor})$]	100 dB
10	Resolución del convertor Análogo Digital	18 Bits
11	Ruido electrónico	1 Bit
12	Sistema de verificación de funcionamiento y calibración	Existente
13	Temporizador (hora del sistema)	Reloj interno de alta precisión con sincronización externa o GPS
14	Capacidad de memoria para almacenamiento de registros	30 eventos de 60 seg en estado solido
Características de software		
15	Configuración de niveles de trigger/detrigger	Por cada canal
16	Software de configuración y descarga	Aplicación Windows
17	Formato de descarga archivos	ASCII

Las características y especificaciones de comunicación del equipo son las que se presentan en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2 Características y especificaciones de comunicación del equipo

Id	Característica	Valores mínimos
1	Tipo de puerto de comunicación	RS232 o compatible
2	Método de configuración y envío de comandos	Responsorial por comandos ASCII
3	Velocidad de comunicación	19.2 KBaudios
4	Transmisión de aceleraciones en tiempo real	Disponible a frecuencia mínima de 100 sps de tres canales
5	Manual del usuario con comandos de configuración	Existente

Las características y especificaciones del acelerógrafo enterrado sobre roca se presentan en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3 Características y especificaciones del acelerógrafo en roca - BoreHole

Id	Característica del Sensor	Valores mínimos
1	Número de direcciones de medición	3 Ortogonales
2	Amplitud máxima de registro	$\pm 3 G$ ($\pm 29.43 m/s^2$)
3	Ancho de banda mínima de medición (Frecuencia natural)	50 Hz
4	Amortiguamiento crítico	70%
5	Rango dinámico [SNR = $20 * \ln(\text{Amp. Máxima}/\text{Noise Floor})$]	130 dB
6	Sistema de verificación de funcionamiento y calibración	Existente
7	Sensibilidad transversal	1% g/g
8	Sistema de orientación	Orientación por compas interno
9	Resolución del compas	$\pm 0.1^\circ$
10	Sensibilidad del compas	$\pm 0.5^\circ$
11	Diámetro máximo del sensor	3 in (76 mm)
12	Material	Acero Inoxidable
13	Profundidad de instalación (nivel de impermeabilización y longitud de cable)	700 ft (213 m)

La cantidad de equipos instalados para la puesta a punta de la red acelerográfica de la ciudad se presenta en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4 Cantidad de equipos instalados

Estación	Equipos	Cantidad
Bore-Hole	Sensor Bore-Hole	1
Estación acelerográfica	Sensor externo de superficie + digitalizador de 6 canales o	1

Estación	Equipos	Cantidad
de superficie Bore-Hole	Unidad acelerográfica con sensor interno + entrada externa al digitalizador para 3 canales.	
Estación acelerográfica	Sensor de superficie + Digitalizador de 3 Canales (Instalados en una única unidad)	4

Las características y especificaciones de los radios y modem de comunicación inalámbrica instalados se presentan Tabla 7-4 con el fin de garantizar la conexión entre las estaciones acelerográficas y la estación central de la red.

Tabla 7-5 Características y especificaciones de los radios y modem

Id	Característica	Valores mínimos
1	Frecuencia de transmisión	902 a 928 MHz
2	Potencia de salida	Inferior a 1 Watt
3	Velocidad de transmisión	19 kbps
4	Protocolo de transmisión Spread Spectrum	Existente
5	Configuración puerto de entrada	RS232/485/422
6	Voltaje de operación	+12 VDC
7	Modos de operación	Maestro, Esclavo, Repetidor, Esclavo/Repetidor
8	Conector de antena	TNC

Finalmente los elementos necesarios para realizar la conexión de la red de estaciones acelerográficas y la estación central son los que se presentan en la Tabla 7-5.

Tabla 7-6 Elementos necesarios para la conexión entre estaciones

Id	Elemento	Descripción
1	Protector contra descargas	Sistema de protección de descargas atmosféricas por antenas áreas equipos inalámbricos. Conector N, hembra-hembra a 915 MHz
2	Cable coaxial	Cable de conexión LMR400 antena-protector, Conector N, longitud mínima 10 mts
3	Cable coaxial	Cable de conexión LMR240 protector-radio/modem, Conector tipo N y en el otro extremo TNC. Longitud mínima 2 mts
4	Antena Yagi	Antena de direccionamiento y extensión de señal con ganancia de 6-7 dB

La cantidad de equipos instalados para la puesta a punta de la conexión de la red se presenta en la Tabla 7-6.

