



**I** NSTITUTO  
**U** NIVERSITARIO  
**A** ERONAUTICO

Facultad de Ciencias de la  
Administración

Departamento Desarrollo Profesional

Lugar Piedra Del Águila - Neuquén y  
fecha: 10/12/2014

INFORME DE ACEPTACIÓN del PROYECTO DE GRADO

Título del Proyecto de Grado: Evaluación de Alternativas de cambio del  
Sistema Telemedido de Auscultación (STA).....  
.....

Integrantes: Raul Dante Vides.....  
.....

Profesor Tutor del PG: Ing. Claudio Aviani.....  
.....

Miembros del Tribunal

Evaluador:.....  
.....  
.....

Resolución del Tribunal Evaluador

- El PG puede aceptarse en su forma actual sin modificaciones.
- El PG puede aceptarse pero el/los alumno/s debería/n considerar las Observaciones sugeridas a continuación.
- Rechazar debido a las Observaciones formuladas a continuación.

Observaciones:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....





**I** NSTITUTO  
**U** NIVERSITARIO  
**A** ERONAUTICO

Neuquén - Diciembre 2014

FACULTAD: Ciencias de la Administración

DEPARTAMENTO: Ingeniería de Sistemas

**Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila  
Evaluación de Alternativas de cambio del  
Sistema Telemedido de Auscultación (STA)**

**Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas**

Versión 2.1

Autor

**Raúl Dante Vides**

Tutor

**Ing. Claudio Martín Aviani**

**Equipo de Proyecto**

Alumno	e-mail	
Raul Dante Vides	<a href="mailto:rvides695@alumnos.iaa.edu.ar">rvides695@alumnos.iaa.edu.ar</a>	

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## Integrantes

### Datos Personales del Alumno

Nombre y Apellido: Raúl Dante Vides

Carrera: Ingeniería de Sistemas

Dirección: Intendente Lambre 158

Localidad: Piedra del Águila Provincia: Neuquén

Tel: (02942) 493217 e-mail: [raul.vides@infovia.com.ar](mailto:raul.vides@infovia.com.ar)

### Datos Personales del Profesor Tutor

Nombre y Apellido: Ing. Claudio Martín Aviani

Dirección: Alvear 150 (Dirección de Sistemas - Ministerio de Justicia y Derechos Humanos)

Localidad: Córdoba Provincia: Córdoba

Tel: (0351) 153601802 e-mail: [claudioaviani@gmail.com](mailto:claudioaviani@gmail.com)

## Revisiones

### AUTOR

Fecha	Versión	Descripción	Autor
25/11/2013	1.0	Primera versión	Raúl D. Vides
03/07/2014	1.2	Modificación por inscripción de Anteproyecto	Raúl D. Vides
10/11/2014	2.1	Modificación por observaciones del Tutor	Raúl D. Vides
10/12/2014	2.2	Modificación por inscripción de Proyecto	Raúl D. Vides

### TUTOR

Fecha	Versión	Comentario	Tutor
<dd/mmm/yy>	1.0	<detalles>	
...	...	...	...

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

# Índice

1.	Dedicatoria	11
2.	Agradecimientos	12
3.	Resumen Proyecto de Grado.	13
4.	Glosario	14
5.	Introducción	16
	Propósito	16
	Alcance	16
	Definición de Auscultación.	16
	Overview	18
5.1	Descripción y Posicionamiento de la Empresa	19
	Nombre y ubicación de la Empresa	19
	Rubro de Negocio.	20
	Domicilio de la Empresa.	20
	Instalaciones, principales características.	20
5.2	Antecedentes	27
	Instrumentación de Presa	27
	Instrumentación del Paleocauce	36
	Sistema Telemedido de Auscultación (STA)	41
5.3	Situación Problemática	43
5.4	Problema	44
5.5	Objeto de Estudio	45
5.6	Campo de Acción	45
5.7	Objetivos	46
	Objetivo general	46
	Objetivos específicos	46
	De Investigación	46
	Funcionales	47
	Técnicos	47
5.8	Idea a Defender	47
5.9	Delimitación del Proyecto	47
5.10	Aporte Teórico	48

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

5.11	Aporte Práctico	48
5.12	Factibilidad	49
	Factibilidad Técnica.	49
	Factibilidad Operativa.	51
	Factibilidad Económica.	51
6.	Marco Teórico	53
6.1	Marco teórico: Sensor de Cuerda Vibrante.	58
6.2	Marco teórico del campo de acción.	65
7.	Hipótesis de trabajo y su operacionalización.	69
8.	Planificación del Proyecto	72
8.1	Etapas, Actividades y Duración	72
8.2	Diagrama Gantt	73
9.	Metodología utilizada	74
9.1	Enfoque Metodológico	74
9.2	Métodos de Investigación	75
10.	Trabajo de Campo – investigación.	76
10.1	Antecedentes de Proyectos Similares	76
10.2	Investigación de Campo	86
11.	Análisis e interpretación de datos.	113
12.	Modelo Teórico Propuesto.	121
13.	Conclusiones.	147
14.	Referencias.	149
15.	Bibliografía.	149

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 1 SISTEMA ARGENTINO DE INTERCONEXIÓN (SADI)	19
FIGURA Nº 2 PRESA DE LA CENTRAL HPDA	21
FIGURA Nº 3 DISPOSICIÓN DE GALERÍAS EN LA PRESA.	23
FIGURA Nº 4 INFRAESTRUCTURAS DE LA PRESA HPDA	23
FIGURA Nº 5 ESQUEMA DEL SISTEMA DE PALEOCAUCE	24
FIGURA Nº 6 PALEOCAUCE DE LA CENTRAL HPDA	25
FIGURA Nº 7 EXCAVACIÓN DE LA TRINCHERA DRENANTE AL PIE DEL PALEOCAUCE.	26
FIGURA Nº 8 TRINCHERA DRENANTE DEL PALEOCAUCE	26
FIGURA Nº 9 MEDICIÓN INICIAL DE UN MICRÓMETRO DESLIZANTE	29
FIGURA Nº 10 MEDICIONES DE MICRÓMETROS DESLIZANTES.	30
FIGURA Nº 11 A - PÉNDULO INVERTIDO Y B - COORDÍMETRO	32
FIGURA Nº 12 GRAFICO DE LA MEDICIÓN DE UN PÉNDULO INVERTIDO	33
FIGURA Nº 13 MEDICIÓN DE CAUDAL EN DRENES	34
FIGURA Nº 14 MEDICIÓN DE FREATÍMETROS	38
FIGURA Nº 15 SONDA INCLINOMÉTRICA SOIL	40
FIGURA Nº 16 DISTRIBUCIÓN DE TABLEROS SISTEMA STA.	41
FIGURA Nº 17 TABLERO ANALIZADOR DEL GP1 TA-PA03	42
FIGURA Nº 18 ELECTRÓNICA DEL TABLERO ANALIZADOR TA-PA03	44
FIGURA Nº 19 CONSTRUCCIÓN DE OBRA DE DESVÍO	53
FIGURA Nº 20 DESVÍO DEL CAUCE DEL RIO	54
FIGURA Nº 21 EXTRACCIÓN DE MATERIALES PARA CIMENTACIÓN DE LA PRESA.	54
FIGURA Nº 22 ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE APOYO DE LOS MÓDULOS.	55
FIGURA Nº 23 INSTALACIÓN DE PIEZÓMETROS EN CONTACTO CON EL MÓDULO.	56
FIGURA Nº 24 EVOLUCIÓN DE MÓDULOS M26 AL M32.	57
FIGURA Nº 25 EVOLUCIÓN DE MÓDULOS DE LA PRESA.	57
FIGURA Nº 26 SENSOR DE CUERDA VIBRANTE	58
FIGURA Nº 27 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE SENSOR DE CUERDA VIBRANTE	60
FIGURA Nº 28 DIFERENCIA DE LONGITUDES DE LA CUERDA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.	63
FIGURA Nº 29 EJEMPLO DE PIEZÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE.	64
FIGURA Nº 30 PIEZÓMETRO ELÉCTRICO DE CUERDA VIBRANTE, INSTALADO EN HPDA	66
FIGURA Nº 31 TERMÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE, INSTALADO EN HPDA	67
FIGURA Nº 32 EXTENSÓMETRO DE HORMIGÓN DE CUERDA VIBRANTE, INSTALADO EN HPDA	68
FIGURA Nº 33 SISTEMA SCADA BÁSICO	71
FIGURA Nº 34 DIAGRAMA GANTT - ACTIVIDAD 1 A LA 10	73
FIGURA Nº 35 DIAGRAMA GANTT - ACTIVIDAD 11 A LA 20	73
FIGURA Nº 36 DIAGRAMA GANTT - ACTIVIDAD 21 A LA 28	73

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

FIGURA Nº 37 DIAGRAMA GANTT - ACTIVIDAD 28 A LA 37	74
FIGURA Nº 38 PROCESO UNIFICADO DE DESARROLLO DE SOFTWARE (PUDS)	74
FIGURA Nº 39 PANEL TÁCTIL SISTEMA DE DRENAJE Y DESAGOTE DE CENTRAL	77
FIGURA Nº 40 A- PANEL DE CONTROL. B- PLC S7 Y TRANSDUCTORES.	78
FIGURA Nº 41 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA RAV.	78
FIGURA Nº 42 DIAGRAMA DEL REGULADOR DE VELOCIDAD-POTENCIA	80
FIGURA Nº 43 BLOQUES DE MEDICIÓN DE FRECUENCIA Y VELOCIDAD DEL RAV	80
FIGURA Nº 44 DIAGRAMA DEL CONTROLADOR DE POSICIÓN DE ALABES	81
FIGURA Nº 45 A- PANEL DE CONTROL Y ALARMAS. B- PLC S5 Y TRANSDUCTORES.	82
FIGURA Nº 46 A- PANEL HMI DE CONTROL Y ALARMAS. B - PLC ILC 170 Y TRANSDUCTORES.	82
FIGURA Nº 47 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA: A- ANTERIOR B- ACTUAL.	83
FIGURA Nº 48 PC WORK VISTA DE PROGRAMACIÓN – PLC1 DE G1PA	84
FIGURA Nº 49 PC WORK VISTA DE PROGRAMACIÓN – PLC1 DE G1PA	84
FIGURA Nº 50 PROGRAMACIÓN DE PANTALLAS CON EL PROGRAMA VISU +	85
FIGURA Nº 51 VISTAS DE LA PANTALLA TÁCTIL DE G2PA	85
FIGURA Nº 52 SENSORES DE CUATRO CABLES	88
FIGURA Nº 53 CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS SCV CON EL PLC – C1.	91
FIGURA Nº 54 INTERFACE DE CUERDA VIBRANTE AVW1 Y AVW4	91
FIGURA Nº 55 CIRCUITO DE LA INTERFACE DE CUERDA VIBRANTE AVW1.	92
FIGURA Nº 56 CIRCUITO DE LA INTERFACE DE CUERDA VIBRANTE AVW1	92
FIGURA Nº 57 MULTIPLEXOR AM16/32B.	95
FIGURA Nº 58 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL AM16/32B.	96
FIGURA Nº 59 MODO B DE DIRECCIONAMIENTO DEL AM16/32.	98
FIGURA Nº 60 PROGRAMA CR1000 PARA MODO B DE DIRECCIONAMIENTO.	98
FIGURA Nº 61 CONVERTIDOR DE FRECUENCIA PROGRAMABLE (CFP)	99
FIGURA Nº 62 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL CFP.	100
FIGURA Nº 63 CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS SCV CON EL PLC – C2.	100
FIGURA Nº 64 CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS SCV CON EL PLC	101
FIGURA Nº 65 CONEXIÓN DE INSTRUMENTOS SCV CON EL PLC – C3.	102
FIGURA Nº 66 DATALOGGER DATATAKER DT800	103
FIGURA Nº 67 CONEXIONES DEL DATALOGGER DATATAKER DT800	104
FIGURA Nº 68 A- SWITCH ETHERNET. B – CONEXIÓN DE PLC DE UNIDAD 2.	108
FIGURA Nº 69 ARQUITECTURA TÍPICA DE UN PLC.	113
FIGURA Nº 70 EJEMPLO DE USO DE TEMPORIZADORES EN UN PLC.	115
FIGURA Nº 71 ACTORES DEL SISTEMA STA.	126
FIGURA Nº 72 CASOS DE USO DE DE NEGOCIO DEL SISTEMA STA	127
FIGURA Nº 73 DIAGRAMA DE SUBSISTEMAS	128
FIGURA Nº 74 CASOS DE USO DE SISTEMA - SUBSISTEMA DE GESTIÓN STA Y DEL PLC-TABLERO.	128



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

FIGURA Nº 75 CASOS DE USO DE SISTEMA - SUBSISTEMA DE SERVICIOS DEL STA	129
FIGURA Nº 76 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA SERVICIOS DEL STA - DIAGRAMA DE PAQUETES	129
FIGURA Nº 77 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA GESTIÓN - PAQUETE ENTIDAD	130
FIGURA Nº 78 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA GESTIÓN - PAQUETE CONTROL	130
FIGURA Nº 79 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA GESTIÓN - PAQUETE INTERFAZ	131
FIGURA Nº 80 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA PLC-TABLERO - DIAGRAMA DE PAQUETES	131
FIGURA Nº 81 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA PLC-TABLERO - PAQUETE ENTIDAD PLC	132
FIGURA Nº 82 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA PLC-TABLERO - PAQUETE CONTROL PLC	132
FIGURA Nº 83 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA PLC-TABLERO - PAQUETE CONTROL	133
FIGURA Nº 84 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA GESTIÓN STA - DIAGRAMA DE PAQUETES	133
FIGURA Nº 85 MODELO DE ANÁLISIS SUBSISTEMA GESTIÓN STA - PAQUETE CONTROL SERVICIO	134
FIGURA Nº 86 MODELO DE ANÁLISIS SUB. GESTIÓN STA - PAQUETE CONTROL – ENTIDAD STA	134
FIGURA Nº 87 MODELO DE ANÁLISIS SUB. GESTIÓN STA - PAQUETE CONTROL – ENTIDAD PLC	134
FIGURA Nº 88 UMBRALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS	136
FIGURA Nº 89 ARQUITECTURA FÍSICA DE LA IMPLEMENTACIÓN.	140
FIGURA Nº 90 DIAGRAMA DE SUBSISTEMAS E INTERFACES DEL NUEVO SISTEMA STA.	141
FIGURA Nº 91 DIAGRAMA DE COMPONENTES GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA STA.	142
FIGURA Nº 92 DIAGRAMA DE COMPONENTES ACCESO DATOS BASE PRINCIPAL DEL SISTEMA STA.	142
FIGURA Nº 93 DIAGRAMA DE SUBSISTEMAS E INTERFACES DEL PLC-TABLERO.	143
FIGURA Nº 94 DIAGRAMA DE COMPONENTES GESTIÓN Y CONTROL PLC.	144
FIGURA Nº 95 DIAGRAMA DE COMPONENTES ACCESO DATOS BASE PLC.	144
FIGURA Nº 96 INTERFACE DE INGRESO CON CLAVE AL NUEVO SISTEMA STA.	146

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 INSTRUMENTOS DE PRESA	28
TABLA 2 INSTRUMENTOS PALEOCAUCE	37
TABLA 3 SISTEMAS ACTUALIZADOS TECNOLÓGICAMENTE EN HPDA	86
TABLA 4 RANGOS DE ENTRADAS DEL DT800	105
TABLA 5 LISTADO DE TABLEROS Y CANTIDAD DE INSTRUMENTOS.	107
TABLA 6 TABLEROS UBICADOS EN IGUAL MODULO Y NIVEL.	119
TABLA 7 COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES.	119
TABLA 8 NUEVA DISTRIBUCIÓN DE TABLEROS.	120

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

# Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas

## 1. Dedicatoria

Le doy Gracias a DIOS, a la Virgen María, a la Virgen del Camino de Piedra del Águila y a Santo Tomás de Aquino, patrono de los estudiantes, quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de esta tesis.

Dedico esta tesis a mi esposa Alejandra y a mis hijas Johana y María del Pilar, por su apoyo incondicional en éste desafío, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo alcanzar mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis padres Irma y Oscar, porque creyeron en mi y por haberme inculcado la importancia del estudio para el crecimiento personal.

A mis hermanos Myriam, Mauricio y Claudia porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo llegar hasta el final.

A mis sobrinos Cristian, Matías y Ulises por comprender que el estudio es la base para una futura profesión, que vean un ejemplo a seguir.

Gracias a todos ustedes y a todos mis parientes: suegros, cuñados, sobrinos, tíos y primos porque de una u otra forma, con su apoyo moral me han incentivado a seguir adelante, a lo largo de toda mi vida.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 2. Agradecimientos

Es un placer reconocer a todas las personas que participaron, de manera directa o indirecta, en la realización de este trabajo. Primero, el proyecto se ha visto sumamente beneficiado por la ayuda en temas específicos y los comentarios de compañeros de trabajo: Pablo, Miguel, Manuel, Dino, Emanuel, Valentín y Norberto.

También quisiera expresar mi reconocimiento a Mario, por ser la persona que me invito a iniciar los estudios en el IUA, y a Luis un gran compañero de las últimas materias.

Finalmente agradezco a todo el personal de Operaciones de HPDA, sobre todo a Oscar, Emilio, Jorge y Pedro, por su impulso y apoyo durante muchas horas de trabajo. Además a quienes me cubrieron para poder viajar a rendir los exámenes finales: Marcelo, Fabián, Antonio, Raúl y Alberto.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo, porque cada una aportó con un granito de arena; y es por ello que a todos y cada uno de ustedes les dedico todo el esfuerzo, sacrificio y tiempo que entregué a esta tesis.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### 3. Resumen Proyecto de Grado.

El proyecto tiene por objeto investigar en las tecnologías disponibles en el mercado para dar una propuesta de solución, para que el Sistema Telemido de Auscultación (**STA**) continúe funcionando y poder realizar la correcta Auscultación de las estructuras de la Central HPDA, de acuerdo a los requerimientos del **ORSEP**. Según algunos expertos, el objetivo principal de la auscultación de presas es el de suministrar una información lo más precisa y rápida posible sobre el estado de la obra y a consecuencia de ello, poner a disposición de los responsables, datos que permitan evaluar en todo momento su seguridad y en caso de problemas, poder tomar las decisiones apropiadas.

Teniendo en cuenta el auge que ha tomado en la actualidad el uso de tecnologías de PLC, las aplicaciones de desarrollo de software para PLC, las tecnologías de red y las telecomunicaciones inalámbricas para transferencia de información, se pretende demostrar que las tecnologías disponibles en el mercado se encuentran lo suficientemente desarrolladas para brindar una solución a la recolección de datos de auscultación de la Central Piedra del Águila.

El objetivo del proyecto es proporcionar una solución de bajo costo para la toma de mediciones de instrumentos de auscultación, mediante el uso de PLC y los actuales sensores instalados en época de obra. Busca demostrar que las tecnologías actuales de PLC pueden funcionar, utilizando dispositivos sensores diseñados para trabajar con dispositivos electrónicos.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 4. Glosario

- **HPDA:** Hidroeléctrica Piedra del Águila.
- **CAMMESA:** Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima.
- **ORSEP:** Organismo Regulador de Seguridad de Presas.
- **SADI:** Sistema Argentino de Interconexión.
- **Comahue:** una de las zonas de generación eléctrica, en la que se divide el Sistema Argentino de Interconexión (SADI), comprende la provincia de Neuquén, Rio Negro y parte de la Pampa.
- **OED:** Organismo Encargado del Despacho.
- **SIG:** Sistema Integral de Gestión.
- **STA:** Sistema Telemedido de Auscultación.
- **Auscultación de obras:** procedimiento por el cual se evalúa en qué condiciones se encuentra una infraestructura, cuando está en uso o en condiciones de estarlo, y sin interferir con el funcionamiento de la infraestructura.
- **PLC (Programmable Logic Controller):** Controlador Lógico Programable. Dispositivo electrónico, programable por el usuario, destinado a gobernar máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales.
- **Embalse:** Es el volumen de agua que queda retenido por la presa.
- **Presa:** es el muro que debe soportar el empuje del agua y no permitir la filtración del agua hacia abajo.
- **Coronamiento:** Es la superficie que delimita la presa superiormente.
- **Los paramentos:** el interior, que está en contacto con el agua, y el exterior que se observa a simple vista.
- **Estribos:** Los laterales, que están en contacto con las paredes de la montaña.
- **Cimentación:** la superficie inferior de la presa, a través de la cual descarga su peso al terreno.
- **Paleocauce:** antiguo cauce del río, relleno con material aluvial que fue necesario

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

impermeabilizarlo para contener el agua del embalse.

- **Aliviadero o vertedero:** es una estructura que permite descargar agua excedente cuando el embalse está el máximo de su nivel.
- **Tomas:** Son estructuras hidráulicas utilizadas para extraer agua de la presa para el funcionamiento de los generadores de la central.
- **Descargador de Fondo:** permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa, cuando el nivel de embalse está por debajo del nivel del vertedero.
- **SCV:** Sensores de Cuerda Vibrante.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 5. Introducción

### **Propósito**

El propósito de este documento es presentar los aspectos fundamentales para el desarrollo del Proyecto de Trabajo Final, mediante el relevamiento de la información referida al sector Auscultación de la empresa Hidroeléctrica Piedra del Águila. De manera de presentar alternativas de cambio del Sistema Telemido de Auscultación (STA).

### **Alcance**

El alcance del presente documento abarca desde especificaciones referidas a la descripción y posicionamiento de la empresa, mediante una presentación general de sus instalaciones principales, también una presentación de los antecedentes del problema buscando detectar principalmente cuáles son las necesidades y que restricciones se deben tener en cuenta a la hora del desarrollo del proyecto. También se realizara una presentación del proyecto y finalmente se establecerá el planeamiento de dicho proyecto. Estableciendo la planificación, la agenda, estimando los costos.

### **Definición de Auscultación.**

Si nos remitimos a la definición del diccionario, “auscultación” es un procedimiento clínico de exploración física que consiste en escuchar los sonidos que se producen dentro del organismo, especialmente los procedentes del corazón y los pulmones. Puede efectuarse directamente o por medio de instrumentos como el estetoscopio, apoyando la oreja o el instrumento sobre el órgano correspondiente. En este caso se trata de auscultación médica.

De la misma manera, cuando se habla de auscultación de obras se pretende realizar una tarea similar. La auscultación de obras, es el procedimiento por el cual se evalúa en qué condiciones se encuentra una infraestructura, cuando está en uso o en condiciones de estarlo, y sin interferir con el funcionamiento de la infraestructura. Es un procedimiento habitual en grandes obras de ingeniería, como presas, puentes, túneles y vías de ferrocarril.

La auscultación en presas es continua durante toda la vida de la presa. En toda la estructura de la presa se colocan diferentes instrumentos de medida que funcionan todo el tiempo, y que los responsables de la presa consultan periódicamente. Estos aparatos miden diferentes valores, como la apertura de las juntas, la inclinación o la presión de agua. En una presa, se pueden realizar gráficas de movimientos y tensiones de estructuras y roca de fundación;



<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

presiones de agua, temperaturas del aire y del interior de las estructuras y rocas de fundación, como también registros de niveles de agua almacenados, etc. que a través de varias mediciones, le permiten a los responsables de la auscultación encontrar la correlación de causas y efectos. Este tema, es muy amplio, y comenzó en los años 1940, cuando la ingeniería, exigida por las tendencias sociales y económicas, se encontró con la obligación de construir obras cada vez más grandes y ante la presencia de algunos fracasos, los proyectistas vieron la necesidad de disponer de coeficientes con fundamentos teóricos y prácticos basados en experiencias reales a fin de corroborar (o no) los resultados de laboratorio.

Por todo esto se justifica la necesidad de las Mediciones de Control y Vigilancia de Obras (Auscultación de Obras) con los siguientes objetivos básicos:

- a) Garantizar la seguridad de la obra a través de la detección temprana de eventuales anomalías.
- b) Aumentar el conocimiento de las relaciones causa - efecto de los parámetros en juego, constituyendo una vía de realimentación de la ingeniería de proyecto para futuros emprendimientos.