Tabla 7-7 Cantidad de equipos necesarios para la conexión entre estaciones

Estación	Equipos	Cantidad
Estación central	Radio/modem + componentes adicionales (Radio maestro + conexión en tiempo real equipo LISA)	2
Estación acelerográfica + Bore-Hole	Radio/modem + componentes adicionales (incluidas las ya instaladas)	12
Todas estaciones	Protector para descargas, cables coaxial de 10 m, cable coaxial de 2m, Antena Yagi	14

La instalación del acelerógrafo se lleva a cabo instalando un tornillo de 6 cm en el centro del pedestal para asegurar el equipo. Al ubicar el acelerógrafo, se debe garantizar que la componente transversal de los sensores apunte hacia el norte.



A continuación, el equipo es nivelado utilizando un sistema de nivelación interno y se fija el tornillo en el pedestal con una tuerca en el interior, el cual se sella con una capa de silicona para prevenir la entrada de humedad en el interior del equipo.

La configuración de cada acelerógrafo inicia con la introducción de un valor de trigger o de disparo, que corresponde a un porcentaje de la escala total y hace que el equipo empiece a registrar las vibraciones en el terreno.

7.1 INSTALACIÓN DE ACELERÓGRAFO EN ROCA

Con el fin de la ampliación de la red y puesta a punta del funcionamiento y registro sísmico en la ciudad de Manizales, se optó por la instalación de un acelerógrafo sobre roca que permita determinar en un punto los efectos de sitio dados por la amplificación de las ondas sísmicas debidas a estratos de suelo blando subsuperficiales en un mismo punto que cuente con al menos un acelerógrafo en superficie.

De esta manera se realizó la instalación del sensor BoreHole a una profundidad de 43 metros de acuerdo con los ensayos geotécnicos y dinámicos de caracterización del suelo para determinar, estratigrafía, clasificación de las capas de suelos, resistencia y velocidad de onda de corte como se presenta en el siguiente numeral. La exploración geotécnica fue llevada a cabo por la empresa CIAmbiental de la ciudad de Bogotá, especializada en perforaciones y determinación de la velocidad de onda de corte de los suelos. La exploración de campo permitió llevar las muestras extraídas a los laboratorios de la ciudad de Bogotá para su análisis tal como se presenta en el siguiente numeral.

El proceso de instalación del sensor de fondo en profundidad tipo BoreHole se muestra en la Figura 7-1.



Figura 7-1 Instalación del BoreHole

Las actividades que se siguieron para la instalación del sensor de pozo corresponden a las siguientes:

- Preparación del sensor de pozo
- Prueba del sensor con el digitalizador.

- Pruebas del compás del sensor.
- Posible apertura del sensor para adiestramiento de los componentes internos.
- Armado del sensor y sistema de anclaje
- Prueba del sistema de anclaje
- Preparación del cable y guayas para la bajada.
- Marcaje métrico del cable de datos para el proceso de instalación.
- Bajada del Sensor.
- Anclaje en profundidad del sensor
 - Pruebas de funcionamiento.
 - Verificación de la señal acelerográfica
 - Verificación de la orientación.
- Prueba electrónica de registro y adquisición de datos
- Cerramiento del pozo

8 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

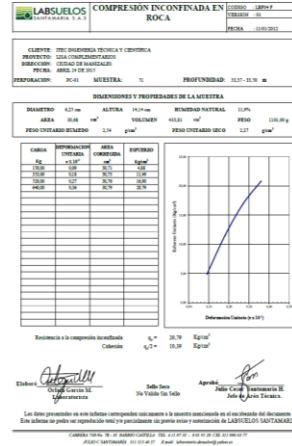
Se realizó una perforación mediante rotación mecánica a 43 m con el fin de instalar un equipo de medición en un estrato competente, para el cual se garantiza que la velocidad de onda de corte sea mayor a 760 m/s de acuerdo a lo estipulado en la Tabla A.2.4-A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

De igual manera, es necesario realizar la caracterización del material recuperado durante la perforación a través de diferentes ensayos, con el fin de determinar las propiedades mecánicas de las muestras de suelo obtenidas. Es importante anotar que para profundidades entre 1.5 y 6.0 m se presentaron problemas para la recuperación de muestras dado el carácter arenoso del material, que puede estar asociado a un antiguo relleno mal compactado. Las muestras recuperadas se protegieron con papel aluminio y fueron forradas en vinipel. Estas fueron conservadas en tubería de PVC para su posterior traslado a los laboratorios donde se le realizaron los ensayos que se describen posteriormente.

La Tabla 8-1 presenta los ensayos estáticos realizados a las muestras de suelo recuperadas durante la perforación, mientras que la Figura 8-1 presenta los formatos de resultados para los diferentes ensayos realizados.

Tabla 8-1 Ensayos estáticos realizados a las muestras recuperadas

Ensayo	No. ensayos
Compresión inconfiada	22
Compresión inconfiada en roca	1
Granulometría con lavado hasta tamaño máximo de 2''	30
Humedad natural	39
Límite líquido y plástico	39



a)

b)

LABSUELOS SANTAMARÍA S.A.S		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		CODIGO: LRF11 F																																																																																																																								
Proyecto: LISA COMPLEMENTARIOS		Muestra: 3		FECHA: 11/01/2012																																																																																																																								
<table border="1"> <tr><th>Tamiz</th><th>Abertura del tamiz (mm)</th><th>Mt. retenido (g)</th><th>% Retenido</th><th>% Acum. Ret.</th><th>% que pasa</th></tr> <tr><td>4</td><td>101.500</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>75.000</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2 1/2</td><td>63.500</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>50.800</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1 1/2</td><td>38.100</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1</td><td>25.400</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/4</td><td>19.050</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>1/2</td><td>12.700</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>3/8</td><td>9.525</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>4*</td><td>4.750</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>8*</td><td>2.380</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>10*</td><td>1.999</td><td>6.07</td><td>2.4</td><td>2.4</td><td>97.6</td></tr> <tr><td>16*</td><td>1.191</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>20*</td><td>0.841</td><td>19.04</td><td>7.7</td><td>10.1</td><td>92.9</td></tr> <tr><td>30*</td><td>0.600</td><td>0.594</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>40*</td><td>0.419</td><td>54.08</td><td>21.8</td><td>31.9</td><td>68.1</td></tr> <tr><td>50*</td><td>0.297</td><td>0.00</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>100*</td><td>0.150</td><td>61.68</td><td>24.8</td><td>56.7</td><td>43.3</td></tr> <tr><td>200*</td><td>0.074</td><td>32.81</td><td>13.2</td><td>69.9</td><td>30.1</td></tr> </table>					Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Mt. retenido (g)	% Retenido	% Acum. Ret.	% que pasa	4	101.500	0.00	0.0	0.0	100.0	5	75.000	0.00	0.0	0.0	100.0	2 1/2	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0	2	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	1 1/2	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0	1	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	3/4	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0	1/2	12.700	0.00	0.0	0.0	100.0	3/8	9.525	0.00	0.0	0.0	100.0	4*	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0	8*	2.380	0.00	0.0	0.0	0.0	10*	1.999	6.07	2.4	2.4	97.6	16*	1.191	0.00	0.0	0.0	0.0	20*	0.841	19.04	7.7	10.1	92.9	30*	0.600	0.594	0.00	0.0	100.0	40*	0.419	54.08	21.8	31.9	68.1	50*	0.297	0.00	0.0	0.0	0.0	100*	0.150	61.68	24.8	56.7	43.3	200*	0.074	32.81	13.2	69.9	30.1
Tamiz	Abertura del tamiz (mm)	Mt. retenido (g)	% Retenido	% Acum. Ret.	% que pasa																																																																																																																							
4	101.500	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
5	75.000	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
2 1/2	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
2	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
1 1/2	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
1	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
3/4	19.050	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
1/2	12.700	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
3/8	9.525	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
4*	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0																																																																																																																							
8*	2.380	0.00	0.0	0.0	0.0																																																																																																																							
10*	1.999	6.07	2.4	2.4	97.6																																																																																																																							
16*	1.191	0.00	0.0	0.0	0.0																																																																																																																							
20*	0.841	19.04	7.7	10.1	92.9																																																																																																																							
30*	0.600	0.594	0.00	0.0	100.0																																																																																																																							
40*	0.419	54.08	21.8	31.9	68.1																																																																																																																							
50*	0.297	0.00	0.0	0.0	0.0																																																																																																																							
100*	0.150	61.68	24.8	56.7	43.3																																																																																																																							
200*	0.074	32.81	13.2	69.9	30.1																																																																																																																							
Suma de pesos:		173.68	Para Tamiz No. 200 = 30.1																																																																																																																									
Peso del frasco:		74.64																																																																																																																										
Peso total:		248.32																																																																																																																										
* Tamiz para clasificación de agregados para concreto:		Grava (%)	0.0																																																																																																																									
		Arenas (%)	69.9																																																																																																																									
		Finos (%)	30.1																																																																																																																									
OBSERVACIONES GENERALES: Arenas finas café oscuro																																																																																																																												