Estos objetivos, en la práctica no son tan fácil cumplimentarlos con mediciones, ya que las causas y efectos en general tienen contemporaneidad y que los mismos efectos pueden ser provocados por diversas causas. En general se correlacionan los primeros con los segundos después de largos períodos de observaciones. Las causas que actúan sobre las estructuras son numerosas, entre ellas se pueden citar: variaciones climáticas, pesos propios, carga hidrostática, presión intersticial, subpresiones, variaciones de temperatura del agua, variación de la temperatura debida al calor de fragüe del hormigón, variación de humedad del hormigón y de los distintos materiales utilizados, retracción, expansión y deslizamiento viscoso del hormigón, desplazamientos de los vínculos por traslación y rotación de los planos de fundación, a causa de las acciones transmitidas por las estructuras, o por el volumen del embalse, de la expansión de las rocas, de los movimientos sísmicos; de los asentamientos locales, etc.

Mediante la disposición de los dispositivos de auscultación se pretende controlar aquellos parámetros más importantes del comportamiento de la presa y los cimientos, para así comprobar su correcto funcionamiento o, por el contrario, detectar la aparición de anomalías o efectos, que puedan comprometer la seguridad de la obra. Los parámetros que

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

mejor reflejan dicho comportamiento son: movimientos, deformaciones, presiones de agua, filtraciones y deterioro de los materiales constituyentes de la presa.

El título elegido para el XX Congreso Internacional de Grandes Presas de ICOLD fue: “*Auscultación de presas y sus cimentaciones*”, que por quinta vez en la historia de los Congresos, ha elegido el tema de la auscultación para ser tratada en las sesiones técnicas, celebrado del 19 al 22 de septiembre de 2000 en Pekín, China. En dicho congreso el comentario de varios participantes, repetido en muchas declaraciones, fue: “la automatización completa de los sistemas de auscultación no debe eliminar las habituales y periódicas inspecciones visuales de las presas y obras auxiliares”. Estas observaciones siguen siendo igual de importantes que antes, ya que ningún sensor puede sustituir los ojos de un cualificado técnico. Muchos señalan la importancia de las observaciones visuales de presas y se dan varios ejemplos de anomalías en el comportamiento detectadas por la inspección visual y no por el sistema de auscultación.

### **Overview**

El documento se organiza de la siguiente manera:

- **Descripción y Posicionamiento de la Empresa**
- **Descripción de Problemas**
- **Presentación y planteamiento del proyecto**
- **Trabajo de Campo – investigación.**
- **Análisis e interpretación de datos.**
- **Conclusiones.**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 5.1 Descripción y Posicionamiento de la Empresa

### Nombre y ubicación de la Empresa



**Figura N° 1 Sistema Argentino de Interconexión (SADI)**

**Hidroeléctrica Piedra del Águila S.A.** está emplazada sobre el Río Limay, entre las provincias de Río Negro y del Neuquén, a 250 kilómetros al sur de la Ciudad de Neuquén y a 200 Km. de San Carlos de Bariloche, se accede a la misma por la ruta nacional N° 237, y está ubicada a 30 Km. de la ciudad de Piedra del Águila en la provincia de Neuquén. Esta central hidroeléctrica integra junto a 8 centrales más, la zona de generación eléctrica del **Comahue**, como se puede observar en la figura N° 1 del Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

Recorriendo el río Limay desde su nacimiento en el lago Nahuel Huapi, 100 Km. aguas abajo, la primera de las represas es la de Alicurá, tiene una presa de 120 m de altura y una potencia instalada de 1.000 Mw. Distribuidas en 4 turbogrupos de 250 Mw. de potencia nominal. La segunda central es Piedra del Águila, ubicada aguas abajo de la confluencia de los ríos Limay y Collón Curá.

Siguiendo el curso del río, a 20 Km. está la tercera central que es Pichi Picun Leufú, la altura de la presa es de 35 m y la central posee 285 Mw. de potencia nominal (3 máquinas de 95 MW). Las últimas 2 centrales del río Limay, son el Chocón, que se comenzó a construir en la segunda mitad de la década de 1960 y fue inaugurada en 1972, se la denominó “la obra del siglo”, pues fue el primero de los grandes proyectos hidroeléctricos de la Argentina. Tiene una presa de 86 m de altura y 6 turbogrupos de 200 Mw. c/u, lo que totaliza una potencia instalada de 1200 Mw. Por último se localiza el dique compensador

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

de Arroyito, con una altura de 26 m y una potencia instalada de 120 Mw. (3 máquinas de 40 MW.). Sobre el río Neuquén se encuentra el complejo Cerro Colorado con la central Planicie Banderita que tiene una presa de 95 m de altura y 2 turbogrupos de 225 Mw. c/u, lo que totaliza una potencia instalada de 450 Mw. También en la misma zona se encuentran 3 centrales térmicas que son Agua del Cajón; Loma de la Lata y Alto Valle.

Las centrales se encuentran conectadas al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) mediante 5 líneas de alta tensión de 500 Kv., cuatro de ellas llegan directamente a Buenos Aires, la quinta llega a Córdoba, pasando previamente por Mendoza y finalmente, el último tramo construido para integrar al sistema patagónico, que llega hasta Río Gallegos. Por estas líneas junto a las que llegan desde el norte y noroeste del país, se puede transportar la energía generada en esta central, a la mayor parte del territorio nacional. Las funciones principales de esta central, junto a otras 5 hidroeléctricas existentes en la cuenca de los ríos Limay y Neuquén, son la regulación de las crecidas de los ríos mencionados, la provisión de agua para riego y consumo humano y finalmente la generación de energía eléctrica.

### ***Rubro de Negocio.***

El rubro de esta empresa es: ***generadora de energía eléctrica***, su funcionamiento se encuadra en los reglamentos y procedimientos que dicta el Organismo Encargado del Despacho (OED) que es la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima CAMMESA, con sede en Rosario. Como generador de energía eléctrica, esta empresa cumplió con los requisitos que fija la ley N° 24065 y sus normas complementarias y reglamentarias, por lo cual la Secretaria de Energía de la Nación le otorgó la correspondiente habilitación de Agente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

### ***Domicilio de la Empresa.***

La central hidroeléctrica está emplazada sobre el Río Limay, entre las provincias de Río Negro y del Neuquén, se accede por la Ruta Nacional 237 Km. 1450,5. A 25 km de la ciudad de Piedra del Águila Provincia de Neuquén, en el paraje denominado Villa Rincón Chico.

### ***Instalaciones, principales características.***

El aprovechamiento Hidroeléctrico Piedra del Águila está constituido por dos cierres frontales al valle del Río Limay. El primero de ellos, se observa a simple vista, es frontal al cauce actual del río, materializado por una presa de hormigón, en la que también se encuentran un aliviadero de crecidas, el descargador de fondo, las obras de toma, tuberías a

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

presión y una central hidroeléctrica al pie de la presa. Esto se puede observar en la **figura N° 2**. El segundo cierre, se encuentra en el sector adyacente al estribo de la Presa, en la margen izquierda del río, donde existía un antiguo cauce (Paleocauce) relleno con material aluvial y sepultado bajo coladas basálticas, que fue necesario de tratar a efectos de impermeabilizarlo y lograr el control del flujo de agua en su interior, esto no se puede observar desde el exterior, ya que se efectiviza desde galerías mediante cortinas de impermeabilización y drenaje ejecutadas para ese efecto.



**Figura N° 2 Presa de la Central HPDA**

Las principales características del aprovechamiento son:

**Presa:**

Es una presa de gravedad, construida en hormigón convencional y de sección transversal trapecial. Está compuesta por 38 bloques individuales de hormigón, su estructura recuerda a la de un triángulo isósceles ya que su base es ancha y se va estrechando a medida que se asciende hacia la parte superior aunque en muchos casos el lado que da al embalse es casi de posición vertical. La razón por la que existe una diferencia notable en el grosor del muro a medida que aumenta la altura de la presa se debe a que la presión en el fondo del embalse es mayor que en la superficie, de esta forma, el muro tendrá que soportar más fuerza en el lecho del cauce que en la superficie.

Los bloques van desde el módulo M5 al M42, veinticinco de ellos constituyen los estribos de la presa, 15 del margen izquierdo (M5 al M19) y 10 del margen derecho (M33 al M42),

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

mientras que los 13 bloques restantes (M20 al M32) conforman el cierre principal propiamente dicho, que representa una longitud total de coronamiento de 820 m. Su eje se extiende desde la margen izquierda en dirección perpendicular hacia el centro del cauce, girando luego suavemente hasta encontrar el estribo en margen derecha, formando un embalse de 292 km<sup>2</sup>. El modulo más alto de la presa alcanza 170 m de altura desde su fundación en la roca sana y toda la presa demandó 3.600.000 m<sup>3</sup> de hormigón.

### **Vertedero:**

Sobre la orilla oeste, el aliviadero posee una cresta vertedora controlada por 4 compuertas radiales de 19 metros de altura y 15 metros de ancho. Se operan con servomecanismos, para permitir la descarga de hasta 10.000 m<sup>3</sup>/seg. En un canal revestido excavado en la roca. Este canal se estrecha aguas abajo terminando en un disparador tipo salto de ski.

### **Obras de toma:**

Posee 6 tomas de tipo abocinada convencional, situadas en la cara de aguas arriba de la presa. La entrada de cada toma se encuentra protegida por rejas que son accionadas desde el coronamiento. Aguas debajo se sitúan dos cámaras por el alojamiento de los paneles de ataguías de mantenimiento y de las compuertas de operación. Las ataguías son operadas por medio de un postigo grúa y las compuertas por servomecanismos. A partir de allí, se extienden las tuberías forzadas, embustidas en el cuerpo de la presa.

### **Descargador de fondo:**

Es un elemento de seguridad para permitir la rápida reducción del nivel del embalse en casos de emergencias y se utilizó para el desvío del río (en una segunda etapa de la construcción).

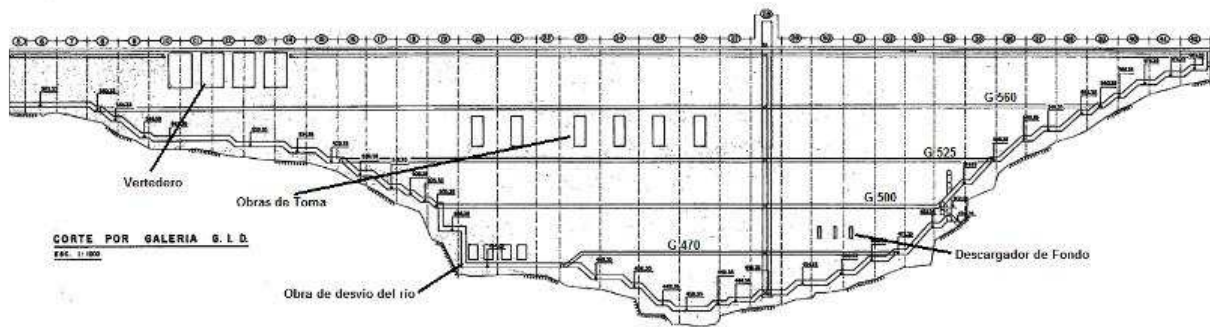
Consta de tres conductos embutidos en dos módulos de la presa, con sus embocaduras en cara aguas arriba de la misma. En la cara aguas abajo dichos conductos dan orígenes a tres canales que permiten la restitución de los caudales del río. La operación del descargador de fondo se realiza a través de un doble juego de compuertas localizadas al final de los conductos.

### **Galerías:**

La presa ha sido provista de cinco niveles de galerías de inspección, drenaje y mantenimiento de la obra en cotas 470, 500, 525, 560 y 590 msnm. También posee una Galería de Inyección y Drenaje (GID), que va copiando la forma de la superficie de contacto. Las galerías fueron realizadas mediante muros de hormigón armado, siguiendo el

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

crecimiento de cada módulo. Esto se puede observar en la **figura N° 3**, donde se muestra la vista del paramento interior de la presa, o sea desde el Embalse.



**Figura N° 3 Disposición de galerías en la presa.**

**Central hidroeléctrica:**

Ubicada al pie de la presa, la central aloja 4 máquinas, posee una área de montaje, especialmente concebida y adosada a ella se encuentra sobre margen este un edificio anexo donde se han instalado la sala de control y las oficinas de la presa.

La concepción de la obra ha previsto una futura ampliación en la Central mediante la instalación de las maquinas adicionales con ubicación en margen oeste en el canal resultante de las obras de desvío inicial del río. Esto se puede observar en la **figura N° 4**.



**Figura N° 4 Infraestructuras de la Presa HPDA**

La central alberga 4 turbinas, con el correspondiente generador, un banco de transformadores para cada generador y equipos de maniobra, control y auxiliares.

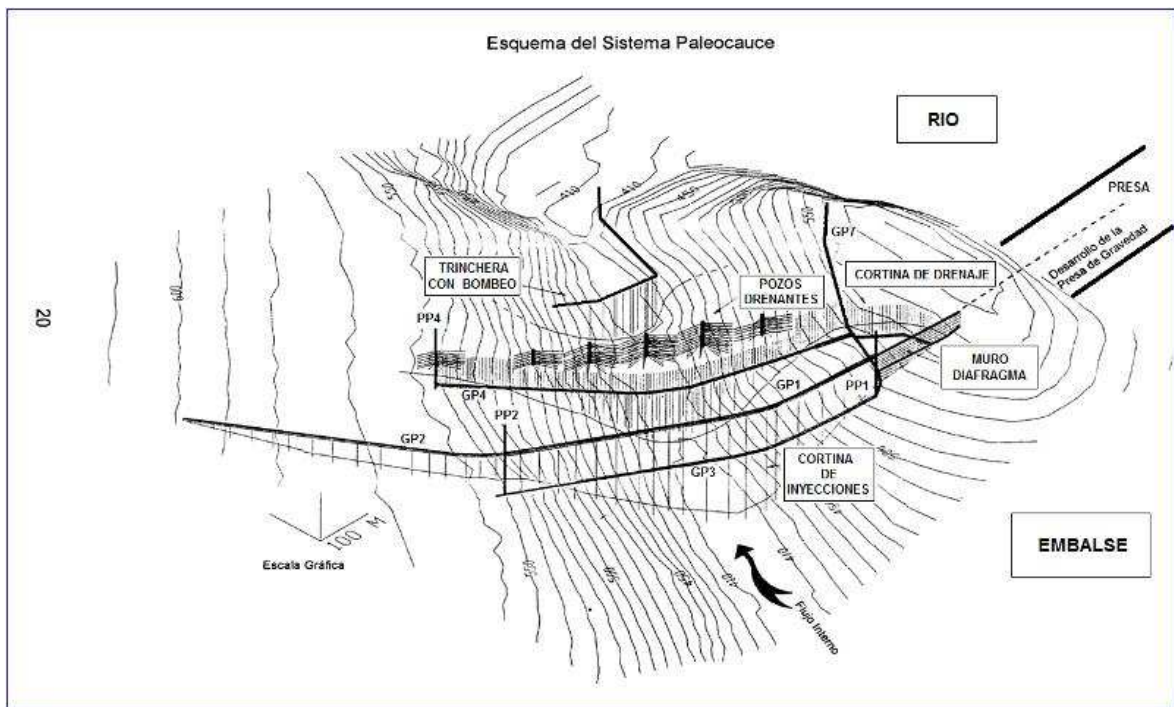
Las turbinas son de reacción de eje vertical tipo Francis con cámara espiral de chapa de

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

acero y tubo de aspiración acomodado. Los generadores, de 350 MW cada uno, están asociados a bancos de tres transformadores monofásicos conectados mediante interruptores a un sistema de doble barra blindado y aislado.

**Paleocauce:**

Otro aspecto que convierte a Piedra del Águila en una obra singular, es la existencia de un antiguo cauce del río (Paleocauce) relleno con material aluvial, ubicado en la margen izquierda del río (sector adyacente al estribo de la Presa). Este sector fue necesario de tratar a efectos de impermeabilizarlo y lograr el control del flujo de agua en su interior. Para lograr este objetivo, se realizó en el Paleocauce un tratamiento que consistió básicamente en la ejecución de una pared diafragma de hormigón de vinculación entre el Paleocauce y la Presa y mediante cortinas de impermeabilización y drenaje ejecutadas desde galerías conjuntamente con un sistema de drenaje aguas abajo.



**Figura N° 5 Esquema del Sistema de Paleocauce**

Para la realización de la Cortina de inyecciones y de drenaje se requirió de un sistema de galerías, las cuales fueron excavadas dentro del Paleocauce, la excavación de túneles **GP1; GP2; GP3; GP4 y GP7**, se realizó por una extensión de 3.363 mts. Esto se puede observar en la **figura N° 5**. La barrera de impermeabilización consiste en un Muro diafragma y una Cortina de Inyecciones que cubren completamente la sección transversal del Paleocauce. El Muro diafragma, que conecta la estructura rígida de la Presa con la Cortina de



<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

inyecciones, de características flexibles, se construyó colando hormigón en una serie de galerías horizontales superpuestas.

La Cortina de Inyecciones se ejecutó mediante la inyección de lechadas cementicias en el terreno, por impregnación (relleno del hueco), de una mezcla fluida, que posteriormente fragua y endurece, reduciendo el grado de permeabilidad del terreno y mejorando las características mecánicas del mismo.

Las inyecciones se realizaron a través de perforaciones verticales iniciadas desde galerías excavadas al efecto GP1, GP2 y GP3, la profundidad máxima es de 200 mts; el volumen inyectado fue de 67.200 m<sup>3</sup>, y la longitud de la barrera impermeable es de 1.220 mts.



**Figura N° 6 Paleocauce de la Central HPDA**

Aguas abajo, el Sistema de drenaje está integrado por los siguientes elementos:

- Una cortina de drenaje materializada por perforaciones verticales ejecutadas desde galerías construidas para ese efecto, 200 m aguas abajo de la Barrera de impermeabilización. Se puede observar en la **figura N°6 (Pozos Drenantes)**.
- Una serie de abanicos subhorizontales de drenaje (perforaciones desde pozos excavados en el nivel superior del relleno aluvial, a 30 m aguas debajo de la Cortina de drenaje).
- Una trinchera drenante excavada al pie del Paleocauce, zona denominada Anfiteatro, con una batería de pozos perforados y equipados con bombas, para mantener las presiones piezométricas en valores preestablecidos, se observa resaltado en la **figura N°6 (Trinchera Drenante)**.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Una etapa de construcción de la Trinchera Drenante, se puede observar en la **figura N° 7**, donde se advierte el movimiento de suelo que fue necesario realizar para poder construir la galería de bombeo y drenaje.



**Figura N° 7** Excavación de la trinchera drenante al pie del Paleocauce.

Finalizada la construcción de la galería de bombeo y drenaje, se volvió a rellenar el terreno, con materiales sueltos, donde el estado actual se puede observar en la **figura N° 8**.



**Figura N° 8** Trinchera drenante del Paleocauce

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 5.2 Antecedentes

Según algunos expertos, el objetivo principal de la auscultación de presas es el de suministrar una información lo más precisa y rápida posible sobre el estado de la obra y a consecuencia de ello, poner a disposición de los responsables, datos que permitan evaluar en todo momento su seguridad y en caso de problemas, poder tomar las decisiones apropiadas.

La central hidroeléctrica posee un sector Auscultación, que tiene un Jefe de Obras Civiles y Auscultación y forman parte del sector cuatro técnicos, que tienen como función: *la supervisión, el control y mantenimiento* de todos los instrumentos que se encuentran estratégicamente dispuestos en las estructuras que conforman la obra, en este caso la **Presa** y el **Paleocauce**, y que permiten conocer distintos parámetros/variables (temperatura, piezometría, caudales de filtración y drenaje, deformaciones, etc.) que definen el comportamiento y estabilidad de las estructuras que controla el sector.

La instrumentación para la auscultación de las estructuras civiles de la Presa y el Paleocauce de la central Piedra del Águila está compuesta por más de **3124** instrumentos instalados y en operación. De este total, fueron seleccionados para ser automatizados aquellos instrumentos más representativos de las magnitudes consideradas importantes para evaluar la seguridad de las estructuras y fundaciones.

### ***Instrumentación de Presa***

La mayor parte de la instrumentación de la Presa se concentra en cuatro secciones principales, coincidentes con los **módulos 18, 22, 28 y 34**. Para el control de las deformaciones se instalaron micrómetros deslizantes, péndulos invertidos, extensómetros de roca y mojones externos para microgeodesia. Completan el equipamiento piezómetros eléctricos, hidráulicos y aforadores. En la tabla 1 se listan los 1780 instrumentos instalados en la presa, se indica a que sistema pertenecen y finalmente si son de lectura automática o manual.

En el resto de los módulos, la instrumentación se basa en algunos piezómetros de contacto hormigón - roca, Acelerógrafos, medidores de desplazamiento triaxiales en las juntas entre bloques y ménsulas utilizadas para la nivelación de las galerías. En cada uno de los módulos especialmente instrumentados se instalaron, empotrados en el hormigón, termómetros, rosetas de extensómetros y tensiómetros.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

<b>COD</b>	<b>TIPO</b>	<b>CANT.</b>	<b>Sistema</b>	<b>Tipo</b>
<b>E</b>	Piezómetro eléctrico	<b>116</b>	STA	<b>A</b>
<b>H</b>	Piezómetro hidráulico	<b>62</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>R</b>	Extensómetro de barra	<b>19</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>U</b>	Péndulo invertido	<b>4</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>Y</b>	Extensómetro (de hormigón)	<b>157</b>	Auspie	<b>A</b>
<b>YD</b>	Micrómetro deslizante	<b>19</b>	Auspie	<b>A</b>
<b>X</b>	Medidor triaxial de Juntas	<b>205</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>Z</b>	Tensiómetro (de hormigón)	<b>54</b>	STA	<b>A</b>
<b>T</b>	Termómetro eléctrico	<b>144</b>	STA	<b>A</b>
<b>W</b>	Acelerógrafo	<b>4</b>	STA	<b>A</b>
<b>Q</b>	Aforador	<b>26</b>	Auspie	<b>A</b>
<b>D</b>	Dren / Filtración	<b>731</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>PD</b>	Punto topográfico (distancia)	<b>95</b>	BASE RED	<b>M</b>
<b>PN</b>	Punto topográfico (nivelación)	<b>140</b>	BASE RED	<b>M</b>

**Tabla 1 Instrumentos de Presa**

### **Descripción de los Instrumentos.**

La mayor parte de la instrumentación de la Presa se concentra en cuatro secciones principales, coincidentes con los módulos 18, 22, 28 y 34. Para el control de las deformaciones se instalaron micrómetros deslizantes, péndulos invertidos, extensómetros de roca y mojones externos para microgeodesia. Completan el equipamiento piezómetros eléctricos, hidráulicos y aforadores.

En el resto de los módulos, la instrumentación se basa en algunos piezómetros de contacto hormigón - roca, Acelerógrafos, medidores de desplazamiento triaxiales en las juntas entre bloques y ménsulas utilizadas para la nivelación de las galerías.

En cada uno de los módulos especialmente instrumentados se instalaron, empotrados en el hormigón, termómetros, rosetas de extensómetros y tensiómetros.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Extensómetros de roca

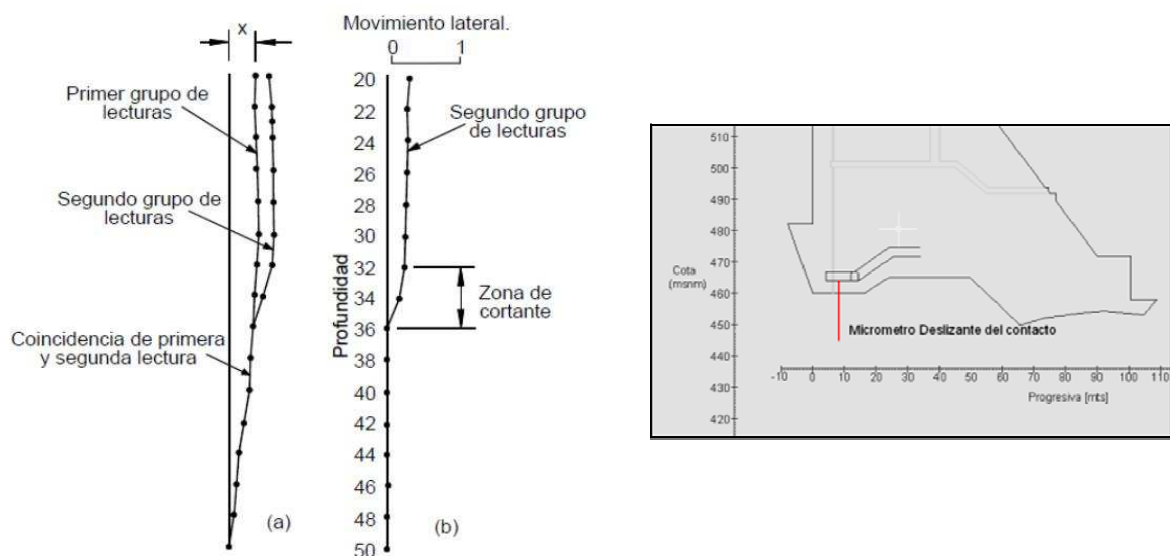
Principalmente se encuentran en los módulos 22 y 28 y se introducen en la roca de fundación con anclajes a distintas profundidades. Se instalaron instrumentos cuya lectura es manual a través de un comparador micrométrico y otros que poseen un transductor eléctrico de cuerda vibrante en el cabezal del equipo, estos últimos telemedidos.