c)

LABSUELOS SANTAMARÍA S.A.S		CLASIFICACIÓN		CODIGO: LRF11 F						
Proyecto: LISA COMPLEMENTARIOS		Muestra: 3		FECHA: 11/01/2012						
<table border="1"> <tr><th>Limite Líquido</th><th>Limite Plástico</th></tr> <tr><td>30.3</td><td>44.3</td></tr> </table>					Limite Líquido	Limite Plástico	30.3	44.3		
Limite Líquido	Limite Plástico									
30.3	44.3									
<table border="1"> <tr><th>Humedad Natural</th><th>Limite Líquido</th><th>Limite Plástico</th></tr> <tr><td>20.3</td><td>34.8</td><td>25.8</td></tr> </table>					Humedad Natural	Limite Líquido	Limite Plástico	20.3	34.8	25.8
Humedad Natural	Limite Líquido	Limite Plástico								
20.3	34.8	25.8								
<table border="1"> <tr><th>Indice de plasticidad</th><th>Indice de liquidez</th></tr> <tr><td>15.5</td><td>-129.5</td></tr> </table>					Indice de plasticidad	Indice de liquidez	15.5	-129.5		
Indice de plasticidad	Indice de liquidez									
15.5	-129.5									
Clasificación USCS: GM										

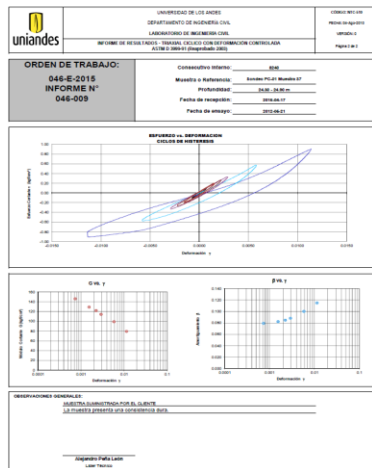
d)

Figura 8-1 Formato de resultados de los ensayos realizados a) Compresión inconfiada; b) Compresión inconfiada en roca; c) Granulometría; d) Humedad natural, límite líquido y límite plástico

De igual manera se realizaron una serie de ensayos dinámicos para la determinación de las propiedades de las muestras recuperadas, los cuales se presentan en la Tabla 8-2. Así mismo, la Figura 8-2 presenta los formatos de resultados para los ensayos dinámicos realizados.

Tabla 8-2 Ensayos dinámicos realizados a las muestras recuperadas

Ensayo	Normativa	No. Ensayos	Observaciones generales
Triaxial cíclico con deformación controlada	ASTM D 3999-91 (Reaprobado 2003)	3	La muestra presenta una consistencia dura
Columna resonante	ASTM D 4015-2007	3	La muestra presenta una consistencia dura
Determinación de la velocidad de onda de corte	ASTM D 2845-2008	3	Ensayo realizado antes de la columna resonante
Determinación de la velocidad de onda de corte	ASTM D 2845-2008	3	Ensayo realizado después de la columna resonante



CAR 11 A Y 116 EN SU ESPESOR VANO LIBRETA. PAGO 1. CONTACTO NO. 224 9999 0711. SEDEMA RIESGO S.C. COMPANIA AFILIADA. riesgo@corpocaldas.com
Página 1 de 1. www.corrupcion.com.co

a)