Los extensómetros miden el aumento o disminución de la longitud de un cable que conecta varios puntos anclados dentro de una perforación y cuya distancia de separación, es conocida aproximadamente. Generalmente, se colocan unos pesos para mantener la tensión en los cables. El fondo del cable debe estar en el suelo o en roca dura y estable.

Los extensómetros son muy útiles para determinar movimientos de la superficie de falla cuando las deformaciones son mayores de cinco centímetros, caso en el cual, los inclinómetros no se pueden utilizar por la imposibilidad de la entrada del equipo medidor, al tubo del inclinómetro.

### Micrómetros deslizantes

En los módulos 22, 28 y 34, se instalaron micrómetros deslizantes, para controlar los desplazamientos verticales en el terreno subyacente al contacto de la roca y el hormigón de la presa. Por eso se instalaron en el hormigón tubos para micrómetros deslizantes, estos permiten medir desplazamientos relativos axiales a lo largo de una perforación. Los tubos verticales en los niveles inferiores se introducen en la roca de la fundación constituyendo un importante elemento de análisis para detectar la apertura de fisuras horizontales en la zona de contacto roca - hormigón o en profundidad.

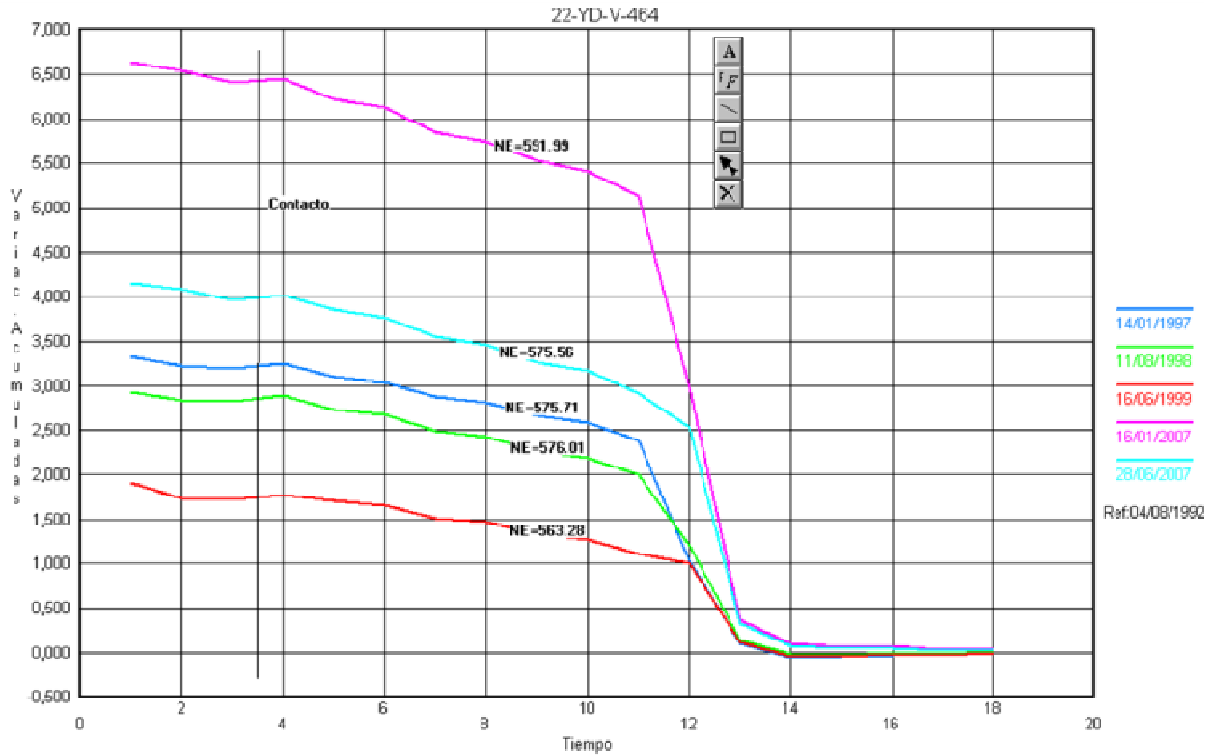


**Figura N° 9 Medición inicial de un Micrómetro Deslizante**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Las mediciones iniciales son muy importantes porque todas las mediciones subsecuentes se basan en las primeras. Esto se puede observar en la **figura N° 9**. Por esta razón, se recomienda tomar inicialmente, dos o tres grupos de medición para comprobar que la medición inicial es correcta y así evitar errores posteriores.

Se toman las lecturas en el fondo y luego se registra cada 1 metro hacia arriba, en cada profundidad. Diferentes mediciones con distintos niveles de embalse se pueden observar en la **figura N° 10**.



**Figura N° 10 Mediciones de Micrómetros Deslizantes.**

### **Piezómetros Eléctricos e Hidráulicos**

Estos instrumentos permiten conocer la subpresión generada por la carga hidráulica del embalse en diferentes puntos de la fundación de la presa: en el contacto roca – hormigón y a profundidad en la roca a 5, 15 y hasta 25 metros. Los aparatos eléctricos son teleducidos, en cambio los hidráulicos son instrumentos de lectura local.

Se utilizan también para medir la presión del agua y el nivel de la superficie freática causada por la infiltración del agua a través de porciones relativamente permeables del terraplén y la fundación. Dichas mediciones pueden llegar a ser críticas debido a posible tubificación u otras condiciones de inestabilidad o infiltración inducida, tales como elevaciones excesivas de la presión hidrostática. Los piezómetros pueden ser diseñados para operar como sistemas abiertos o cerrados.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Piezómetros hidráulicos**

Se utilizan para medir la presión de poros en terraplenes y fundaciones de las presas. Este tipo consiste de uno o dos tubos llenos con fluido y una punta porosa; el piezómetro se conecta a un manómetro en el punto de observación. En el tipo de dos tubos, el segundo tubo sirve como un medio de limpieza para remover gas o sedimento acumulado.

La principal (aunque limitada) para medir presiones negativas, y son menos propensos a daños durante ventaja, tienen un tiempo de lectura menor que con piezómetros de tubo abierto, poseen capacidad construcción.

Las desventajas son las técnicas de mantenimiento anual algo complicadas que requieren entrenamiento especializado, la falta de disponibilidad de estos equipos, altos costos de fabricación, los manómetros deben reemplazarse en promedio cada 10 años y algunas veces es difícil de conseguir los reemplazos adecuados.

### **Piezómetros de cuerda vibrante**

Se instalan en fundaciones para el monitoreo de la presión de agua de poros. Como los otros sistemas de piezómetros cerrados, se emplean en lugares donde la utilización e piezómetros de tubo abierto podrían ser dañados y donde interfieren con el equipo de construcción. En algunas instalaciones se han utilizado para chequear la precisión de instrumentos adyacentes. También se utilizan donde se requiere el monitoreo de presiones de poros negativas.

Entre las ventajas del piezómetro de cuerda vibrante se encuentra la facilidad de lectura y la poca interferencia para la colocación de rellenos. Igualmente, puede utilizarse para medir presiones negativas de agua. El principal uso de los piezómetros de cuerda vibrante, se relaciona con la facilidad para incorporarlos a los sistemas automáticos de adquisición de datos y la posibilidad de transmitirlos a grandes distancias. El único mantenimiento requerido es el cuidadoso mantenimiento de las unidades de lectura y las baterías.

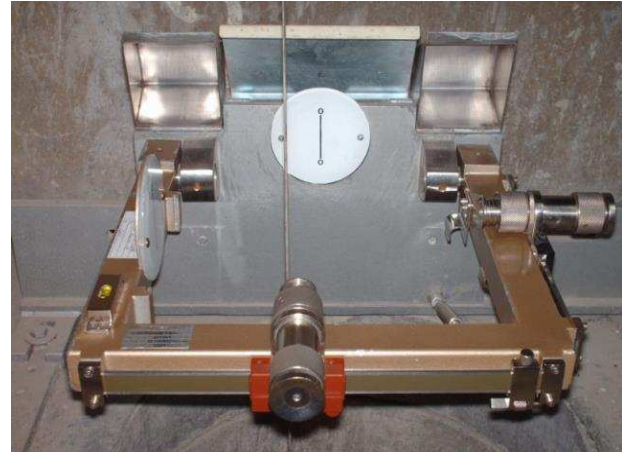
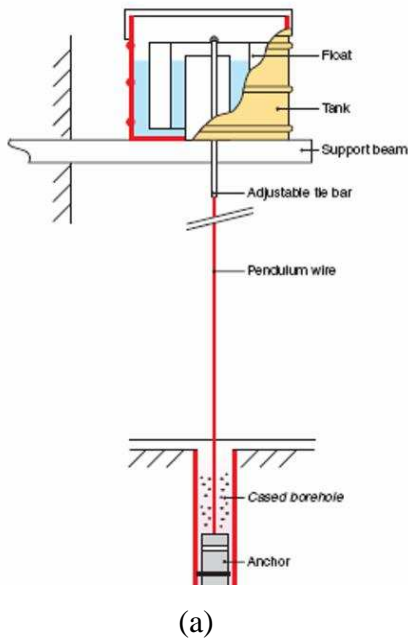
Como limitación se puede mencionar que se requiere algún entrenamiento especial del personal para calibrar y ensayar el equipo antes de instalarlo.

### **Péndulos invertidos**

El péndulo invertido consiste en un hilo de acero inoxidable AISI 304, diámetro 2 mm, tesado entre una fijación inferior y un flotador en el extremo superior. El flotador, de aproximadamente 20 litros de volumen y cuya sección es una corona circular, está contenido en un tanque con agua y aceite como medio líquido sellante. El tanque tiene un tubo central de 100 mm de diámetro a través del cual pasa el hilo. Este dispositivo es muy

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

conveniente para el control de puntos situados en la roca, frecuentemente inundados. El esquema del péndulo invertido se puede observar en la **figura N° 11-a**.



**Figura N° 11 a - Péndulo Invertido y b - Coordinómetro**

Las lecturas se efectúan en los distintos niveles de galerías, donde se han instalado mesas de lectura fijadas al hormigón de la presa. Se usa un coordinómetro para determinar la posición exacta del alambre respecto a una base rectangular fija en cada mesa. El coordinómetro que cuenta con objetivo, visor y parrilla de comando graduado se coloca sobre cada lado de la base obteniendo de esa forma dos lecturas ortogonales entre sí de la posición del alambre. Este instrumento se puede observar en la **figura N° 11-b**.

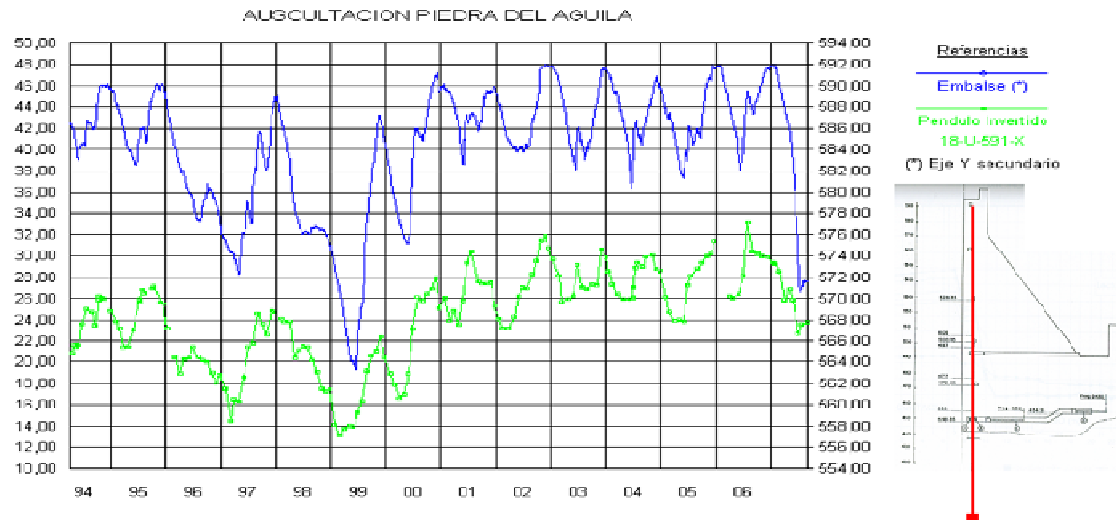
Posteriormente los registros son procesados obteniéndose los desplazamientos del módulo correspondiente a los distintos niveles con respecto a la vertical materializada por el hilo del péndulo. De esta manera, se determina el desplazamiento del punto superior del péndulo normal con respecto al punto de roca donde está fijo el péndulo invertido. Es un instrumento simple, de fácil lectura y mantenimiento y de gran exactitud.

Los desplazamientos medidos corresponden a las direcciones X (en el sentido del flujo) y Z (perpendicular al flujo). Las mediciones obtenidas con los péndulos tienen la ventaja de realizarse rápidamente y aún más, colocarse un registrador gráfico continuo en dos direcciones ortogonales, obteniendo instantáneamente las componentes, radial y tangencial del movimiento.



<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Esto se puede observar en la **figura N° 12**. El inconveniente es que estos datos obtenidos son desplazamientos relativos, entonces con la finalidad de minimizar la relatividad de las mediciones pendulares, en la práctica se combinan estas con las obtenidas por métodos topográficos, especialmente los llamados de Colimación.



**Figura N° 12 Grafico de la medición de un péndulo invertido**

### **Termómetros**

La medición de temperaturas, tanto del ambiente como del interior de la presa, tiene una gran importancia en el cálculo de tensiones en las presas de hormigón. El hormigón en masa está especialmente sometido a las tensiones inducidas por la temperatura derivada de la expansión o retracción, cuando los parámetros de la presa están expuestos directamente a la luz solar en épocas calurosas o a la presencia del viento muy frío. Para la medición de temperaturas en el interior de las presas de hormigón y para conocer su distribución durante las fases de construcción y explotación, se dejan embebidos termómetros de resistencia fundamentalmente en los bloques de mayor altura y en los dos bloques de los estribos.

### **Aforadores y Drenes**

En las distintas galerías construidas en la presa se han instalado aforadores a efectos de poder medir los caudales de drenaje y filtraciones. Los drenes principalmente están ubicados en la galería denominada GID (galería de inyección y drenaje), además existen otros situados en las galerías G300 y G301. Estas galerías fueron construidas en coincidencia de la traza de la falla F300 en la fundación. Los drenes se miden localmente.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Utilizar recipientes calibrados es el método más simple para determinar la cantidad de flujo en los drenes, consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de capacidad conocida, esto se puede observar en la **figura N° 13**. Se utilizan para flujos relativamente bajos, el caudal de filtraciones debe medirse a intervalos regulares, analizando el agua de filtración por si hay decoloración o turbiedad o por si se registra un aumento anormal durante las rutinarias visitas de inspección.



**Figura N° 13 Medición de caudal en Drenes**

Las filtraciones se producen debido al contacto del agua con la presa, la cual se filtra a través del material o por fisuras en el hormigón. En las presas de tierra o escollera, debido al material que constituye la presa deben tener una mayor vigilancia. El aforador de filtraciones es el mejor indicador del comportamiento general de la presa, su importancia reside en el hecho de que la filtración es una magnitud integral y, por tanto, refleja el comportamiento de toda la presa y no solo las situaciones puntuales.

En el interior de la presa se crea una presión intersticial cuya componente vertical produce una fuerza contraria al peso, que es desestabilizadora por ello se miden las presiones intersticiales en los materiales de la presa y del cimiento de la presa para conocer si la distribución de presiones intersticiales y de subpresiones está conforme con lo previsto.

Por razones exclusivamente de explotación, en todas las presas se mide continuamente el

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

nivel de embalse. Es necesario saber su valor en cada momento para poder conocer el volumen de agua embalsada y que sirva de complemento a otro tipo de auscultación.

Los vertederos son uno de los instrumentos más antiguos, simples y confiables para medir el flujo del agua en un canal si se dispone de suficiente caída y la cantidad de agua a medir no es muy grande. Los vertederos son instrumentos efectivos de medición porque si tienen un tamaño y forma determinados en condiciones de flujo libre y régimen permanente, existe una relación definida entre la forma de la abertura determina el nombre del vertedero rectangular, trapezoidal, o de corte en "v". Para un vertedero rectangular o uno trapezoidal, el borde inferior de la abertura se llama cresta y los bordes laterales se denominan lados o extremos. La lámina de agua que fluye sobre la cresta recibe el nombre de napa. Los vertederos operan mejor si la descarga se hace libremente a la atmósfera. Si el vertedero está sumergido o parcialmente sumergido, se presentan presiones negativas que afectan la descarga y producen errores en las mediciones de flujo. En ciertas condiciones, el espacio inferior de la napa se ventila artificialmente para mantener una presión cercana a la atmosférica. La condición de flujo libre es más deseable que la del flujo parcial o totalmente sumergido.

Cada uno de los vertederos usados tiene características que los hacen apropiados para condiciones de operación particulares. En general los vertederos rectangulares sin contracciones o los de corte en "v" de 90 grados proporcionan más precisión en las mediciones que los vertederos Cipolletti y los rectangulares contraídos.

### **Medidor triaxial de Juntas**

El Medidor Triaxial de Juntas está diseñado para medir el movimiento en tres ejes a través de una junta, ya sea, una junta de construcción en concreto o una fractura de tensión en roca. Los escoplos de acero inoxidable yacen orientados en tres direcciones con respecto a la superficie de roca o concreto: horizontal, vertical y lateral, y aceptan un instrumento de medición como un calibre o un micrómetro ya sea digital o dial, que miden la distancia de los yunques de acero inoxidable correspondientes.

La comparación de lecturas con datos base indican la dirección y magnitud del movimiento. Cada indicador de movimiento para juntas consiste de dos partes, cada una con un brazo de zinc cubierto de acero que a su vez tiene un tallo de refuerzo cubierto. Un brazo incorpora los escoplos y el otro la cara medidora. El Medidor Triaxial de Juntas es confiable, preciso y relativamente simple de leer e instalar.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Puntos de Control Topográfico (distancia y nivelación)**

Se instalan en taludes externos a la presa y sobre los estribos para detectar la magnitud de los movimientos verticales y horizontales, los puntos de control topográficos proporcionan un cubrimiento total de los movimientos de la presa en la medida en que ellos representen la superficie del terraplén, la lectura del movimiento de los puntos es una labor ardua y deben ejecutarse con una exactitud de 3 mm. Lo cual encarece los datos significativamente.

Los puntos de control topográfico consisten básicamente de tubos o barras de acero de refuerzo embebidas en concreto en el terraplén o los estribos. El monitoreo de los puntos de control se realiza utilizando los métodos topográficos convencionales: triangulación y nivelación. La nivelación de precisión consiste en determinar las diferencias o variaciones de nivel entre puntos considerados fijos (mojones de hormigón) instalados en zonas estables y puntos de control ubicados en las estructuras a evaluar. Las mediciones se realizan por medio de un nivel electro-óptico de alta precisión.

A través de mediciones realizadas sobre la Red de Control Microgeodésico se determinan los desplazamientos planialtimétricos en la meseta basáltica y Anfiteatro. Para el caso del Paleocauce, se incluyen puntos de referencia instalados en las galerías.

### ***Instrumentación del Paleocauce***

En el área del Paleocauce, tanto en el Sistema de Galerías como en la zona del Anfiteatro, se instaló un importante número de instrumentos de distintos tipos. Para el control de las deformaciones se instalaron Inclinómetros, extensómetros de roca y Puntos de control topográfico. Completan el equipamiento Piezómetros eléctricos, hidráulicos, Freatímetros, Aforadores y Drenes. En la tabla 2 se listan los 1344 instrumentos instalados en el Paleocauce, se indica a que sistema pertenecen y finalmente si son de lectura automática o manual.

Una parte del instrumental es medido en forma automática por medio de un sistema de telemedición (**STA**) que concentra y procesa la información obtenida con una frecuencia preestablecida. El resto de los instrumentos son medidos manualmente complementando las telemediciones y permitiendo un permanente chequeo del instrumental electrónico. Por otra parte, en caso de falla del sistema telemedido, hacen posible que se mantenga el control de los parámetros fundamentales.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

COD	TIPO	CANT.	Sistema	Tipo
<b>E</b>	Piezómetros eléctricos	<b>81</b>	STA	<b>A</b>
<b>H</b>	Piezómetros hidráulicos	<b>39</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>C</b>	Piezómetros Casagrande	<b>19</b>	STA	<b>A</b>
<b>F</b>	Freatímetros	<b>66</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>I</b>	Inclinómetros	<b>7</b>	GT-PLUS	<b>A</b>
<b>I*</b>	Cadena Inclinométrica	<b>4</b>	GT-PLUS	<b>A</b>
<b>Q</b>	Aforadores	<b>15</b>	STA	<b>A</b>
<b>D</b>	Drenes	<b>840</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>PD</b>	Punto topográfico (distancia)	<b>95</b>	Base RED	<b>M</b>
<b>PN</b>	Punto topográfico (nivelación)	<b>120</b>	BASE RED	<b>M</b>
<b>MA</b>	Muestras de agua	<b>5</b>	Auspie	<b>M</b>
<b>COL</b>	Colinacion	<b>47</b>	BASE RED	<b>M</b>
<b>R</b>	Extensómetro en roca	<b>6</b>	Auspie	<b>A</b>

**Tabla 2 Instrumentos Paleocauce**

### **Descripción de los Instrumentos.**

En el área del Paleocauce, tanto en el Sistema de Galerías como en la zona del Anfiteatro, se instaló un importante número de instrumentos de distintos tipos. A continuación se realiza una descripción básica de los instrumentos.

#### **Freatímetros**

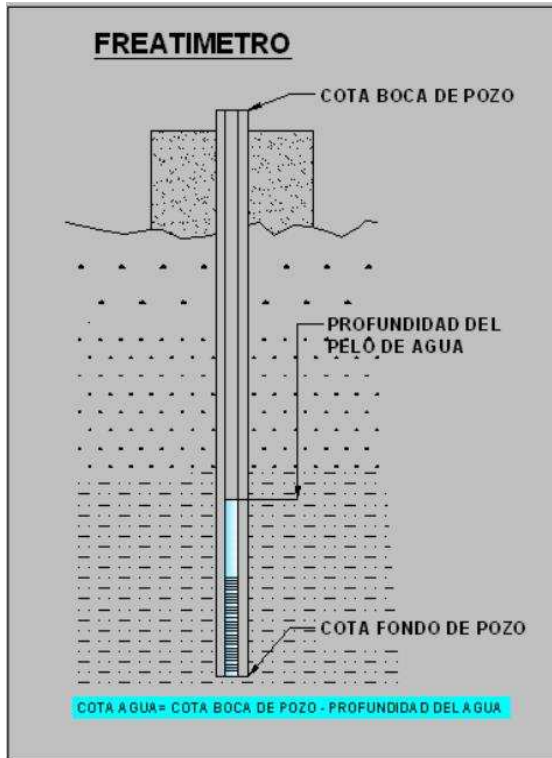
Cada unidad básicamente consiste en un caño de PVC que cuenta con un tubo poroso en su extremo inferior. Este conjunto, instalado en una perforación, tiene el extremo superior accesible para permitir la toma de lecturas. El espacio anular entre la perforación y el tubo está relleno con arena.

Estos instrumentos son similares a los piezómetros casagrande, diferenciándose en el hecho de no tener el tapón superior, por lo que se utilizan para conocer el nivel freático independientemente de la cota de captación de las filtraciones.