CAR 11 A Y 116 EN SU ESPESOR VANO LIBRETA. PAGO 1. CONTACTO NO. 224 9999 0711. SEDEMA RIESGO S.C. COMPANIA AFILIADA. riesgo@corpocaldas.com
Página 1 de 1. www.corrupcion.com.co

b)

uniandes	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	CÓDIGO MEC 206
	DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL	FECHA 04-Ago-2016
	LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 1
	INFORME DE RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA	Página 1 de 1
ORDEN DE TRABAJO:		
046-E-15 INFORME N° 046-011		
Concepto a probar: ESM Modelo a utilizar: Sistema P.C.A. Muestra 27 Profundidad: 24.0 - 24.0 m Fecha de instalación: 2016-08-17 Fecha de ensayo: 2016-08-26		
DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE LA MUESTRA Área: 12.0 cm ² Diámetro: 3.92 cm Masa: 3.000 g Peso volúmico: 1.50 g/cm ³ Tiempo: 0.002171 s Módulo: 213.28 MPa Módulo ν : 1.00 MPa/m ²		
CLIENTE: JUAN FELIPE PALUDO DIRECCIÓN: CALLE 52 No. 14-44 Oficina 608 EL PRESENTE ENSAYO NO PUEDE REPRODUCIRSE NI PARCIALMENTE NI TOTALMENTE SIN LA APROBACIÓN POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SON CON VALORES DE LAS MUESTRAS INDIVIDUALES.		
OBSERVACIONES GENERALES: ENSAYO REALIZADO DESPUÉS DE LA COLUMNA RESONANTE		
ASISTENTE: FABIAN LARIN User: Fabian		
FIN DEL INFORME		

Care 10 A N 146 Sede San Carlos Manizales, Págs. 1, Oficina No. 128 Págs. 01-11 Ciudad Bogotá D.C., Colombia. www: [www: http://www.uniandes.edu.co](http://www.uniandes.edu.co)
Página web: <http://www.uniandes.edu.co>

uniandes	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	CÓDIGO MEC 206
	DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL	FECHA 04-Ago-2016
	LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL	UNIDAD 1
	INFORME DE RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA	Página 1 de 1
ORDEN DE TRABAJO:		
046-E-15 INFORME N° 046-012		
Concepto a probar: ESM Modelo a utilizar: Sistema P.C.A. Muestra 27 Profundidad: 24.0 - 24.0 m Fecha de instalación: 2016-08-17 Fecha de ensayo: 2016-08-27		
DIMENSIONES Y PROPIEDADES DE LA MUESTRA Área: 12.0 cm ² Diámetro: 3.92 cm Masa: 3.000 g Peso volúmico: 1.50 g/cm ³ Tiempo: 0.002171 s Módulo: 213.28 MPa Módulo ν : 1.00 MPa/m ²		
CLIENTE: JUAN FELIPE PALUDO DIRECCIÓN: CALLE 52 No. 14-44 Oficina 608 EL PRESENTE ENSAYO NO PUEDE REPRODUCIRSE NI PARCIALMENTE NI TOTALMENTE SIN LA APROBACIÓN POR PARTE DEL DIRECTOR DEL LABORATORIO LOS RESULTADOS DE ESTE ENSAYO SON CON VALORES DE LAS MUESTRAS INDIVIDUALES.		
OBSERVACIONES GENERALES: ENSAYO REALIZADO ANTES DE LA COLUMNA RESONANTE		
ASISTENTE: FABIAN LARIN User: Fabian		
FIN DEL INFORME		

Care 10 A N 146 Sede San Carlos Manizales, Págs. 1, Oficina No. 128 Págs. 01-11 Ciudad Bogotá D.C., Colombia. www: [www: http://www.uniandes.edu.co](http://www.uniandes.edu.co)
Página web: <http://www.uniandes.edu.co>

c)

d)

Figura 8-2 Formato de resultados de los ensayos realizados a) Triaxial cíclico con deformación controlada; b) Columna resonante; c) Determinación de velocidad de onda de corte (antes de columna resonante); d) Determinación de velocidad de onda de corte (después de columna resonante)

A partir de los datos registrados en la perforación se determinó el perfil estratigráfico, el cual se presenta en la Figura 8-3.

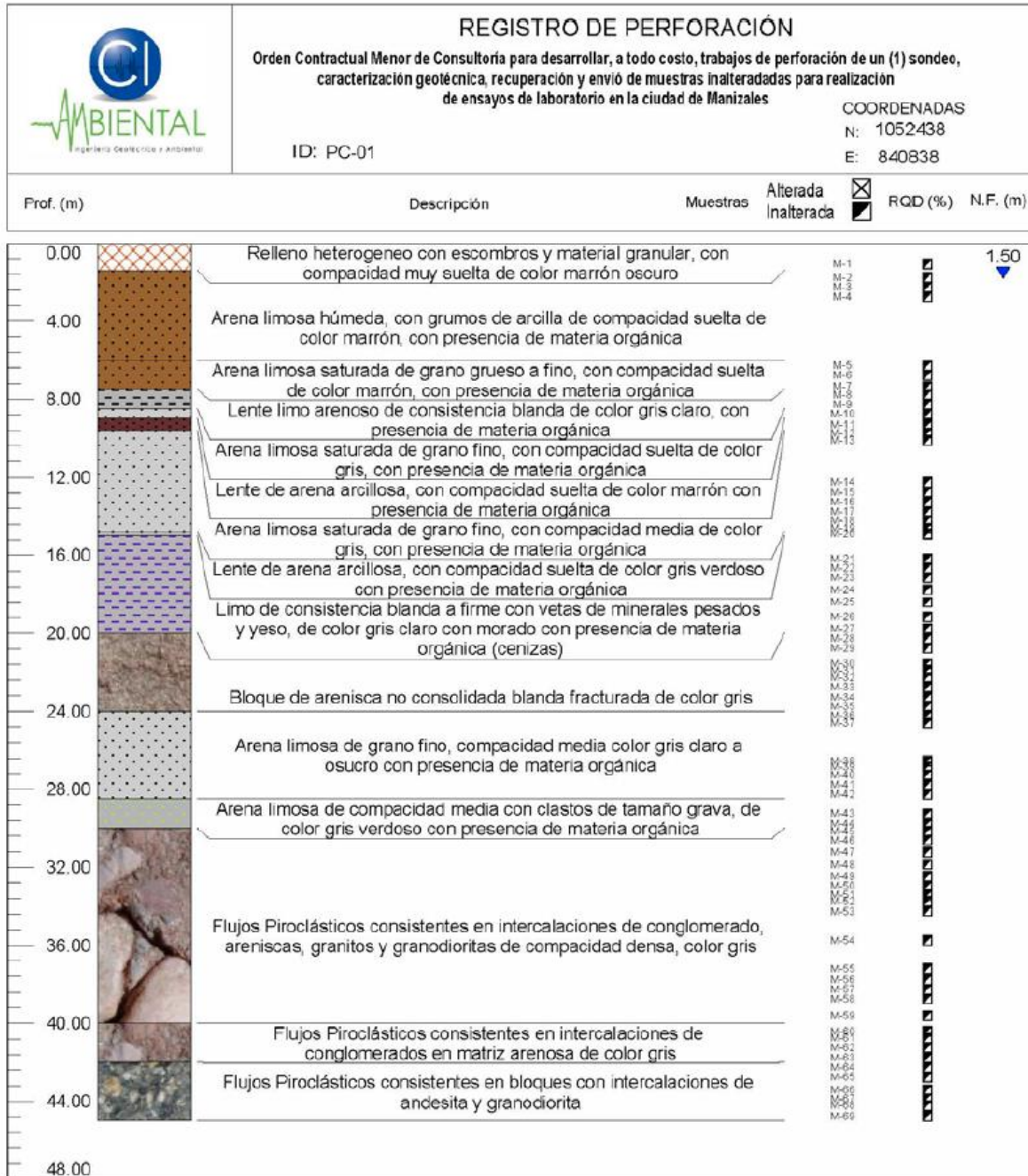


Figura 8-3 Perfil estratigráfico

Así mismo, una vez finalizada la perforación se instaló una tubería de inclinómetro para realizar el ensayo Down Hole y proceder a la medición de las velocidades de las ondas de corte. El objetivo era medir los tiempos de recorrido de las ondas de corte desde una fuente sísmica hasta diferentes puntos ubicados en diferentes profundidades, los cuales cuentan con un aparato receptor (geófono triaxial). Para ello, se instaló un bloque de madera en el terreno, el cual era golpeado con un martillo de 12 lb para generar así las

ondas de corte. De igual manera, se ubicaba un geófono móvil dentro de la tubería del inclinómetro y se registraba la emisión de ondas en puntos distanciados cada 0.5 m.