La lectura del nivel del agua en el tubo, que se encuentra sobre el nivel de captación, se efectúa por medio de una sonda freatimétrica en el extremo de un cable graduado; esta

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

sonda al entrar en contacto con el agua cierra un circuito eléctrico y acciona una señal luminosa y audible. Para obtener lecturas de mayor precisión en la proximidad del nivel de agua, se efectúa un movimiento ascendente-descendente repitiendo las lecturas. Esto se observa en la **figura N° 14**.



**Figura N° 14 Medición de Freatímetros**

En algunos freatímetros la posición de la perforación y el tubo no es vertical, por lo que la lectura obtenida debe proyectarse sobre un plano vertical. Se ubican en la meseta de basalto, y en la zona del anfiteatro y permiten medir los niveles de agua del acuífero superior. Son instrumentos de lectura local.

### **Piezómetros Eléctricos, Hidráulicos y Casagrande**

Estos instrumentos permiten conocer las presiones de poros en zonas de interés tales como: la cortina de inyecciones (aguas arriba y aguas abajo), los acuíferos superior e inferior, el contacto basalto - aluvión y la zona del Anfiteatro, pudiéndose de esta forma evaluar la eficiencia de la cortina.

### **Piezómetros Casagrande**

Se usan para la medición de la presión del agua en terraplenes, fundaciones o en sitios seleccionados de los contrafuertes de las presas. Pueden instalarse en una perforación o en terraplenes durante construcción.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Los piezómetros Casagrande, son muy similares al piezómetro de tubo abierto con un filtro y con la colocación de sellos de Bentonita. Generalmente, se coloca un filtro o un elemento poroso, para determinar el sitio específico de la medición. La versión original del piezómetro de Casagrande, consiste en un cilindro poroso de cerámica unido con un manguito de caucho que se encuentra conectado a un tubo plástico. Los piezómetros modernos consisten en un elemento poroso de polietileno de alta densidad unido a un tubo de PVC o ABS.

Entre las ventajas tenemos: Operación simple, costo de instalación relativamente barato (aunque la perforación puede ser costosa), confiabilidad, no existe problemas de corrosión, un largo y exitoso período de desempeño, no requiere mantenimiento, los datos tomados del piezómetro pueden utilizarse con poco o ningún cálculo matemático. La punta piezométrica se fabrica de materiales inertes, durables que no se deterioran ni corroen, con ensayos simples se puede determinar su sensibilidad y la permeabilidad del suelo alrededor de la punta.

Limitaciones: Los filtros porosos pueden llegar a obstruirse por la repetida entrada y salida del agua, el tiempo de lectura es relativamente largo, puede ser dañado durante construcción o interferir con el equipo, el tubo debe extenderse lo más verticalmente posible (lo cual excluye el monitoreo de áreas por debajo del embalse), las instalaciones en limo están sujetas a problemas resultantes de la tendencia de partículas finas a penetrar dentro del relleno de arena, reduciendo la sensibilidad del piezómetro

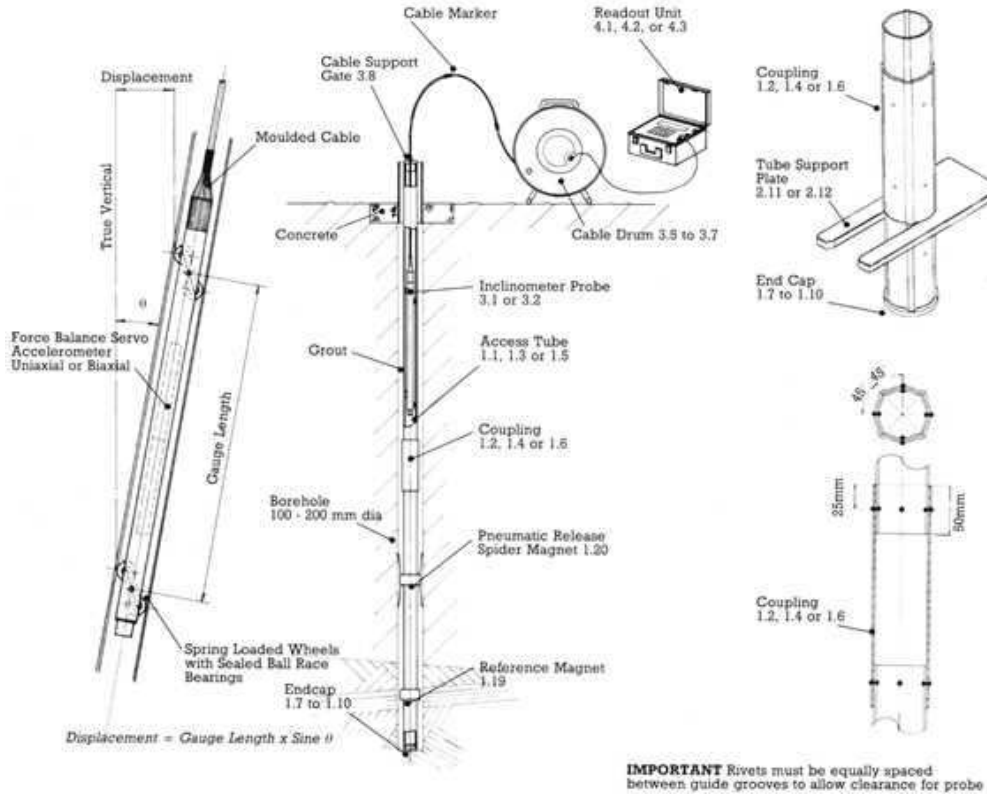
### **Inclinómetros**

Las perforaciones con los tubos ranurados están situadas en el Anfiteatro a efectos de poder detectar desplazamientos del terreno en profundidad. En dos de las perforaciones se utiliza una sonda inclinométrica SOIL. El esquema de la sonda se puede observar en la **figura N° 15**. En la restante está instalada una sonda fija, denominada cadena inclinométrica, marca SISGEO. Son instrumentos de lectura local.

Los Inclinómetros se usan para medir los movimientos laterales y su dirección en estribos, fundaciones, terraplenes y la consolidación inducida por el asentamiento de terraplenes y fundaciones. La medición de asentamientos a través del movimiento vertical del revestimiento del inclinómetro tiene en la actualidad mayor aplicación que el método del IVM. Así, la misma instalación permite medir simultáneamente asentamientos y movimientos laterales. El revestimiento del inclinómetro debe instalarse con juntas deslizantes, las cuales se acoplan a medida que avanza la construcción, situación que

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

brinda la oportunidad para medir los asentamientos, o debe instalarse en perforaciones con juntas de empalme, en estribos o en terraplenes completos, si no se esperan asentamientos importantes.



**Figura N° 15 Sonda inclinométrica SOIL**

Ventajas y limitaciones: Pueden proporcionar información confiable y segura por años si se les proporciona una instalación adecuada, mantenimiento y si se usan procedimientos de monitoreo apropiados.

### **Aforadores y Drenes**

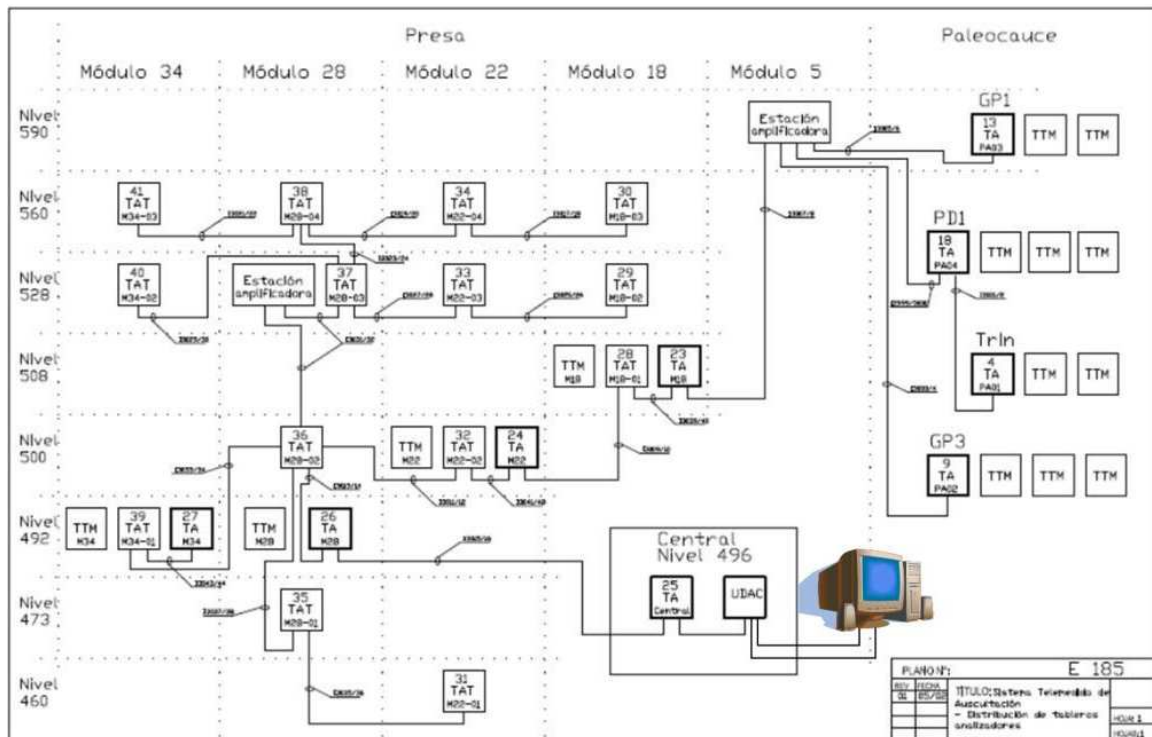
En las distintas galerías construidas en el Paleocauce se han instalado aforadores a efectos de poder medir los caudales de drenaje y filtraciones. Las áreas involucradas son las galerías de inyección (GP3), de drenaje (GP4, GP6, GP9), los pozos de drenaje (PD) y la trinchera de drenaje.



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Sistema Telemido de Auscultación (STA)

El Sistema STA permite realizar lecturas remotas en forma automática de ciertos instrumentos, y almacenar las mediciones en una base de datos después de un proceso de validación de las lecturas, este proceso consiste en comparar la medición con valores umbrales (inferiores y superiores) que el propio programa calcula por un tratamiento estadístico, las lecturas fuera de los rangos delimitados generan alarmas impresas. La distribución de los tableros se puede observar en la **figura N° 16**.



**Figura N° 16 Distribución de Tableros Sistema STA.**

Los sensores de campo de cada instrumento, están vinculados directamente a:

- Tableros Analizadores (TA)
- Tableros Analizadores de Temperaturas (TAT)
- Tableros Terminales de Mediciones (TTM)

Los tableros TTM, no forman parte del sistema de telemidación, en estos tableros se pueden levantar datos con un data-logger o mediante el teclado seleccionando borneras de medición.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El Tablero Analizador del GP1 TA-PA03 se puede observar en la figura N° 17.



**Figura N° 17 Tablero Analizador del GP1 TA-PA03**

Los componentes del hardware del Sistema STA instalado en la Central Hidroeléctrica de Piedra del Águila son los siguientes:

- Unidad de Activación Centralizada (UDAC)
- Personal Computer (PC) de tipo 486/33 mhz.

Estos elementos sirven de soporte para el funcionamiento del software de aplicación desarrollado íntegramente en Lenguaje de programación Clipper versión 5.1a., corriendo bajo entorno operativo MS-DOS/PC-DOS indistintamente.

La UDAC es la responsable de la temporización para la realización de las lecturas programadas, de la detección de las alarmas generadas por los acelerógrafos, de la activación de los tableros analizadores y el suministro de energía para la PC. Se vincula con la PC a través de dos canales serie bajo norma RS 232-C, conectados a los puertos serie COM1 y COM2. El vínculo con los tableros analizadores está implementado a partir de un módem de 300 baudios que trabaja bajo la norma CCITT V.21.

Cuando el sistema realiza una lectura, la PC le comunica a la UDAC el tablero y las borneras a las que está conectado ese instrumento, la UDAC establece comunicación con el tablero correspondiente y siguiendo un programa almacenado en un controlador microprocesador seleccionan el sensor solicitado por el sistema, efectúan la medición y

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

envían la información a la computadora del STA. El sistema realiza las lecturas generales (cada 24 horas) de los instrumentos clase B y lecturas frecuentes (cada 2 horas) de los instrumentos clase A.

### **Instrumentos detectores o clase A**

Los instrumentos detectores son los que por sí solos permiten detectar rápidamente cualquier anomalía de gravedad que se produzca en una estructura. En este grupo se incluyen básicamente algunos piezómetros, los péndulos y algunos aforadores de Presa y Paleocauce. Ya sean teledados o de lectura local, todos estos instrumentos tendrán asociados umbrales de alarmas.

### **Instrumentos de apoyo o clase B**

Los instrumentos de apoyo son los por sus características y ubicación, permiten estudiar evoluciones a largo plazo del estado y comportamiento de las estructuras, y pueden servir de apoyo a los definidos como detectores. En condiciones normales estos instrumentos son objeto de un análisis menos frecuente, en caso de detectarse un comportamiento anormal sirven para realizar un análisis más profundo de la situación. En este grupo se incluyen cierta cantidad de piezómetros, extensómetros, drenes, mediciones de distancia, nivelaciones etc.

## **5.3 Situación Problemática**

Debido a que los tiempos de construcción de una central hidroeléctrica, son de 4 a 6 años, y que el diseño del sistema de Auscultación de la presa es anterior a la construcción, los instrumentos utilizados en el sistema, fueron fabricados en la década de los 80, estos instrumentos fueron instalados durante la construcción de la presa en los puntos elegidos para realizar la medición, de igual modo todos los tableros del sistema STA, poseen plaquetas que contienen circuitos integrados, resistencias, capacitores y transistores, que tienen más de 25 años de funcionamiento. Esto se puede observar en la **figura N° 18**.

En los registros de fallas de estos tableros se puede observar que las mismas se han incrementado considerablemente, de igual modo que se ha incrementado el tiempo de buscar, encontrar y reparar las fallas debido a la complejidad de la distribución de tableros

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



**Figura N° 18 Electrónica del Tablero Analizador TA-PA03**

Para reemplazar los sensores de campo de los instrumentos de medición es necesario realizar perforaciones en la presa lo cual es muy costoso y en algunos casos de acuerdo a la ubicación que requiere el instrumento es imposible reemplazarlo.

Los altos costos relacionados con el reemplazo de los sensores de campo de cada instrumento de medición, los tiempos que insume el desarrollo y adecuación de los Tableros Analizadores, y los sistemas informáticos, sumado a la dificultad para adquirir equipamiento desde el exterior debido a las restricciones a las importaciones aplicadas recientemente en el país, hace que la empresa tenga que evaluar minuciosamente las distintas alternativas de cambio del Sistema Telemido de Auscultación (STA).

## 5.4 Problema

El presente proyecto pretende investigar la situación problemática planteada, para evaluar todas las alternativas de solución, además de abordar otras necesidades adicionales que fueron detectados durante el relevamiento.

El trabajo tiene por objeto buscar solución a los siguientes problemas:

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Necesidad de contar con instrumentos detectores teledados para realizar una correcta para la auscultación de las estructuras civiles de la Presa y el Paleocauce de la central Piedra del Águila.
- La necesidad de adaptar los sensores de campo de los instrumentos de medición, para que funcionen con otros sistemas de recolección de datos.
- El alto costo si es necesario reemplazar los sensores de campo de los instrumentos de medición.
- Disminuir los elevados costos de soporte técnico y el mantenimiento y reparación de fallas de los tableros analizadores.
- La necesidad de adaptar o cambiar los tableros analizadores existentes, utilizando nuevas tecnologías de recolección y transmisión de datos.
- La necesidad de adaptar o rehacer los programas del STA existente. Ya que utiliza sistema operativo y lenguajes de programación propietarios, que ya no poseen soporte técnico y no son compatibles con los nuevos equipamiento de hardware actuales.

## 5.5 Objeto de Estudio

El objeto de estudio del presente trabajo es investigar en las tecnologías disponibles en el mercado para dar una propuesta de solución al problema planteado.

## 5.6 Campo de Acción

El campo de acción sobre el que se trabajará para resolver la problemática del objeto de estudio son:

- Tecnologías de PLC y lenguajes de programación que sean independientes de la marca y modelo de la solución.
- Alternativas tecnológicas que funcionen como Interfaces entre los PLC y los instrumentos de medición utilizados actualmente. (Ejemplo: Interfaces de Cuerda Vibrante)
- Alternativas de comunicación de datos que permitan transferir las lecturas desde puntos remotos, a fin de evitar la necesidad cablear grandes distancias y utilizar amplificadores.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 5.7 Objetivos

Los objetivos que se pretenden lograr con la realización del proyecto, se resumen a continuación.

### **Objetivo general**

El objetivo principal del trabajo es brindar una solución, al menor costo posible, para que el sistema STA continúe funcionando, para poder realizar la correcta Auscultación de las estructuras de la Central HPDA, de acuerdo a los requerimientos del ORSEP.

El correcto y seguro comportamiento de las presas es un asunto de extrema importancia para la seguridad de la población y la economía de un país, por eso en Argentina existe un Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), que entre sus funciones se encuentra la verificación del correcto funcionamiento y regulación de los sistemas de Auscultación utilizados en cada presa.

### **Objetivos específicos**

- Disminuir los elevados costos de soporte técnico y el mantenimiento de equipos que componen el STA y la falta de repuestos por obsolescencia o faltante en el mercado.
- Disminuir los costos en el que deben incurrir el operador de la presa, por el reemplazo de los equipos de auscultación existentes, por nuevos que funcionen con los sensores que tienen instalados actualmente.
- Paliar el problema generado para la compra de Dataloggers debido a las restricciones a las importaciones aplicadas recientemente en la República Argentina.
- Facilitar la realización de lecturas que en el caso de la Central HPDA, debido al número elevado de sensores y en algunos casos a su complejidad es especialmente laboriosa.

### **De Investigación**

- Tecnologías de red para transferencia de información entre sistemas, dispositivos y sensores.
- Tecnologías de programación para PLC.
- Proveer un marco de tecnologías actuales y funcionales que permiten la interacción de PLC con interfaces de instrumentos de cuerda vibrante.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## **Funcionales**

- Gestión de puntos de suministro y medidores.
- Gestión de rutas de lecturas.
- Agilizar el proceso de elaboración y gestión de la información.
- Gestión de usuarios y permisos.

## **Técnicos**

- Uso de plataforma de protocolo abierto y estándar industrial.
- Posibilidad de implementación en entorno distribuido.
- Uso de dispositivos interface de instrumentos de cuerda vibrante que soporten las tecnologías necesarias de PLC y que se encuentren disponible en el mercado.

## **5.8 Idea a Defender**

Con este proyecto se desea probar que actualmente con las tecnologías de PLC, las tecnologías de red y las telecomunicaciones inalámbricas para transferencia de información, y las aplicaciones de desarrollo de software para PLC, se encuentran lo suficientemente desarrolladas para brindar una solución a la recolección de datos de auscultación de la Central Piedra del Águila. El presente proyecto tiene por objetivo dar una solución de bajo costo para la toma de mediciones de instrumentos de auscultación, mediante el uso de PLC y de los actuales sensores instalados en la obra. Busca demostrar que las tecnologías actuales de PLC pueden funcionar, utilizando dispositivos sensores diseñados para trabajar con dispositivos electrónicos. La metodología de trabajo se orienta a la búsqueda de las tecnologías apropiadas que den una solución a la problemática planteada.

## **5.9 Delimitación del Proyecto**

El proyecto se completa con un prototipo de solución, donde se dejen plasmadas las tecnologías seleccionadas y su correcta interoperabilidad para dar solución a la problemática planteada y los objetivos propuestos. **No es objetivo del presente estudio finalizar con un producto totalmente operativo y funcional para ser utilizado en periodo de prueba o en forma productiva.**

Se dejarán sentadas las bases tecnológicas y de implementación para que la solución pueda ser aplicada en otros sistemas de auscultación, y pueda ser fácilmente adaptado y

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

finalizado a fin de ajustarse a las necesidades de cualquier tipo de presa.

Tampoco es objeto de estudio de este proyecto profundizar en los aspectos técnicos de los medios de comunicaciones entre los PLC y los servicios wireless.

Debido a que para la resolución de la problemática no es necesario conocer en profundidad los aspectos técnicos de los parámetros que se están recolectando, ya que la interpretación y uso de las lecturas de los puntos de medición no son parte del presente proyecto, no se ahondara en temas técnicos sobre los parámetros de lectura. Si el lector se encuentra interesado en profundizar sobre los aspectos técnicos de los parámetros de medición, puede consultar cualquier libro de auscultación de presas.

## 5.10 Aporte Teórico

El aporte teórico que proporciona el presente proyecto es una propuesta de selección e implementación de tecnologías actuales y compatibles entre sí, que permitan la interacción entre el sistema desarrollado y los sensores de los instrumentos de medición.

El análisis teórico de las tecnologías involucra el análisis e implementación las siguientes tecnologías:

- PLC: Tipos, prestaciones, sistemas operativos.
- Tecnologías de red: Concepto, representación, características de cada topología, arquitectura cables y switches utilizados.
- Interface para instrumentos de Cuerda Vibrante: Concepto, arquitectura, implementación.
- Aplicaciones PLC: Lenguajes de programación, plataformas de desarrollo.
- Intercambio de datos con aplicaciones wireless: Métodos, protocolos.

El proyecto pretende no solo dar una solución a la problemática puntual descrita, sino brindar los fundamentos teóricos y un marco de solución para todas aquellas necesidades que puedan resolverse mediante el uso de tecnología similar.

## 5.11 Aporte Práctico

Mediante la utilización de dispositivos de auscultación se pretende controlar aquellos parámetros más importantes del comportamiento de la presa, los cimientos y el Paleocauce, para así comprobar su correcto funcionamiento o, por el contrario, detectar la aparición de anomalías que puedan comprometer la seguridad de la obra.



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Tomando en cuenta el auge que ha tomado en la actualidad el uso de PLC, debido a la disminución de costos, mejora de prestaciones, y la infinidad de soluciones a necesidades que se pueden resolver con su uso, es el equipamiento ideal para reemplazar en gran medida equipamiento de relés y electrónico.

El proyecto beneficia en primer lugar a la central hidroeléctrica Piedra del Águila, ya que le permitirá disponer de una plataforma tecnológica actualizada y de bajo costo para la recolección de datos de auscultación. Además de esta empresa, el proyecto también aporta una plataforma completa que puede ser utilizada como base para el desarrollo de soluciones que involucren necesidad de actualización de sistemas similares, que utilicen las distintas presas emplazadas en todo el territorio nacional. Es útil contar con un conjunto de tecnologías probadas e implementadas, como las planteadas en el presente proyecto, que permitan utilizar esos dispositivos para que interactúen con los actuales sensores de medición, para permitir la correcta gestión de los datos de auscultación.

## 5.12 Factibilidad

El tema propuesto es factible, y se puede analizar bajo las condiciones técnicas, económicas y operativas.

### ***Factibilidad Técnica.***

Para el desarrollo del proyecto es necesario evaluar si se cuenta con los recursos técnicos necesarios para su realización, entre los recursos a considerar para el proyecto, tenemos los lenguajes de programación (PLC y PC), el motor de base de datos, el sistema operativo, la red de computadoras y los equipos PLC necesarios.

El desarrollo del proyecto está basado en plan de 90 días de ejecución, para reducir los tiempos, requeridos en pruebas, generación de informes y conclusiones, se trabajara en conjunto con el personal de Mantenimiento Electrónico de HPDA, aprovechando la capacidad y la experiencia que posee el personal debido a distintos proyectos de cambios tecnológicos que está realizando el sector en estos últimos años.

El lenguaje de programación para el desarrollo de la aplicación se utilizará Visual Studio .Net, el sistema gestor de base de datos SQL-Server 2010 o superior, el sistema operativo Windows Server 2010 o superior, es importante destacar que la compañía ya cuenta con el licenciamiento de estos productos, de igual modo que la Infraestructura de Red.

La central HPDA cuenta con una infraestructura adecuada para la implementación de este proyecto, ya que el departamento de informática se ha preparado técnicamente, teniendo una visión hacia donde encaminan las necesidades de sistemas de información de la

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

empresa, la cual se describe a continuación:

Hardware: Tecnología de Red

La red en la que opera el sistema de información de la empresa son las siguientes:

- Tecnología Ethernet
- Topología de Tipo Estrella

Esta red cuenta con los siguientes elementos:

- Servidor de Aplicaciones y Base de Datos
- Servidor Web
- Servidor Proxy
- Servidor de Correo Electrónico
- Estaciones de Trabajo
- Concentrador

Estaciones de Trabajo:

Las estaciones de trabajo con las que cuenta el sector Auscultación para el proyecto son de las siguientes características:

- Pentium D CPU 3,0 Ghz 2,90 Ghz.
- Ram 1,99 GB
- Monitor SVGA
- Disco 20 HB
- CDROM
- Teclado y Mouse
- Tarjeta de Red base 10/100

El sector cuenta ya con 4 estaciones de trabajo para el manejo de la información del sector, estas estaciones de Trabajo poseen sistema operativo: Microsoft Windows XP-Profesional.

De acuerdo a lo expuesto en este apartado, se puede concluir que el proyecto para el STA del sector Auscultación de HPDA es **técnicamente factible**, debido a que la central HPDA cuenta con todo lo necesario para el desarrollo de este proyecto.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### ***Factibilidad Operativa.***

Para determinar la factibilidad operativa del proyecto en el sector Auscultación de HPDA, se tomaron en cuenta aspectos relevantes sobre la aceptación de los usuarios del sistema, el requerimiento del sistema por parte de los diferentes usuarios (Gerenciales, Mandos Medios, Operativos) y el apoyo directo por parte de la Gerencia de la Central.

Por intermedio de una pequeña encuesta que se realizó durante las entrevistas con los usuarios, para definir los requerimientos del proyecto. De acuerdo con el estudio realizado se determina que el proyecto es factible operativamente ya que cuenta con los siguientes elementos:

- Cuenta con el respaldo y aprobación de la Gerencia de la Central.
- Cuenta con la aceptación del sistema por parte de mandos medios e usuarios del sistema.
- Apoyo de los diferentes sectores relacionados con el proyecto.
- Se cuenta con el recurso humano necesario para la operatividad del sistema.

De acuerdo a lo expuesto en este apartado, se puede concluir que el proyecto para el STA del sector Auscultación de HPDA, **es factible operativamente**, ya que en el sector están conscientes de la calidad e importancia de la información del STA, por lo cual existe un apoyo directo de la gerencia, mandos medios y operativos para el desarrollo del proyecto.

### ***Factibilidad Económica.***

Como se puede observar en el punto **8.1 Etapas, Actividades y Duración**, los flujos de trabajos fundamentales, de acuerdo al Proceso Unificado de Desarrollo de Software, se puede resumir en el siguiente cuadro, teniendo en cuenta que el proyecto se trata de un trabajo para el Proyecto de Grado y al ser un empleado de la empresa, se puede tomar como base para el cálculo de costos, 8 horas trabajadas por cada día, para la agenda desarrollada en el punto 8.1 y una estimación sobre lo que en el mercado se está pagando por el desarrollo de un sistema, de \$40 por hora trabajada, o bien \$320 por día, por lo tanto el costo del proyecto es de \$51.200.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Flujo de Trabajo	Duración (Días)	Costos (\$)
<b>Requerimientos</b>	<b>20</b>	<b>6.400</b>
<b>Modelado de la Solución</b>	<b>10</b>	<b>3.200</b>
<b>Análisis</b>	<b>15</b>	<b>4.800</b>
<b>Investigación Tecnológica</b>	<b>30</b>	<b>9.600</b>
<b>Diseño</b>	<b>25</b>	<b>8.000</b>
<b>Implementación</b>	<b>30</b>	<b>9.600</b>
<b>Despliegue</b>	<b>5</b>	<b>1.600</b>
<b>Testing</b>	<b>20</b>	<b>6.400</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>5</b>	<b>1.600</b>
<b>Total Proyecto STA</b>	<b>160</b>	<b>51.200</b>

Por ser el HPDA una empresa generadora de energía eléctrica, del mercado mayorista de electricidad, con una facturación mensual de varios millones de pesos, se puede asumir que existe el presupuesto necesario para el monto planteado. Además este proyecto sirve de apoyo a la visión, misión, objetivos y estrategias de la organización, planteados en el Sistema Integrado de Gestión (SIG) que posee actualmente la central.

Por todo lo anteriormente mencionado y en vista que el proyecto para el STA del sector Auscultación de HPDA, está considerado como una de las prioridades de la Central, por lo cual tiene el respaldo de la dirección, es que se puede considerar que este proyecto también es **factiblemente económicamente**.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 6. Marco Teórico

La creación de una represa constituye una de las obras de ingeniería más importantes debido al riesgo potencial que ésta implica para las poblaciones y bienes materiales ubicados aguas abajo de la misma. La primera etapa de la construcción de una presa de hormigón, se puede observar en la **figura N° 19**, es la construcción de una estructura de desvío, que se utiliza para encausar el río durante la mayor parte de la obra.



**Figura N° 19 Construcción de obra de desvío**

Las grandes presas de hormigón son infraestructuras vitales para el suministro continuo de agua y la generación de energía. Las fuerzas de carga y descarga en una presa causan tensión en la estructura y deben ser auscultadas y controladas, a fin de garantizar su buen funcionamiento, a lo largo de toda su vida útil, una de las modalidades de control está constituida por un sistema de auscultación o red de instrumentos geotécnicos que son instalados en el cuerpo de la presa, en la fundación y en las zonas circundantes aguas abajo. Dicha red permite conocer parámetros tales como: esfuerzos, desplazamientos, presiones de poros, filtraciones, entre otros, que proporcionan información acerca del comportamiento de la estructura, bajo la influencia de distintos factores y eventos extraordinarios (como sismos), permitiendo detectar cualquier indicio de condiciones adversas al diseño. La tensión puede ser debida a las fluctuaciones en el nivel del agua, al asentamiento de la estructura, a desprendimientos de tierra cercanos o la actividad sísmica. La detección precoz del problema potencial permite su reparación antes de que se produzca un desastre, o advertir a tiempo a las autoridades para minimizar los riesgos.

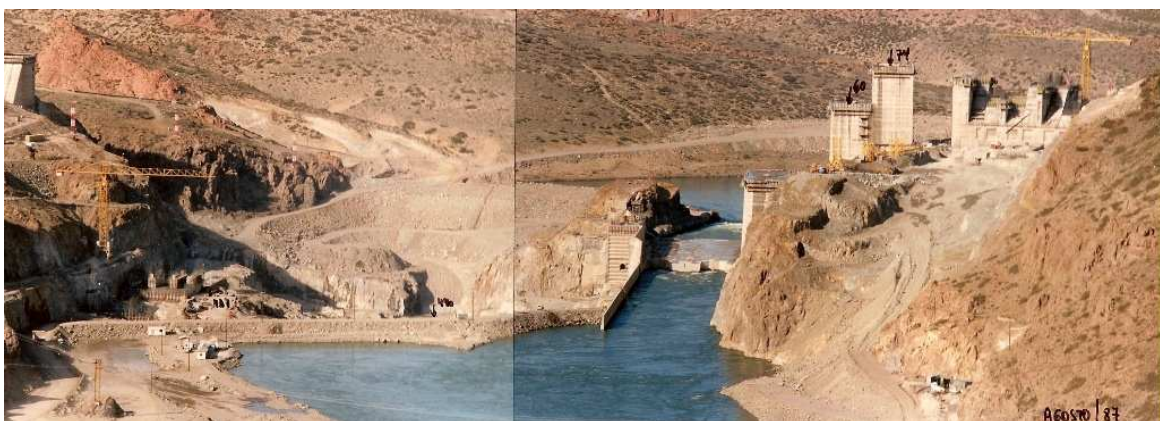
<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Los trabajos para encauzar el río, comenzaron en enero de 1987 con la construcción de una ataguía principal de cierre, empleando material aluvional para la conformación de los espaldones, arcillas y gravas para el núcleo impermeable y un enrocado de protección sobre la cara de aguas arriba de la misma, que es la que está en contacto con el cauce del río. Posteriormente se ejecutó la ataguía de aguas abajo, para luego comenzar con el bombeo del recinto e inicio de las excavaciones. Esto se puede observar en la **figura N° 20**.



**Figura N° 20 Desvío del cauce del Río**

El objetivo de la Preparación de la superficie de apoyo, es alcanzar una superficie de fundación adecuada, entendiéndose por tal a aquella de geometría regular sin áreas singulares que provoquen concentración de tensiones, conformada por roca sana o levemente meteorizada, y libre de todo material suelto. Por lo cual es necesario excavar para alcanzar la roca de fundación. Estas tareas se pueden observar en la **figura N° 21**.



**Figura N° 21 Extracción de materiales para cimentación de la presa.**

Una vez completado el retiro del material de tipo aluvional depositado en el lecho del río, se procedió a acondicionar la superficie de apoyo de los módulos.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El procedimiento para acondicionar la superficie de apoyo de los módulos fue el siguiente:

- Remoción de aquellas crestas de rocas salientes de modo de conseguir planos de trabajo regulares con solución de continuidad.
- Limpieza profunda de la superficie obtenida, eliminando detritos y materiales sueltos de los sectores de hendiduras y fisuras, empleándose medios mecánicos, manuales y finalizando con aplicación de aire y agua a presión.
- Tratamiento de fisuras y hendiduras en forma localizada con lechadas o morteros cementicios.
- Regularización de toda la superficie con hormigón, garantizando el recubrimiento de la roca en 50 cm de espesor.

Algunas de estas tareas se pueden observar en la **figura N° 22**.



**Figura N° 22 Acondicionamiento de la superficie de apoyo de los módulos.**

Piedra del Águila es la única presa del tipo de gravedad que hay en el norte de la Patagonia, construida en hormigón convencional y de sección transversal trapecial, con una estructura del modulo más alto de 172 metros de altura.

El Sistema de auscultación proyectado para la presa ha sido diseñado para realizar el control de seguridad de las obras durante las etapas de construcción, primer llenado y operación futura. Para ello se han distribuido distintos tipos de instrumentos de auscultación en aquellos sectores considerados más sensibles para detectar, con la mayor

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

anticipación posible, anomalías o cambios en el comportamiento previsto en el proyecto.

Como se explicó en el punto 5.3. Situación Problemática, los tiempos de construcción de una central hidroeléctrica, son de 4 a 6 años, y algunos de los instrumentos instalados en la presas como, Piezómetros eléctricos, Inclínómetros, Extensómetros, Tensiómetros (de hormigón) y Termómetros eléctricos, fueron instalados durante la edificación de la presa en los puntos elegidos para realizar la medición. La preparación para la instalación de estos instrumentos se puede observar en la **figura N° 23**.



**Figura N° 23 Instalación de Piezómetros en contacto con el módulo.**

Los módulos que más se instrumentaron son los **M18, M22 y M28 y M34**. Los instrumentos incluidos en este sector, se encuentran distribuidos en gran parte del contacto del módulo, interesa particularmente evaluación de las presiones neutras en toda la fundación además de los niveles piezométricos en la zona del contacto que es influenciada por la presencia de las cortinas de inyección y drenaje. El monitoreo se prevé a nivel del contacto, y también a 5, 15 y 25 mts de profundidad a partir del mismo.

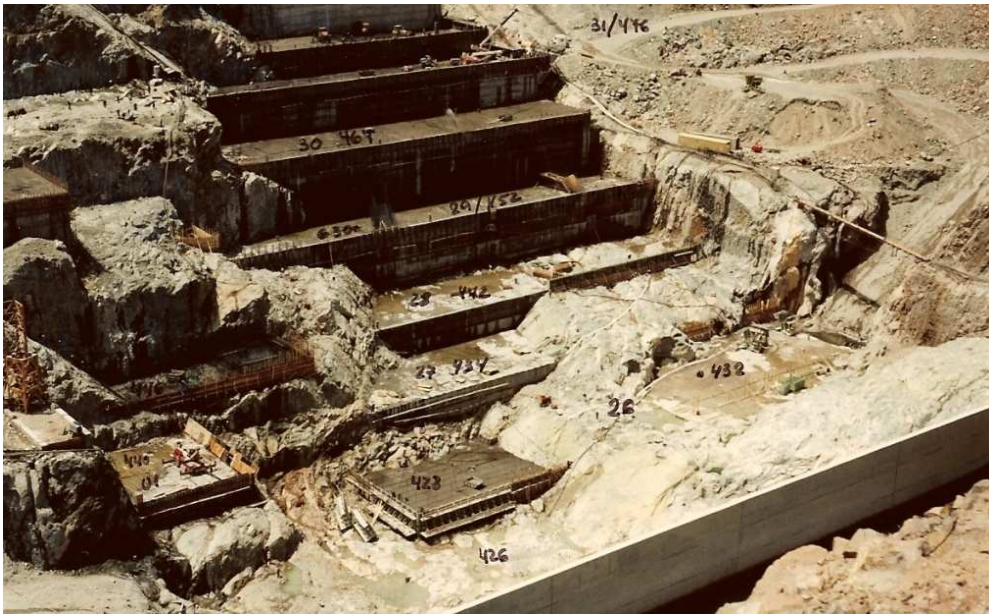
La roca de fundación ha sido tratada mediante la ejecución de un extenso programa de perforaciones e inyecciones de consolidación en todo el contacto de la presa con las laderas y el lecho inferior. El tratamiento fue completado con la materialización de una cortina de inyecciones, para lograr la barrera de contención a la escorrentía del subsuelo.

También se conformó una cortina de drenaje mediante perforaciones a rotopercusión desde la galería inferior de la presa, una vez finalizado todo tratamiento de inyecciones.



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Estos trabajos desde el módulo M26 al M 32 se pueden observar en la **figura N° 24**.



**Figura N° 24 Evolución de módulos M26 al M32.**

Como se mencionó en las características principales de la central, la presa está compuesta por 38 bloques individuales de hormigón, que van desde el módulo M5 al M42, veinticinco de ellos constituyen los estribos de la presa, 15 del margen izquierdo (M5 al M19) y 10 del margen derecho (M33 al M42), mientras que los 13 bloques restantes (M20 al M32) conforman el cierre principal propiamente dicho, que representa una longitud total de coronamiento de 820 m. La evolución posterior con el avance de la obra, de los distintos módulos se puede observar en la **figura N° 25**.



**Figura N° 25 Evolución de módulos de la presa.**

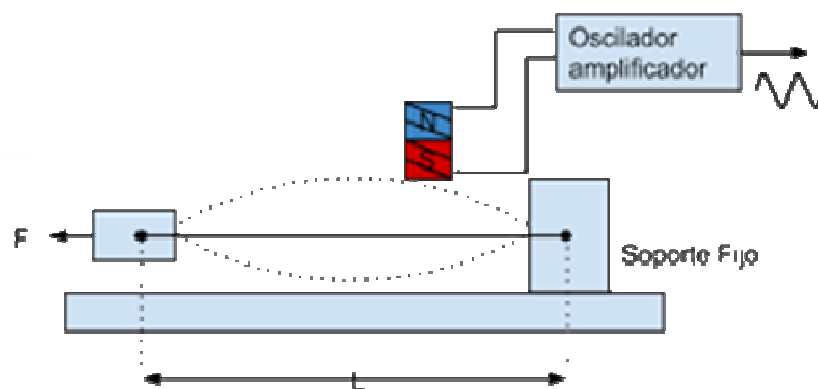
<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Para reemplazar los sensores de campo de los instrumentos de medición es necesario realizar perforaciones en la presa lo cual es muy costoso y en algunos casos de acuerdo a la ubicación que requiere el instrumento es imposible reemplazarlo. Por ese motivo se debe estudiar el funcionamiento de los sensores de: Piezómetros eléctricos, Extensómetro de hormigón y Termómetros eléctricos, que fueron instalados durante la construcción de la presa. El factor común de estos instrumentos es que se trata de Sensores de Cuerda Vibrante (SCV).

## 6.1 Marco teórico: Sensor de Cuerda Vibrante.

Los sensores de cuerda vibrante (SCV) se han implementado de numerosas maneras y aplicado en diversas áreas; incluyendo la Ingeniería Civil, donde la técnica es ampliamente utilizada hoy en día, en densidad y viscosidad de los fluidos, presión de agua, agua intersticial, presión, las mareas, las tensiones dentro de las estructuras, los asentamientos y la inclinación de edificios, presas, paredes y otros.

El elemento sensor es una cuerda de acero tensionada, y su frecuencia de resonancia de vibración es una función de la tensión en la cuerda. Estos sensores tienen una gran ventaja sobre los sensores analógicos, ya que su salida es una señal que depende del tiempo; el cual puede ser medido directamente por un sistema digital. Esto elimina la necesidad de convertir una señal analógica a digital.



**Figura N° 26 Sensor de cuerda vibrante**

Este tipo de transductor posee una cuerda metálica, (generalmente de acero), sujeta en dos extremos, uno fijo y otro móvil, como se aprecia en la figura N° 24, el sensor es capaz de convertir, las oscilaciones "mecánicas" de una cuerda, en variaciones de flujo magnético y de Campo Eléctrico. Generalmente es utilizado para medir presión (a través de un diagrama), densidad de algún medio, desplazamiento y hasta temperatura.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Así por ejemplo, en un sensor de cuerda vibrante utilizado para medir presión, un aumento de la presión sobre el diafragma hace disminuir la tensión del hilo sujeto al extremo móvil. Una disminución en la tensión del hilo hace disminuir la frecuencia de resonancia de la misma manera que al destensar una cuerda de guitarra baja su frecuencia. Por tanto, la frecuencia de resonancia del sensor de hilo vibrante disminuye con el aumento de presión.

Los Profesionales de la Ingeniería Civil, sostienen que los SCV tienen un buen desempeño, y sobre todo cuando la confiabilidad es a largo plazo; la deriva de cero es mínima y la señal tiene una alta inmunidad a ruidos eléctricos. Generalmente los sensores de cuerda vibrante son conocidos como Sensores Resonadores, el sensor resonador tiene una frecuencia mecánica que depende de sus parámetros, se basa en un fenómeno físico resonante. La frecuencia de salida generalmente depende de la magnitud de interés que afecta a la frecuencia de oscilación.

Generalmente los sensores de cuerda vibrante son conocidos como Sensores Resonadores, el sensor resonador tiene una frecuencia mecánica que depende de sus parámetros. El elemento sensor es una cuerda de acero tensionada, y su frecuencia de resonancia de vibración es una función de la tensión en la cuerda. Debido a que se utilizan cuerdas metálicas, la excitación y detección por lo general depende de un acoplamiento electromagnético, que atraen a las cuerdas metálicas que poseen un campo magnético interno. Por otra parte el movimiento de la cuerda magnetizado por delante de la bobina induce en este último un voltaje eléctrico, cuyo tiempo de variación, cuenta para el movimiento de la cuerda.

Varias implementaciones toman ventajas de estos efectos, los métodos más utilizados, y que se pueden observar en la **figura N° 27**, son los siguientes:

### **Método de Resonancia.**

Es muy frecuente encontrar en los SCV con dos electroimanes. El primero de ellos se comporta como un actuador, mientras que el segundo funciona como un sensor. Cuando se inserta en un circuito eléctrico, ambos actúan como osciladores sintonizados en la frecuencia de resonancia principal de la cuerda.

### **Método del Impulso.**

Posee un solo electroimán, que sirve como un actuador de choque y como un sensor de velocidad. Un impulso eléctrico a través de la bobina del electroimán produce un breve

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

punto de fuerza en la cuerda. Entonces, suponiendo que el acople electromecánico no es significativo entre la cuerda y el electroimán, la cuerda oscila libremente. Suponiendo una amortiguación mínima en todos los modos, el primer modo da una respuesta libre después de un tiempo, dependiendo principalmente de la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda. Entonces la señal eléctrica resultante en la bobina del electroimán oscila en la misma frecuencia. Sin embargo la diferencia de frecuencia es proporcional al inverso de la longitud de la cuerda, por lo tanto cuanto más largo sea la cuerda mayor será la permanencia de ese modo en esa respuesta. El electroimán a base del Método del Impulso, permitió a los SCV, ser totalmente automáticos y su uso se extiende ampliamente.

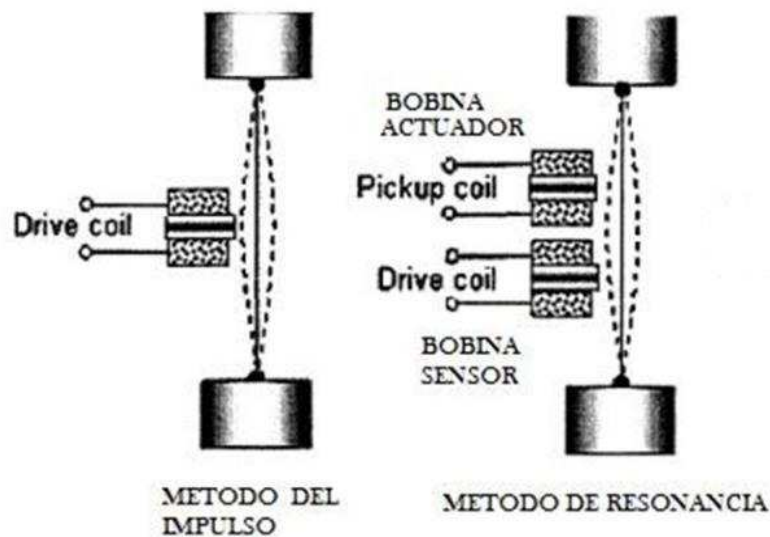


Figura N° 27 Métodos de medición de sensor de cuerda vibrante

### Características ondulatorias de una cuerda estirada.

Se puede analizar una cuerda estirada para determinar sus frecuencias naturales. La condición de frontera es que los extremos están fijos, así que debe haber un nodo en cada uno. El número de segmentos cerrados o curvaturas de una onda estacionaria que caben entre los nodos de los extremos (en la longitud de la cuerda) es igual a un número entero de medias longitudes de onda, es decir  $L = \lambda/2$ ,  $L = 2(\lambda/2)$ ,  $L = 3(\lambda/2)$  y así sucesivamente, en general:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{Ec-1}$$

Para  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n} \quad \text{Ec-2}$$

La rapidez de una onda en una cuerda estirada es:

$$v = \left( \frac{Ft}{\mu} \right)^{1/2} \quad \text{Ec-3}$$

Donde:

$\mu = m / L$  (Masa por unidad de longitud) y es la densidad lineal de la masa.

$Ft$  es la tensión de la cuerda.

Finalmente la ecuación de la frecuencia natural de una cuerda estirada sería:

$$fn = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L} = \frac{n}{2 \cdot L} \cdot \left( \frac{Ft}{\mu} \right)^{1/2} \quad \text{Ec-4}$$

### **Variación de longitudes de la cuerda vibrante en función de la frecuencia.**

Los sensores de cuerda vibrante tienen una gran reputación por su estabilidad a largo plazo. A menudo son más adecuados que los de puentes de resistencias en casos de ambientes con interferencias o donde se requieren longitudes grandes de cable. Utilizan un cambio en frecuencia de un hilo vibrante para medir la tensión/fuerza.

La menor frecuencia de oscilación transversal de una cuerda o hilo tenso vibrante viene dada por la libre vibración de una cuerda estirada. Se escribe la ecuación simple de onda que rige una pequeña amplitud transversal, la frecuencia fundamental será:

$$f = \frac{1}{2 \cdot l} * \left( \frac{\sigma}{\rho} \right)^{1/2} = \frac{1}{2 \cdot l} * \left( \frac{T}{\mu} \right)^{1/2} \quad \text{Ec-5}$$

Dónde:  $L$  denota la longitud de la cuerda,  $\rho$  la densidad de su masa,  $\sigma$  la tensión normal de la referencia del estado de equilibrio estático,  $\mu$  su densidad por unidad de longitud y  $T$  su tensión. Por supuesto, si  $S$  es el área de la sección transversales, tenemos  $\mu = S \rho$  y  $T = \sigma S$ . Todas estas cantidades son constantes a lo largo de la cuerda.

Considerando ausencia de ondas longitudinales se tiene lo siguiente:

$$\sigma = Ey \cdot \varepsilon$$

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Dónde:

$E_y$  = es el módulo de Young.