El almacenamiento de los datos se realizó a través del software WINGEO, el cual registraba datos asociados a Sample Rate, Número de oles, tiempo de lectura, posición del geófono triaxial entre otros. Los resultados obtenidos pueden tener una desviación que puede ser del orden del 10%, la cual está asociada a la anisotropía y heterogeneidad del material, además de la energía con la cual se aplica cada golpe.

A partir de estos tiempos registrados se determina la velocidad y se puede obtener un modelo del subsuelo, el cual presenta diferentes capas con velocidad constante y espesor variable.

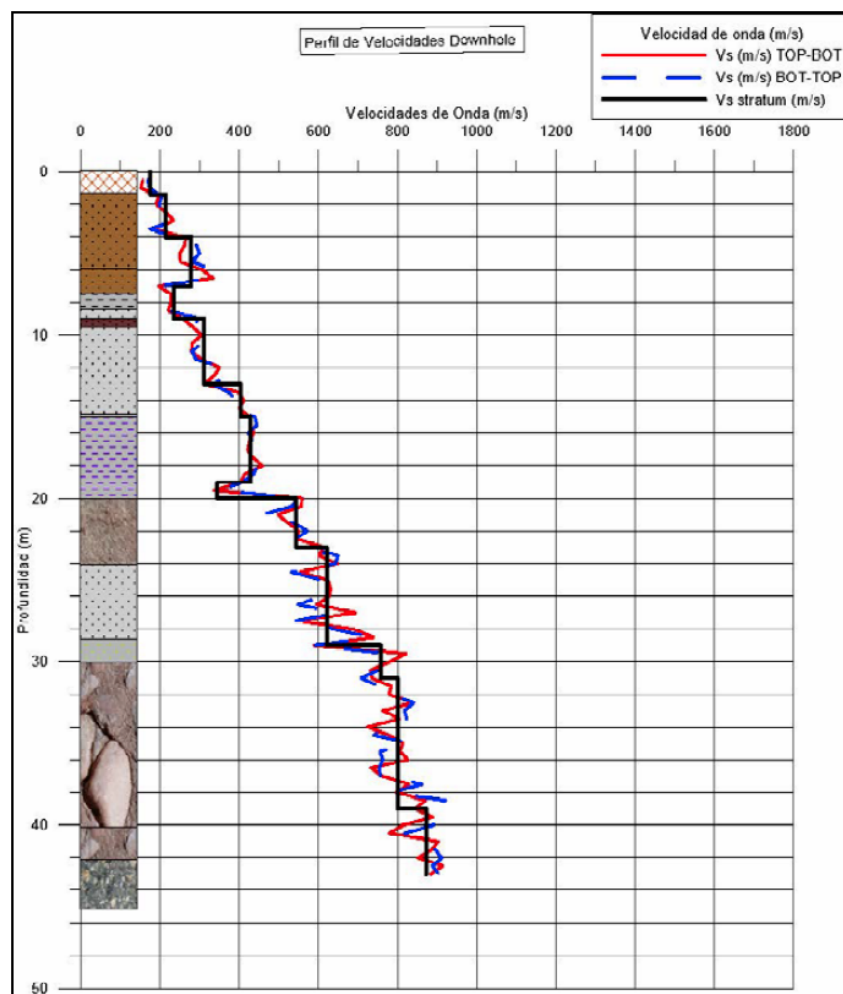


Figura 8-4 Variación de la velocidad de onda de corte en profundidad

A partir de los resultados encontrados y utilizando la siguiente ecuación presentada en el Título A de la NSR-10 se procede a calcular el parámetro V_{s30} , el cual permite clasificar el perfil del suelo sobre el cual se realizó el ensayo.

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{s_i}}}$$

Como resultado, se encontró que el suelo está clasificado como perfil D con $V_{S30} = 350$ m/s, de acuerdo a los límites definidos en la Tabla A.2.4-A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Para profundidades mayores a 30 m, hay presencia de material rígido cuya velocidad de onda corta está por el orden de 760 m/s. A partir de los 37 m, hay un incremento importante en la velocidad de onda registrada, la cual puede llegar a un valor máximo de aproximadamente 872 m/s.

9 REFERENCIAS

1. Ministerio De Ambiente, Vivienda, Desarrollo y Transporte, Reglamento colombiano de Construcciones Sismo Resistentes - NSR-10. 2010, Bogotá.