$\varepsilon = \Delta L/L$  es la tensión global.

En este entorno las frecuencias asociadas al terreno, con las pequeñas vibraciones en torno a un determinado estado de equilibrio se tienen:

$$F = \frac{1}{2 \cdot L} * \left( \frac{E_y \cdot \varepsilon}{\rho} \right)^{1/2}$$

Despejando  $\varepsilon$  se tiene:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\rho}{E_y} * (F^2 \cdot 4 \cdot L^2)$$

Si se define  $L$  como la longitud inicial  $L_0$ ;  $\Delta L$  como la diferencia de longitudes ( $L_2 - L_1$ ) de diferentes estados de tensiones, lo que a su vez produce una diferencia de frecuencia  $f_2 - f_1$ , que sería la frecuencia del terreno, donde  $f_1$  es la frecuencia de resonancia inicial. Por lo tanto la primera aproximación será:

$$\frac{L_2 - L_1}{L_0} = \frac{\rho}{E_y} \cdot ((f_2^2 - f_1^2) \cdot 4 \cdot L_0^2)$$

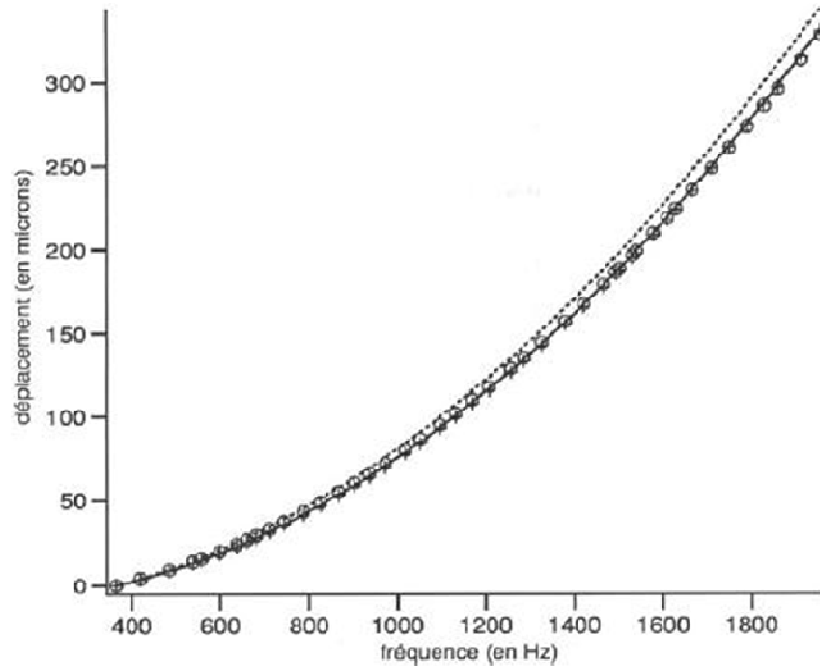
Si llamamos  $K = L_0^3 \cdot \rho \cdot 4 / E_y$

Lo cual aproximadamente da:

$$L_2 - L_1 = K \cdot (f_2^2 - f_1^2) \quad \text{Ec-6}$$

$K$  = es una constante suministrada por el fabricante, conocida como factor de conversión o de calibración. Cuando esta constante no es suministrada, se debe someter a diferentes tensiones a la cuerda para graficar su respectiva frecuencia, tal como se muestra en la **figura N° 28**, donde se observan: Curva experimental (pequeños círculos), Curva teórica (línea continua).

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



**Figura N° 28 Diferencia de longitudes de la cuerda en función de la frecuencia.**

Esta ecuación **EC-6**, representa actualmente la forma de medir una cuerda vibrante, la medición de la frecuencia del terreno será aproximadamente la variación de longitud de la cuerda, es decir, para entender esta ecuación, se debe partir primero de la medición del sensor a su frecuencia de resonancia natural: "suspendido en el aire", esta frecuencia es la que comúnmente aparece en los datos del fabricante como  $f_0$  y en la ecuación anterior sería igual a  $f_1$ , la cual corresponde a  $L_1=L_0$ , en los datos del fabricante, y lo cual no es más que la tensión ( $\epsilon_0$ ) inicial a la frecuencia natural.

Por lo tanto

$$L_2 - L_0 = K \cdot (f^2 - f_0^2) \quad \text{Ec-7}$$

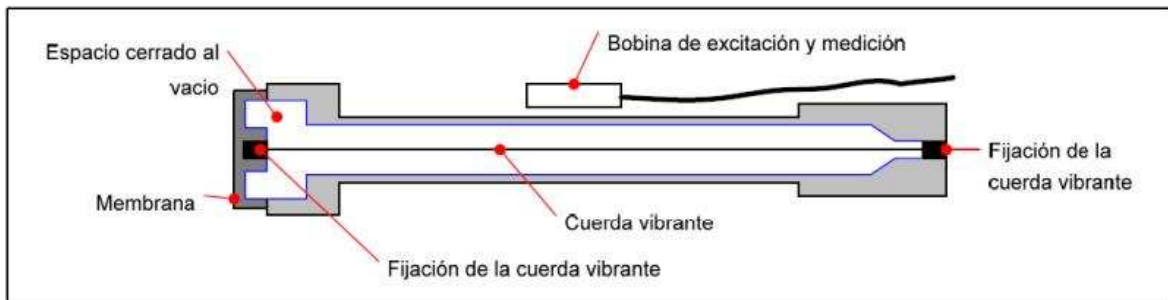
### **Funcionamiento de un Piezómetro de cuerda vibrante.**

La presión hidráulica o neumática, aplicada sobre una membrana inoxidable y elástica, produce deformaciones en la cuerda vibrante unida a la membrana. El cuadrado de la frecuencia de la cuerda varía proporcionalmente a la presión aplicada, según la fórmula  **$P-P_0=k(F^2-F_0^2)$**  (Ec-7), después de corregir o despreciar el error de efecto térmico.

El instrumento utiliza un diafragma sensible de acero inoxidable al cual se conecta un elemento de cuerda vibrante. En uso, las presiones cambiantes en el diafragma ocasionan que se desvíe y esta desviación se mide como un cambio en la tensión y frecuencia de vibración del elemento de cuerda vibrante. De acuerdo a Ec-7, el cuadrado de la frecuencia

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

de la vibración es directamente proporcional a la presión aplicada al diafragma. La bobina de excitación y medición, está colocada próxima a la cuerda, ver la **figura N° 29**. Las consolas portátiles de lectura están disponibles para proporcionar la excitación, condicionamiento de la señal y lectura de salida del instrumento. Los sistemas de registro de datos (dataloggers) también están disponibles para la recolección remota de datos de sensores múltiples sin personal operativo.



**Figura N° 29 Ejemplo de Piezómetro de cuerda vibrante.**

La instrucción de lectura de un sensor de cuerda vibrante, mediante un registrador de datos (datalogger), excita las bobinas con una frecuencia de barrido. El datalogger tarda 150ms en efectuar el barrido de todas las frecuencias. Idealmente, todas las frecuencias excepto la que coincide con la frecuencia de resonancia del hilo desaparecen en muy poco tiempo. El hilo vibra a la frecuencia de resonancia durante un tiempo relativamente largo, y de esta forma corta las líneas de flujo en las bobinas de excitación y medición, induciendo en las bobinas la misma frecuencia de la cuerda vibrante. Los cables conectados a las bobinas van al datalogger. Después de esperar que las frecuencias no resonantes expiren (20ms), el datalogger mide de forma precisa el tiempo que tarda en recibir un n° especificado de ciclos definidos por el usuario.

Conociendo el tiempo y el n° de ciclos, el datalogger calcula el cuadrado de la frecuencia ( $1/T^2$ ) donde T es el periodo en milisegundos). Tal resultado sirve para evaluar el comportamiento actual, comparándolo siempre con su frecuencia de resonancia inicial. Generalmente se realizan otras referencias de lecturas, con carga y sin cargas, es decir; al introducir un sensor en el terreno, sin tapanlo, se registran los valores de frecuencia sin carga, después de cubrir el pozo donde está ubicado el sensor, se realiza la segunda lectura de frecuencia, la cual sería con carga, y la diferencia de estos valores, multiplicado por un factor k, serían las longitudes iniciales de la cuerda vibrante.



<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Los Piezómetros de Cuerda Vibrante difieren de otros tipos de sensores de presión en que indican una lectura a cero presión. Por lo tanto es imperativo que se obtenga una lectura inicial de cero presión para cada piezómetro, ya que esta lectura se usará en toda reducción de datos posteriores. Hay diferentes maneras de hacer esto, pero el elemento esencial en todos los métodos es que se permita que el piezómetro se estabilice térmicamente en una temperatura ambiente constante, en tanto que la presión en el piezómetro es solamente atmosférica. Debido a la manera en que el piezómetro está construido, la temperatura de todos los elementos diferentes tarda aproximadamente de 5 a 15 minutos en ecualizarse.

### **Ventajas del sistema de cuerda vibrante:**

- Mediciones a largo plazo en condiciones difíciles
- Robustez y estabilidad con gran resolución
- Sin influencia debida a la longitud del cable
- Sistema acreditado e implantado con éxito
- Sistema de medición muy robusto e inalterable
- La medida de los instrumentos de cuerda vibrante no se ve afectada por pérdidas de aislamiento en los cables o conexiones ligeramente defectuosas, lo que constituye una ventaja respecto a los sensores potenciométricos.

## **6.2 Marco teórico del campo de acción.**

El sistema de Auscultación de Piedra del Águila cuenta con una importante variedad y número de instrumentos que, estratégicamente dispuestos, permiten conocer distintos parámetros / variables (temperatura, piezometría, caudales de filtración y drenaje, deformaciones, etc.) que definen el comportamiento de las estructuras que conforman la obra. Tres tipos de instrumentos utilizan como medio de medición el sistema de cuerda vibrante, descrito en el marco teórico de objeto de estudio. Estos instrumentos son: Piezómetros Eléctricos, Termómetros y Extensómetro de Hormigón, que se describen a continuación.

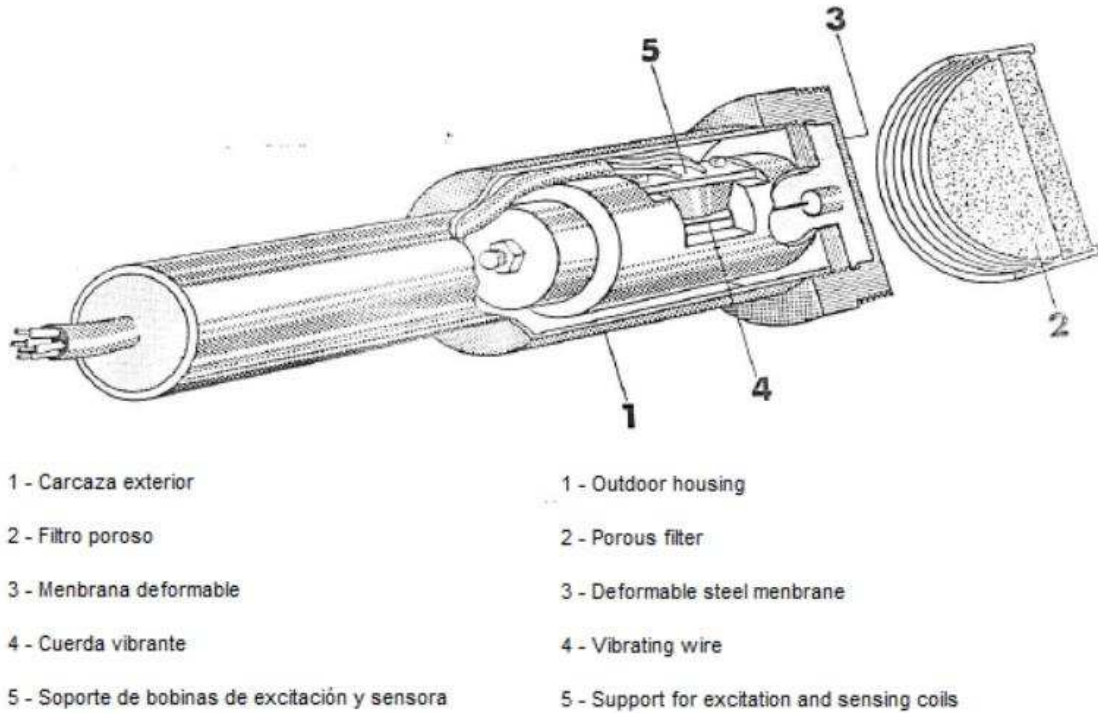
### **Piezómetros Eléctricos**

Instrumento basado en el principio de la cuerda vibrante, destinado a la medición de subpresiones hidrostáticas, niveles piezométricos, presiones intersticiales, etc.

La presión hidrostática que se desea medir actúa sobre una delgada membrana,

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

produciendo la deformación elástica de la misma y, consecuentemente, la variación de la tensión en la cuerda sensora, uno de cuyos extremos está anclado a la membrana.



**Figura N° 30 Piezómetro Eléctrico de cuerda vibrante, instalado en HPDA**

Por calibración, mide directamente la presión. Posee un filtro de material poroso y una placa de acero perforada, para proteger a la membrana primero, y segundo para evitar que la presión del suelo en que están instalados incida sobre la membrana, alterando el valor de la presión de agua que se quiere medir.

Por diseño, la membrana trabaja en un régimen que puede considerarse absolutamente elástico, sin existir deformaciones permanentes ni histéresis apreciables que incidan en las mediciones, ni aun en bruscos cambios de las presiones que actúan. Por lo que puede decirse que la respuesta del instrumento ante las variaciones de presiones, es casi instantánea.

La ventaja, frente a los piezómetros hidráulicos tradicionales, de requerir muy poco volumen de agua para acusar la diferencia de presión, hace a este instrumento ideal para su instalación en los núcleos impermeables de las presas de tierra.

No obstante, puede ser colocado en cualquier tipo de suelos, en roca, o aun en elementos de hormigón.

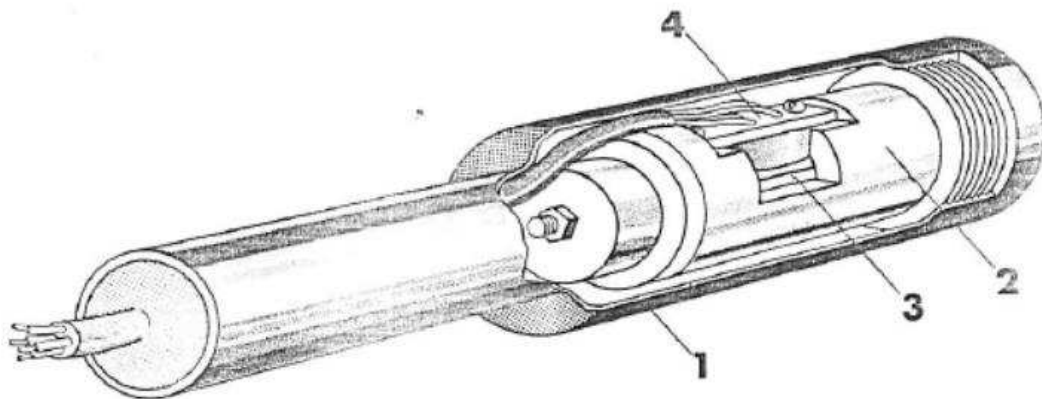
<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## Termómetros

Instrumento basado en el principio de la cuerda vibrante destinado a la medición de temperatura.

Consta de un chasis construido de un material de muy diferente coeficiente de dilatación térmica que la cuerda sensora alojada en su interior. Por lo tanto, los cambios de temperatura ocasionan una variación de la tensión de la cuerda sensora. Todo el instrumento se encuentra protegido por una carcasa exterior que es absolutamente estanca a la presión del agua.

Por calibración se mide directamente la temperatura, y debido a las dimensiones reducidas de este instrumento, no produce discontinuidad en la masa de suelos u hormigón, donde se lo instala.



- 1.- Carcaza exterior
- 2.- Chasis sensible a la variación de temperatura
- 3.- Cuerda vibrante
- 4.- Soporte de bobinas excitadora y sensora

- 1.- Outer housing
- 2.- Temperature sensitive chassis
- 3.- Vibrating wire
- 4.- Support for excitation and sensing coils

**Figura N° 31 Termómetro de cuerda vibrante, instalado en HPDA**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## Extensómetro de Hormigón

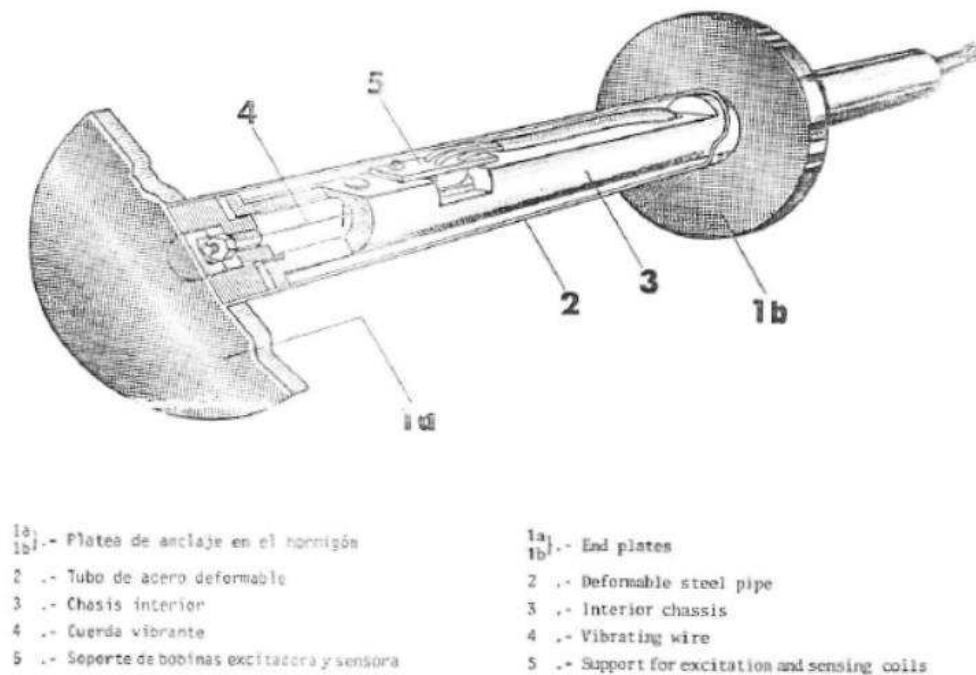
Instrumento destinado a medir deformaciones en el hormigón simple y armado, basado en el principio de la cuerda vibrante.

Las plateas circulares de ambos extremos, definen la longitud de base y son los elementos que, anclados en el hormigón, acompañan a este en sus deformaciones, deformando a su vez el tubo de acero al cual se encuentran solidariamente montados.

El tubo de acero posee, por diseño, una resistencia mecánica equivalente a la del cilindro de hormigón sustituido por este. La deformación de este tubo de acero modifica la tensión de la cuerda sensora que se encuentra en su interior. Midiendo la deformación del hormigón, y conociendo el módulo de elasticidad del mismo se puede conocer el estado tensional.

Este instrumento se incorpora al hormigón durante su elaboración, y es estanco a la presión del agua, gracias a sus dimensiones reducidas, no produce discontinuidad en la masa en la que esta embebido.

Normalmente, se los instala en tres direcciones, perpendiculares entre sí, para conocer la resultante espacial de la tensión. Las mediciones pueden comenzar en el mismo momento en que son instalados, pudiéndose en consecuencia, determinar contracciones del tabique



**Figura N° 32 Extensómetro de Hormigón de cuerda vibrante, instalado en HPDA**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 7. Hipótesis de trabajo y su operacionalización.

Las grandes presas de tierra y las presas de hormigón son una infraestructura vital para el suministro continuo de agua y la generación de energía. Las fuerzas de carga y descarga en una presa causan tensión en la estructura y deben ser auscultadas. Mediante la utilización de dispositivos de auscultación se pretende controlar aquellos parámetros más importantes del comportamiento de la presa, los cimientos y el paleocauce, para así comprobar su correcto funcionamiento, o por el contrario, detectar la aparición de anomalías que puedan comprometer la seguridad de la obra.

La tensión puede ser provocada por las fluctuaciones en el nivel del agua, el asentamiento de la estructura, desprendimientos de tierra cercana o la actividad sísmica. La detección precoz del problema potencial permite su reparación antes de que se produzca un desastre, o advertir a tiempo al personal de auscultación para minimizar los riesgos. Recordemos como objetivos de la auscultación, lo indicado por el Dr. Ing. Giovanni Lombardi, en su informe de la referencia [RF1 y 2], él indica:

“La auscultación puede tener varios objetivos, por ejemplo científicos, pero nos va interesar solamente, el de la seguridad de la obra.

Claro es que en si la auscultación no aumenta la resistencia y entonces la seguridad absoluta de la obra, pero indirectamente si lo hace. Su objetivo único es el de proveer una información lo más precisa y rápida posible sobre el estado de la obra y entonces de poner a disposición de los responsables datos que permitan evaluar su seguridad y en caso de problemas de tomar las decisiones oportunas. Esta información es valiosa, únicamente si es con fiable, exacta e inmediatamente disponible.

De no ser con fiable y exacta la información, puede ser peligrosa ya que podría esconder una anomalía, o en el caso más favorable, crear un pánico por riesgos de fallas no existentes y entonces conducir siempre a tomas de decisiones falsas.

La información debe ser rápida ya que en caso de eventos particulares cada retraso puede tener consecuencias desfavorables; todo problema tiene tendencia a volverse más grave con el tiempo El objetivo esencial de la auscultación es entonces el de permitir la toma de decisiones correctas sin perder tiempo, no es el de llenar archivos con datos, aunque esto puede ser muy útil en ciertas circunstancias.”

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

La entrega de la información debe ser inmediata, ya que en caso de anomalías cada retraso puede tener consecuencias desfavorables, ya que es bien conocido que toda anomalía tiene tendencia a agravarse con el paso del tiempo.

En los últimos años, las nuevas propuestas tecnológicas han favorecido el desarrollo de la automatización industrial, existen como sabemos varios sistemas, que permiten controlar y supervisar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano, estos sistemas son: PLC, DCS y ahora los sistemas SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí, mediante una red Ethernet, y así mejorar en tiempo real, la interfaz al operador.

Un sistema **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition / Supervisión, Control y Adquisición de Datos) permite supervisar y controlar, las distintas variables que se encuentran en un proceso o planta determinada. Para ello se deben utilizar distintos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc..., los cuales permiten al operador mediante la visualización en una pantalla de computador, tener el completo acceso al proceso. Es una aplicación o conjunto de aplicaciones software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel con el usuario (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, etc.)

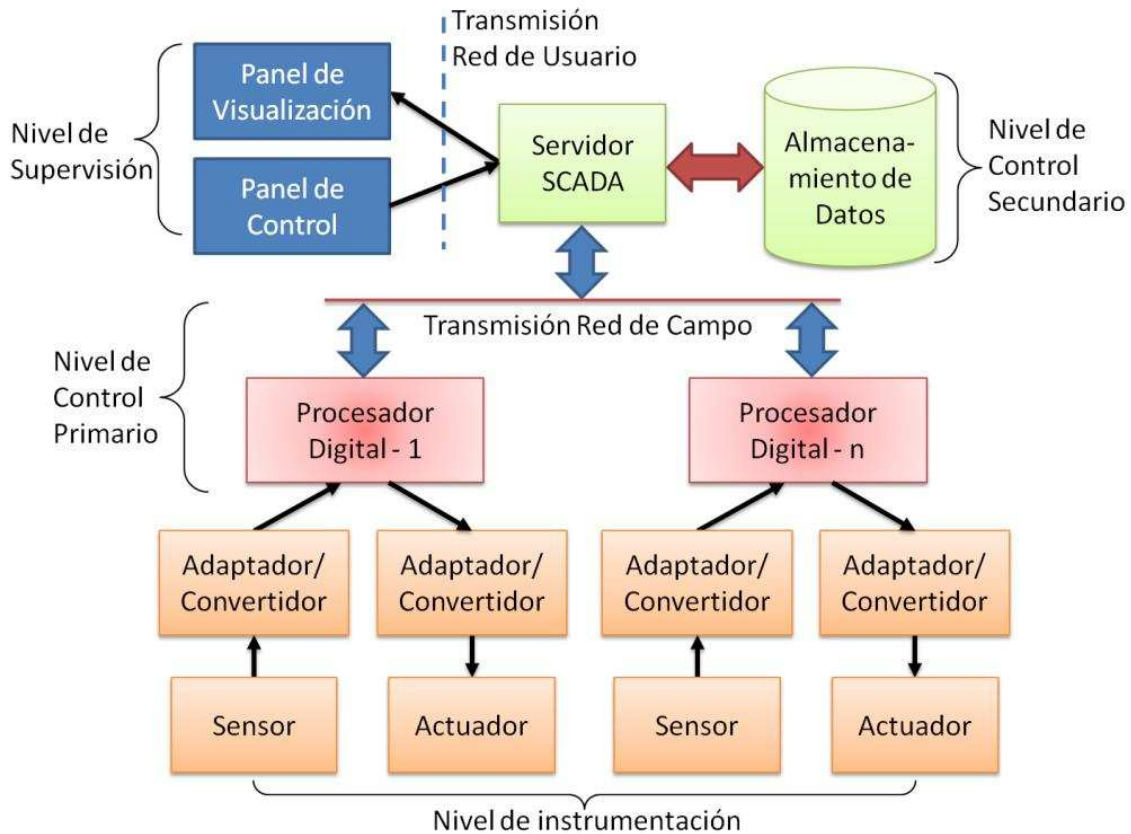
Ahora no sólo se puede supervisar el proceso, sino además tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, documento Word, todo en ambiente Windows, siendo así todo el sistema más amigable.

En el esquema básico se reconocen cuatro niveles operativos, que son:

1. Nivel de Control Secundario: Servidor, procesos de control, bases de datos
2. Nivel de Gestión o Supervisión: Supervisión, consultas, reportes, interfases Web
3. Nivel Operativo o Control Primario: Consultas, orientación al operador, PLC, NC
4. Nivel Instrumentación: Sensores y actuadores electromecánicos

El esquema básico de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, se puede observar en la **figura N° 33**.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



**Figura N° 33 Sistema SCADA Básico**

Tomando en cuenta el auge que en la actualidad tienen los PLC, debido a la disminución de costos, mejora de prestaciones, y la infinidad de soluciones a necesidades que se pueden resolver con su uso, se puede considerar que es el equipamiento ideal para reemplazar en gran medida equipamiento de relés y electrónico. Del mismo modo contemplando lo planteado en los puntos 5.3 Situación Problemática y 5.4 Problema, que los altos costos relacionados con el reemplazo de los sensores de campo de cada instrumento de medición, se puede plantear la siguiente hipótesis de trabajo: **“¿Puede un PLC realizar las lecturas de los instrumentos de cuerda vibrante instalados actualmente en la presa y el paleocauce?”**

Continuando con el proyecto y de resultar afirmativa la hipótesis anterior, se debe tener en cuenta la distribución de los tableros del Sistema Telemedido de Auscultación (STA), explicado en el punto 5.2 Antecedentes - **Figura N° 16** Distribución de Tableros Sistema STA, y de acuerdo al esquema básico de un Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, observado en la **Figura N° 32** Sistema SCADA Básico, se puede plantear la segunda hipótesis del proyecto: **“¿Puede la interconexión de distintos PLC, formar parte del Sistema de transmisión de la Red de Campo, de un sistema SCADA?”**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## **Operacionalización**

De acuerdo al planteamiento general del proyecto, el estudio de las hipótesis de trabajo se puede desarrollar en las siguientes fases:

**Fase 1:** Comprobar si los PLC pueden realizar las lecturas de los instrumentos de cuerda vibrante.

**Fase 2:** El diseño de la arquitectura del sistema. Esto incluye todas las consideraciones importantes sobre el sistema de comunicaciones del nuevo sistema (Tipo de BUS de campo, distancias, número de E/S, Protocolo del sistema y Drivers...). También se verán involucrados los tipos de dispositivos que no están presentes en sistema actual, pero que serán necesarios para supervisar los parámetros deseados.

**Fase 3:** Testeo del sistema comunicación y el sistema PC.

**Fase 4:** Determinación y cuantificación de los diferentes equipos para el nuevo sistema: como los RTUs y PLCs necesarios, comunicaciones, Equipos HMI, Hardware en general, paquete software SCADA adecuado a la arquitectura y sistemas de la empresa.

## **8. Planificación del Proyecto**

### **8.1 Etapas, Actividades y Duración**

De acuerdo al método elegido para el desarrollo de este proyecto, se puede resumir en el siguiente cuadro los flujos fundamentales de Trabajo, con la duración en días de cada flujo y la fecha de comienzo y finalización de cada hito.

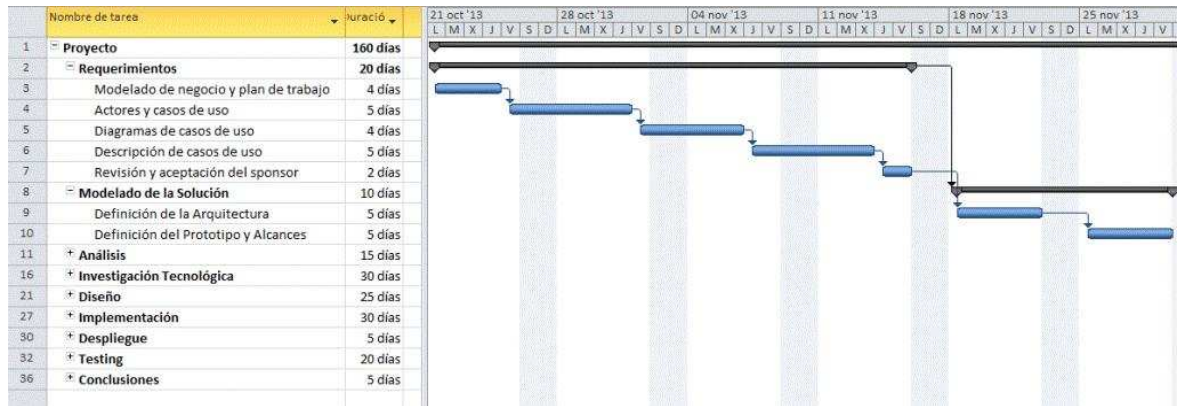
<b>Nombre de tarea</b>	<b>Duración</b>	<b>Comienzo</b>	<b>Fin</b>
<b>Proyecto</b>	160 días	lun 21/10/13	vie 30/05/14
<b>Requerimientos</b>	20 días	lun 21/10/13	vie 15/11/13
<b>Modelado de la Solución</b>	10 días	lun 18/11/13	vie 29/11/13
<b>Análisis</b>	15 días	lun 02/12/13	vie 20/12/13
<b>Investigación Tecnológica</b>	30 días	lun 23/12/13	vie 31/01/14
<b>Diseño</b>	25 días	lun 03/02/14	vie 07/03/14
<b>Implementación</b>	30 días	lun 10/03/14	vie 18/04/14
<b>Despliegue</b>	5 días	lun 21/04/14	vie 25/04/14
<b>Testing</b>	20 días	lun 28/04/14	vie 23/05/14
<b>Conclusiones</b>	5 días	lun 26/05/14	vie 30/05/14



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

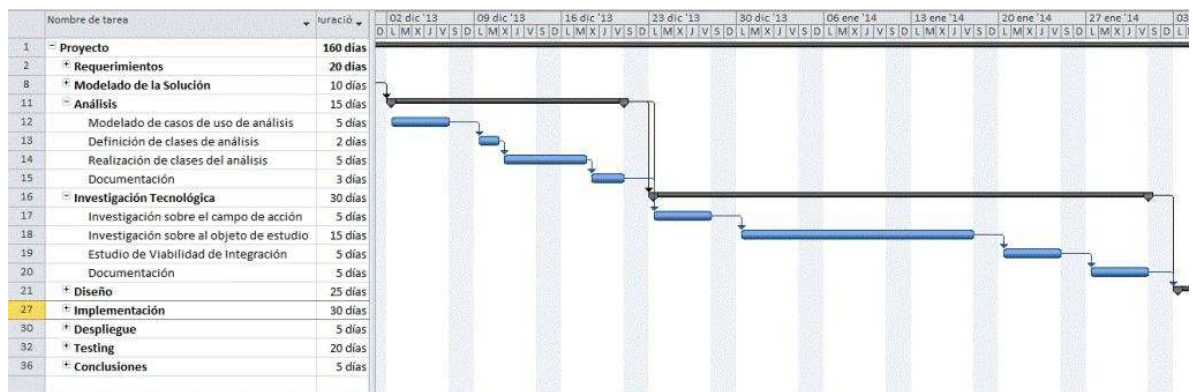
## 8.2 Diagrama Gantt

En la **figura N° 34**, diagrama de actividades: Requerimientos y Modelado de la Solución.



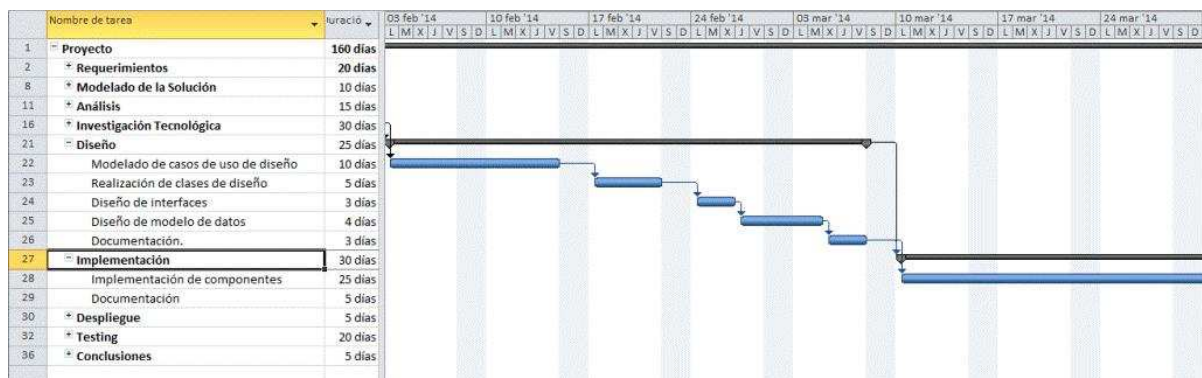
**Figura N° 34 Diagrama Gantt - Actividad 1 a la 10**

En la **figura N° 35**, diagrama de actividades: Análisis e Investigación Tecnológica.



**Figura N° 35 Diagrama Gantt - Actividad 11 a la 20**

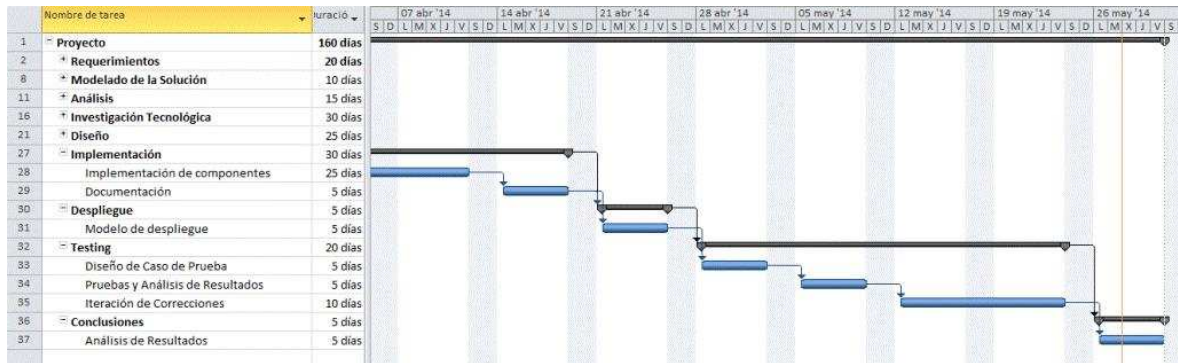
En la **figura N° 36**, diagrama de actividades: Diseño e Implementación.



**Figura N° 36 Diagrama Gantt - Actividad 21 a la 28**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

En la **figura N° 37**, diagrama de actividades: Despliegue, Testing y Conclusiones

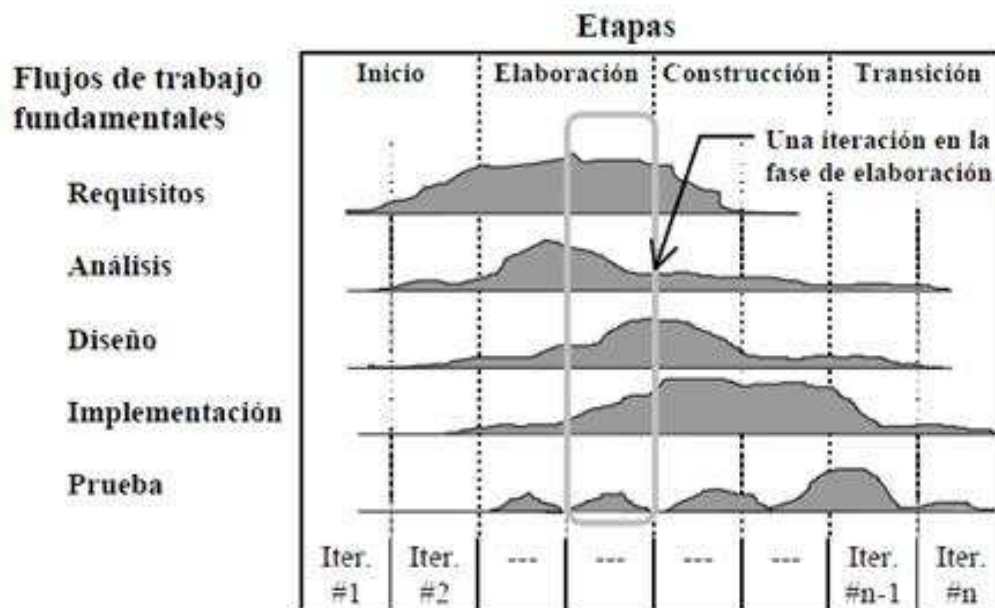


**Figura N° 37 Diagrama Gantt - Actividad 28 a la 37**

## 9. Metodología utilizada

### 9.1 Enfoque Metodológico

Al momento de enfrentar este proyecto es necesario disponer de un proceso de desarrollo, para no generar inconvenientes antes, durante y después del desarrollo del sistema. Contar con un proceso adecuado, permitirá servir de guía y bastón de apoyo en todo el ciclo de vida de este sistema. El método elegido para el desarrollo de este proyecto se basa en el marco del **Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PUDS)**, que abarca el conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de los distintos usuarios en un sistema informático.



**Figura N° 38 Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PUDS)**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Este proceso, nos permitirá realizar paso a paso cada etapa del desarrollo, guiando y coordinando la intervención de los distintos agentes involucrados en el desarrollo del mismo. El *PUDS* es un marco de trabajo que se caracteriza por estar dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura y ser iterativo e incremental.

El Proceso Unificado utiliza **Lenguaje Unificado de Modelado (UML)** para representar todos los esquemas necesarios en las distintas fases del desarrollo de software. Además, se utiliza como lenguaje estándar para realizar modelos de software y visualizar, especificar, construir y documentar sistemas. Se aplicó el ciclo de vida propuesto por *PUDS*, que incluye relevamiento de requisitos, análisis, diseño, implementación y pruebas. Aun cuando el producto final es un prototipo, el ciclo se aplicó en forma completa ya que fue necesario a fin de asegurar la correcta interoperabilidad entre las tecnologías seleccionadas.

## 9.2 Métodos de Investigación

El presente trabajo corresponde un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico, ya que involucra investigación sobre tecnologías que resuelvan la problemática planteada y finaliza con un prototipo funcional de sistema informático. El método utilizado para el relevamiento y captura de requisitos se fundamentó en entrevistas con los involucrados, en las cuales se recabó la problemática a resolver y los requerimientos específicos.

El estudio y selección de las tecnologías a implementar se desarrollará bajo el método empírico experimental. Se efectuarán relevamientos de los aspectos teóricos de las tecnologías disponibles que pudiesen brindar una solución a la problemática, seguido de un análisis de ventajas y desventajas, para luego efectuar una elección, y posteriormente confirmar mediante la experimentación su adecuado funcionamiento y compatibilidad.

El método aplicado para el desarrollo del proyecto consistirá en: a) dividir la problemática en subproyectos, b) efectuar la investigación de tecnologías que le brinden solución, tomando en cuenta siempre la visión global a fin de garantizar la compatibilidad entre ellas, c) evaluar las ventajas y desventajas de cada una, d) seleccionar la tecnología que se considera más adecuada para la solución, e) diagramar e implementar un prototipo, f) verificar mediante pruebas si la solución se adecua a los requerimientos del subproyecto, g) efectuar la verificación integral de funcionamiento con la integración de los prototipos desarrollados en cada subproyecto, h) analizar y evaluar los resultados obtenidos para contrastarlos con los objetivos y requerimientos del proyecto.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

La investigación se efectuará principalmente sobre sitios de Internet, y se revisará la documentación impresa actualizada que posee el sector, que se entrega en los congresos de seguridad de presa a los que asiste el personal de Auscultación.

## 10. Trabajo de Campo – investigación.

### 10.1 Antecedentes de Proyectos Similares

La central hidroeléctrica posee personal de mantenimiento que se dividen en tres sectores: mecánicos, eléctricos y electrónicos. El personal de estos sectores son los encargados de mantener el equipamiento electromecánico para la operación y el control de la central. La encargada del diseño y la provisión del conjunto turbina – generador y transformador, fue la empresa Rusa, **Energo Match Expor**, la empresa fabricó los transformadores y las piezas para los generadores en Rusia. El equipamiento electromecánico para la operación y el control de la central es altamente confiable y probado en numerosas obras hidroeléctricas del mundo. Los proveedores del equipamiento fueron de distintas nacionalidades como Francia, Alemania, Rusia, Japón, Suiza y también de procedencia Nacional.

Desde el año 2010 Hidroeléctrica Piedra del Águila, después de un intensivo proceso de capacitación del personal de planta, comenzó un desarrollo de actualización tecnológica en su equipamiento electromecánico. El primer equipamiento en actualizar fue, el tablero de control del **sistema de aceite presurizado (SAP)** para el regulador de velocidad, las cuatro unidades ya fueron reemplazadas, por un sistema que posee un PLC marca Siemens Tipo S7-200 y un Panel táctil de la misma marca, modelo Simatic HMI TP 070 para comandar las bombas y recibir las alarmas y estados del sistema. También en las maquinas 1 y 4 se cambiaron los tableros de potencia de las bombas 3 que son alimentadas desde el grupo de emergencia, colocando en su reemplazo arrancadores suaves, que controlan mejor el arranque y parada de esas bombas. Donde también se utilizó un PLC Siemens Tipo S7-200 y un Panel táctil, modelo Simatic HMI TP 070, fue en el tablero de control de las Compuertas de Vertedero donde se colocó 1 PLC y 1 panel para controlar dos compuertas.

Después se continuó con la actualización de los Sistemas de Drenaje y Desagote de Central y el Sistema de Drenaje de Presa, en ambos casos se instaló un PLC Siemens Tipo S7-200 y un Panel táctil, modelo Simatic HMI TP 070 para comandar las bombas y recibir las alarmas y estados del sistema. Esto se puede observar en la **figura N° 39**.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



**Figura N° 39 Panel táctil sistema de Drenaje y Desagote de central**

Dos elementos considerados muy importantes para los generadores utilizados en la central, son la Excitación y el Regulador de Velocidad. Ambos equipamientos fueron adquiridos a empresas con bastante experiencia en el tema.

El Regulador de Velocidad fue provisto por la empresa Francesa Neyrpic y el modelo es Rapiit 77, el sistema consta de dos partes una electrónica que es el tablero de control y un actuador electro-hidráulico que es el encargado de transformar las señales eléctricas en una señal hidráulica capaz de mover el distribuidor para poder disminuir a aumentar la potencia del generador. Este actuador está alimentado por un sistema de aceite presurizado a 65 Kg/cm2, que es el que mueve el distribuidor de la turbina.

El Nuevo Sistema de Control del Regulador de Velocidad, se encuentra instalado en dos tableros contiguos, identificados como TU3.1 (antiguo tablero NEYPRIC RAPID 77). Vistos de frente, el tablero Izquierdo contiene en su interior el panel HMI de control local de la unidad, este panel se puede observar en la **figura N° 40-a**, también contiene fuentes de voltaje y alimentación, el PLC S7-300 del RAV, se observa en la **figura N° 40-b**, y borneras frontera de interconexión a campo; Así mismo, el tablero derecho contiene los transductores electrónicos de potencia (Power Meters Siemens P50), placa de relés, fuente de alimentación Vicor, borneras de medición de corriente y tensión de unidad, y borneras frontera de interacción con campo y equipos.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

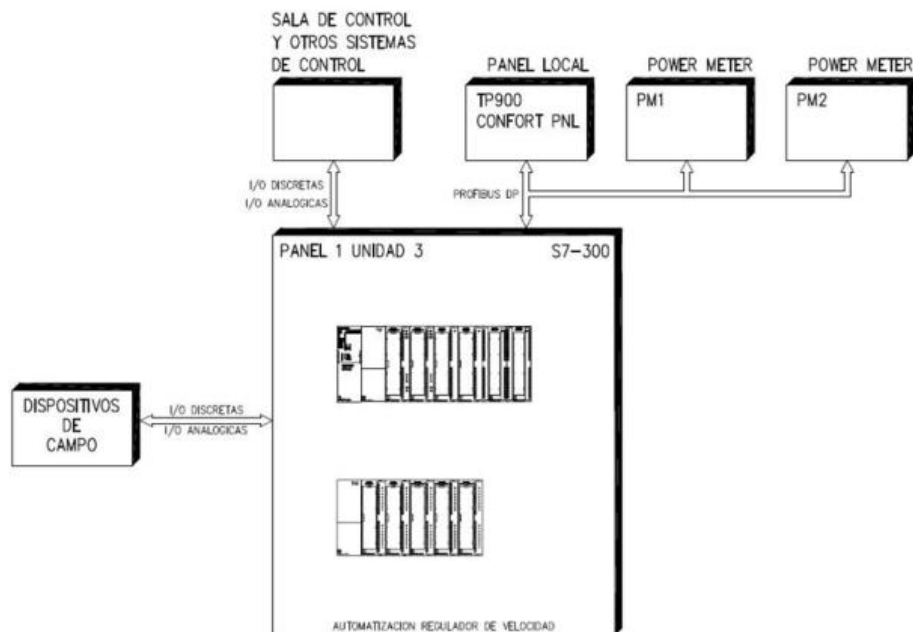


(a)

(b)

**Figura N° 40 a- Panel de Control. b- PLC S7 y Transductores.**

El diagrama de bloques del sistema RAV de la Unidad 3, se observa en la **figura N° 40**, esta unidad fue la primera máquina en realizar el cambio del regulador de velocidad. En éste se describe las interconexiones existentes entre el regulador y el exterior, así como el medio en el cual interactúan.



**Figura N° 41 Diagrama de bloques del sistema RAV.**

- **Dispositivos de campo:** estos dispositivos se encuentran conectados al controlador a través de grupos de señales analógicas y discretas. Entre los dispositivos de campo se encuentran: Transductores de posición de alabes y servomotor, actuador de apertura y cierre de alabes, sensores de proximidad (Pick-Ups) para medición de velocidad de máquina, relés repetidores de señales, instrumentos de visualización y transductores de

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

altura de salto neto, presión de control y presión de cámara espiral.

- **Sala de control y otros sistemas:** se refiere a las señales de interacción entre el regulador, sala de control y otros sistemas de control. Aquí se realiza el intercambio de comandos y señales de estatus y medición, entre el regulador y los otros sistemas de control y operación de la unidad. Dicho intercambio se ejecuta a través de señales I/O analógicas y discretas.
- **Panel HMI local:** en este panel se representa el estado actual del regulador y la maquina, y puede ser utilizado para realizar comandos y cambiar los parámetros del Regulador. La iteración entre el panel y el regulador se ejecuta vía red PROFIBUS DP con una velocidad ajustada de 6Mbauds/seg.
- **Power Meters:** transductores de potencia multivariables, están conectados a los transformadores de medición de la unidad par medio de las borneras ENTELEC ubicadas en el tablero derecho. Estos equipos suministran al regulador de información relevante al funcionamiento del generador vía red PROFIBUS DP. Entre la información suministrada se encuentra: potencia activa y reactiva generada, factor de potencia, corrientes, tensiones, etc. El Regulador soporta y utiliza los siguientes canales de comunicación desde el PLC S7-300 / CPU 315 2DP:
- **Comunicación MPI:** basada en señales RS-485, está disponible en el conector DB9 izquierdo de la CPU del PLC. Conectando una notebook o terminal de programación se puede utilizar este link de comunicación para descargar la configuración inicial de Hardware del PLC completo, descargar el programa y realizar modificaciones del mismo. La comunicación MPI está basada en el protocolo MPI (Multi-Point-Interface) de Siemens, el cual es un protocolo multi-maestro que permite comunicar en cualquier momento cualquier nodo con otro.
- **Comunicación Profibus DP:** basada en señales RS-485, está disponible en el conector DB9 derecho de la CPU del PLC. Conectando una notebook o terminal de programación se puede utilizar este link de comunicación para descargar la configuración inicial de Hardware del PLC completo, descargar el programa y realizar modificaciones del mismo. En el sistema del regulador también se utiliza para soportar un bus Profibus DP el cual trabaja a una velocidad de 6 Mbauds y comunica el PLC con el Power Meter y el panel HMI local. El bus está soportado físicamente por un cable especial (par torcido y mallado, cable standard Siemens MPI / Profibus).

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El regulador tiene en principio la función de controlar la velocidad de la máquina en interruptor abierto, y controlar el aporte de potencia activa una vez conectada a la red. Este principio funcional del regulador de velocidad-potencia es ilustrado en la figura 42.

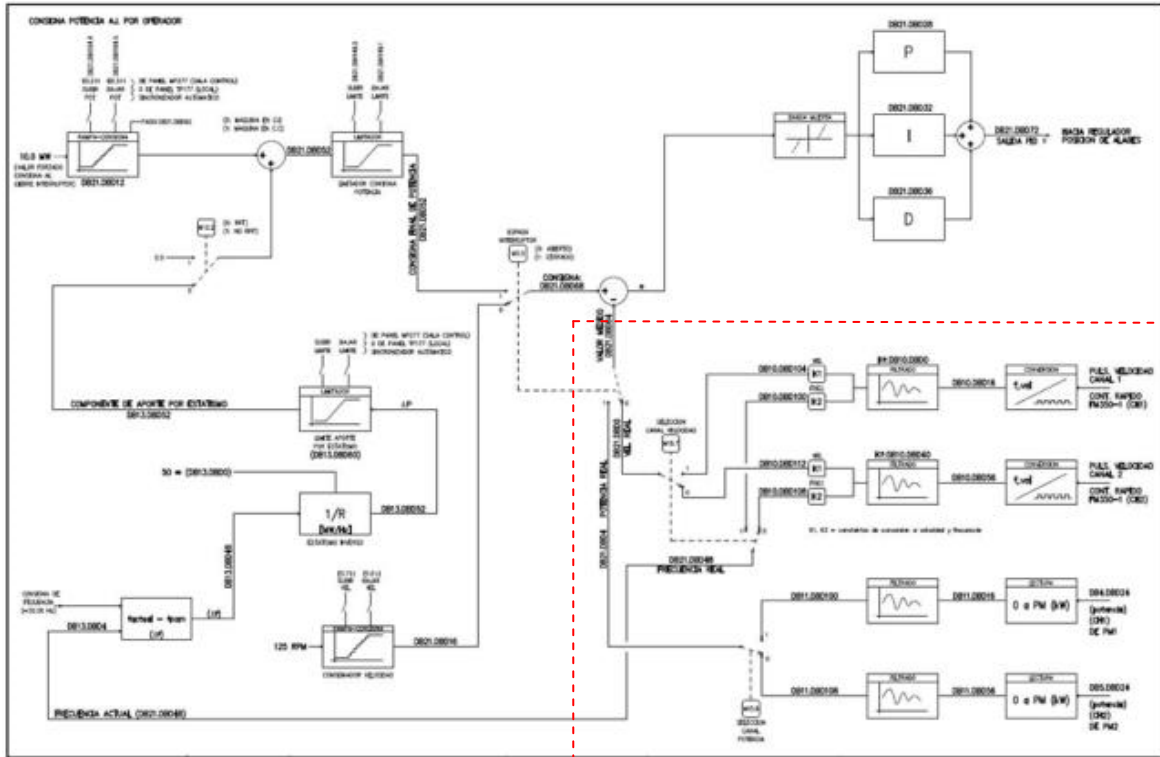


Figura N° 42 Diagrama del regulador de velocidad-potencia

A continuación en la figura N° 43 se puede observar en detalle, los bloques de medición de frecuencia y velocidad.

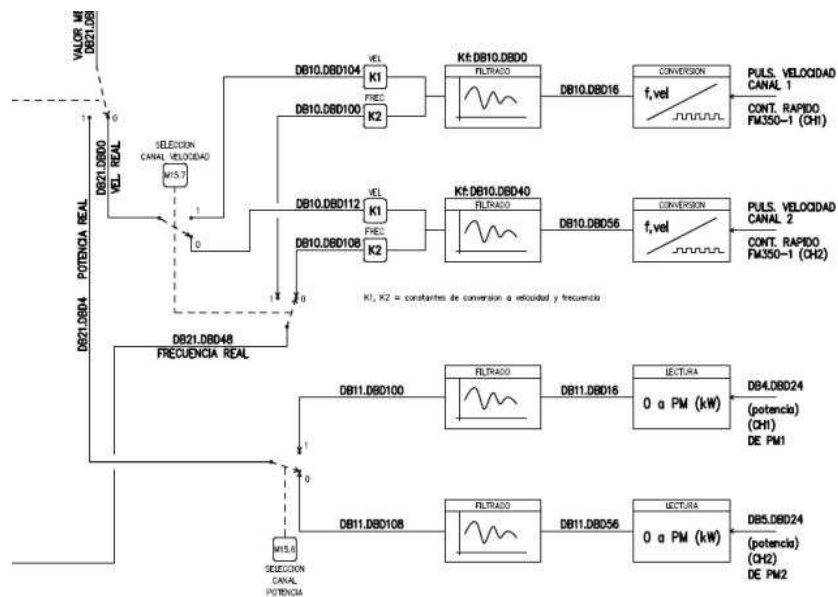
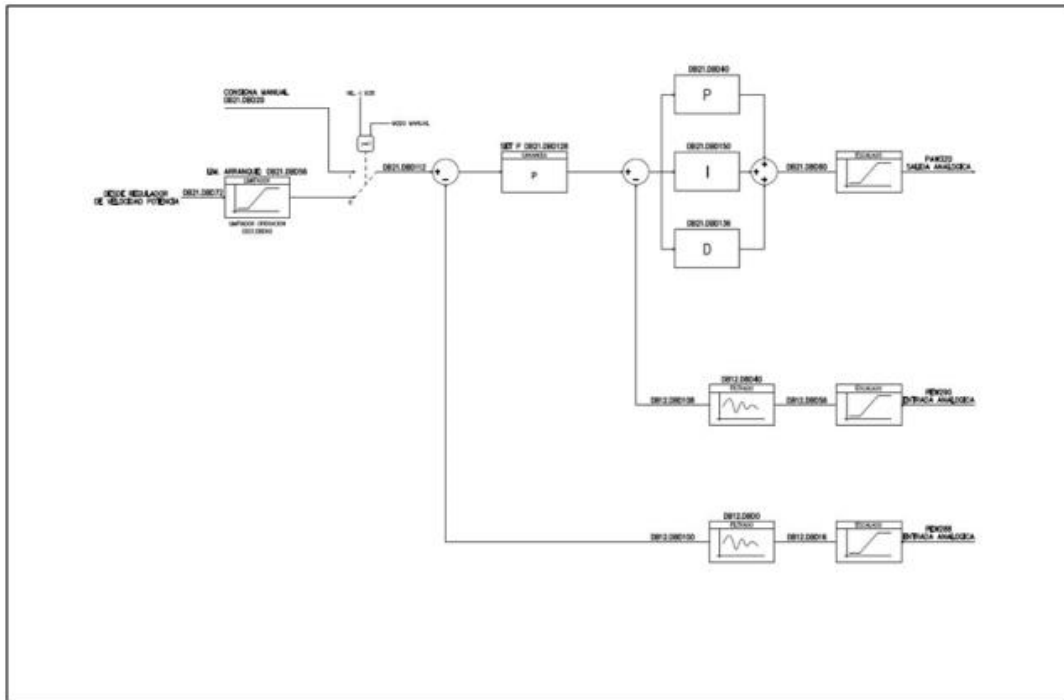


Figura N° 43 Bloques de medición de frecuencia y velocidad del RAV



<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El controlador de posición de alabes se puede observar en la figura N° 44.



**Figura N° 44 Diagrama del controlador de posición de alabes**

De acuerdo al cronograma de actualización tecnológica que HPDA tiene programado, se comenzó por reemplazar la parte electrónica del regulador de velocidad, actualmente solo falta reemplazar el regulador de la unidad 2, cuyo cambio está previsto para febrero del año 2015. La actualización de los sistemas de excitación esta previsto comenzar a partir del año 2016. El sistema de excitación fue provisto por la empresa Suiza ABB (Asea Brown Bobery). La denominación es Unitrol M/TWIN/SPEZ 90, este sistema consta de dos partes, la de control y la de potencia.

**El tablero de control:** posee dos reguladores de tensión, uno principal y otro de reserva para el caso de falla del ppal.

**El tablero de potencia:** consta de 3 puentes rectificadores, los cuales utilizan tiristores de potencia para rectificar la tensión, estos son refrigerados por aire forzado en un circuito cerrado dentro del tablero, el aire es enfriado en radiador por agua, el sistema se alimenta de unos transformadores conectados directamente del generador, razón por la cual necesita de una alimentación auxiliar para comenzar a excitar al rotor.

Finalmente otro equipamiento que fue actualizado, es el panel de Alarmas y Protecciones por Temperaturas, el sistema anterior constaba de dos partes: un panel de control S5 y un tablero de alarmas y dos PLC S5 para control, con los respectivos transductores. Esto se puede observar en la **Figura 45a-** Panel de Control y Alarmas y en la **figura 45 b-** PLC S5

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

y Transductores de Temperatura.



(a)

(b)

**Figura N° 45 a- Panel de Control y Alarmas. b- PLC S5 y Transductores.**

El sistema actual de control de Temperaturas, se encuentra instalado en dos tableros. Esto se puede observar en figura 46a- Panel HMI de Control y Alarmas y en la figura 46 b- PLC ILC 170 y Transductores de Temperatura.



(a)

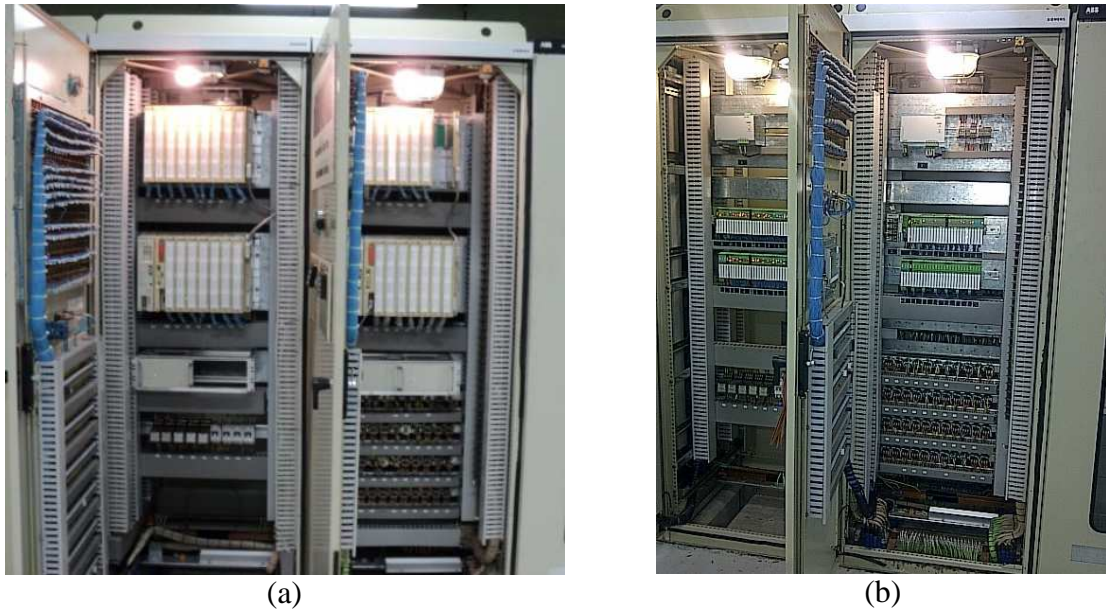
(b)

**Figura N° 46 a- Panel HMI de Control y Alarmas. b - PLC ILC 170 y Transductores.**

El tablero derecho contiene en su Puerta exterior el panel HMI de control local de la

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

unidad, modelo TP 3105 T marca PHOENIX CONTACT y el panel de alarmas, en su interior se puede observar fuentes de voltaje y alimentación, tres (3) PLC marca PHOENIX CONTACT modelo ILC 170 ETH 2TX, y borneras frontera de interconexión a campo; Así mismo, el tablero izquierdo contiene los transductores electrónicos de temperatura, placa de relés, fuente de alimentación FUENTE QUINT-PS/ 1AC/24DC/40, borneras frontera de interacción con campo y equipos. Esto se puede observar en **figura 46a**- Panel HMI de Control y Alarmas y en la **figura 46 b**- PLC ILC 170 y Transductores de Temperatura.



**Figura N° 47 Sistema de control de temperatura: a- Anterior b- Actual.**

En la figura N° 47 se pueden observar los dos sistemas de control de temperaturas, en figura 47a- Sistema Anterior y en la figura 47 b- sistema actual. De acuerdo al cronograma de actualización tecnológica que HPDA tiene programado, se realizaron cambios en las Unidades 1, 2 y 3, actualmente solo falta reemplazar el sistema de la unidad 4, cuyo cambio está previsto para febrero del 2015.

El software utilizado para programar los PLC es el programa PC WORK. Con este programa se trabaja con tres vistas principales del proyecto:

- Vista de programación.
- Vista de configuración de bus.
- Vista de enlace de variables con datos de proceso.

Con estas vistas se trabaja con un proyecto, desde la parametrización de la estructura de un bus, pasando por la programación del programa de aplicación, hasta la presentación de los datos en pantalla.

En las **figuras N° 48 y 49** se pueden observar las vistas de programación, en este caso del

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

PLC1 de G1PA, con el nuevo sistema de control de temperaturas, podemos observar el esquema del proyecto. En esta vista se trabaja con los bloques de programa y las tareas, donde se define el código que queremos ejecutar y en qué orden.

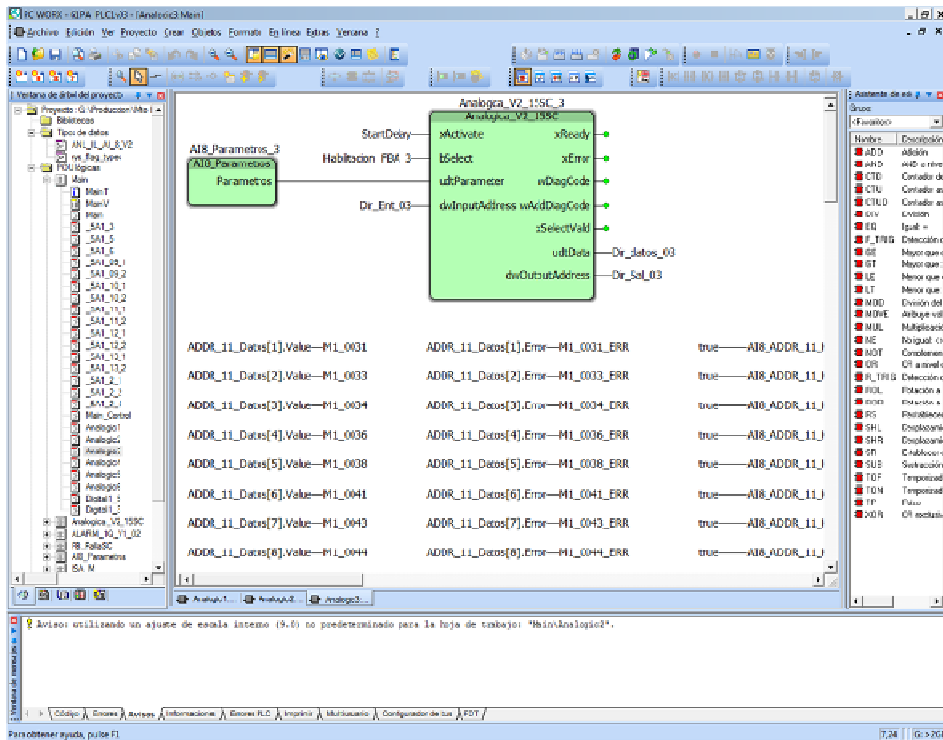


Figura N° 48 PC WORK Vista de programación – PLC1 de G1PA

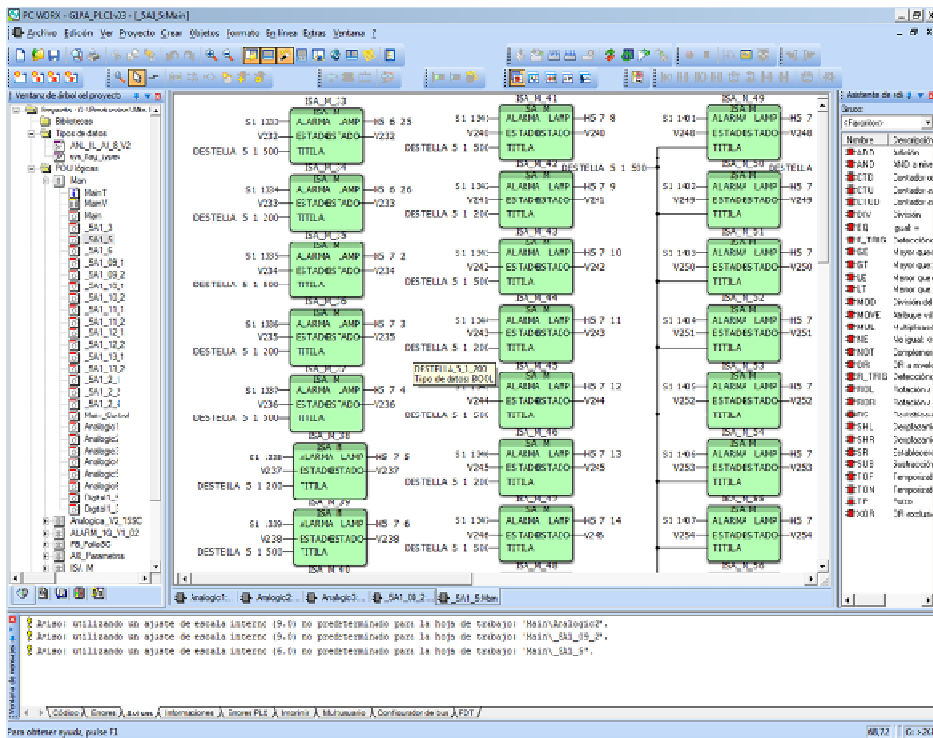
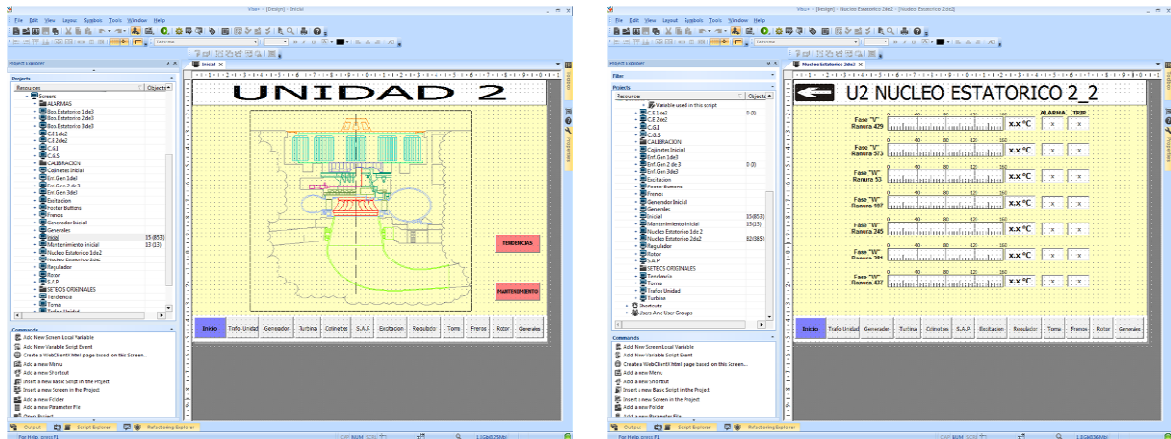


Figura N° 49 PC WORK Vista de programación – PLC1 de G1PA

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

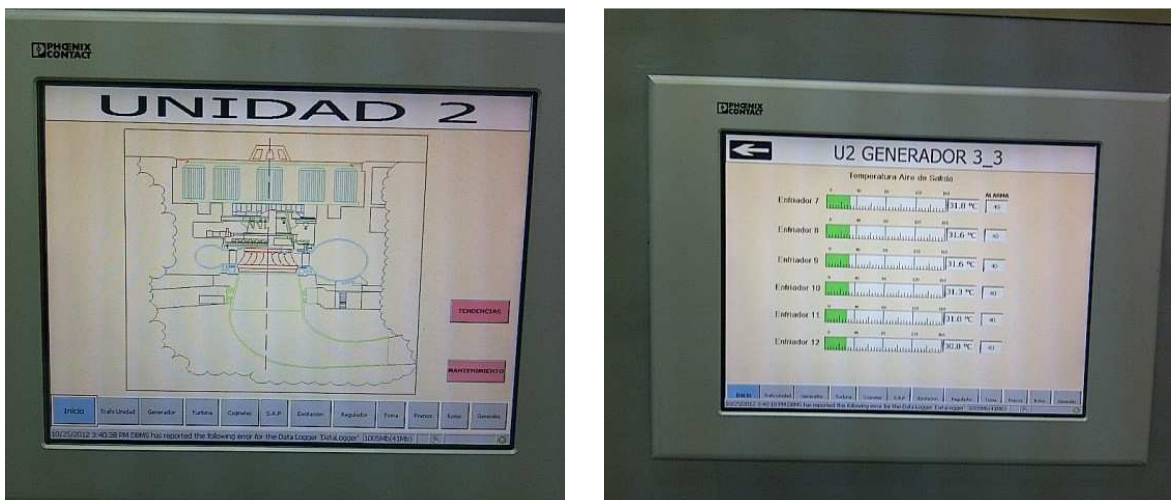
El Software utilizado para programar los paneles táctiles, es el programa VISU +. Con este programa se puede ampliar la monitorización para representar tendencias o ajustar alarmas. Además, puede registrar y protocolizar los datos de servicio y comunicarse con bases de datos. El software también ofrece funciones útiles de automatización. Es de fácil manejo, interfaz de desarrollo clara e intuitiva. Posee selección rápida de los elementos de visualización arrastrando y soltando. Tiene integrado extensas bibliotecas de objetos para diferentes sectores.

La codificación de datos es mediante un algoritmo integrado. La gestión de contraseñas y usuarios (Password User Management) supervisa y controla los accesos locales y externos. Tiene un flujo continuo de información, la integración a las bases de datos existentes es sencilla, igual que la integración en los sistemas ERP. En la **figura N° 50** se pueden observar dos vistas de programación, en este caso del Panel de G2PA.



**Figura N° 50 Programación de Pantallas con el programa VISU +**

En la **figura N° 51** se pueden observar las vistas de la pantalla táctil de G2PA, con el nuevo sistema de control de temperaturas.



**Figura N° 51 Vistas de la pantalla táctil de G2PA**

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

En la Tabla N° 3 se puede observar un resumen de los sistemas se actualizaron tecnológicamente en HPDA.

Equipo / sistema	Cant.	PLC x Sist.	Modelo PLC	Modelo Pantalla	Observaciones	Marca
Control de Sistema Aceite a Presión	4	1	<b>PLC S7-200</b>	<b>TP 070</b>	Tiene 1 plc y 1 panel por maquina	SIEMENS
Drenaje y Desagote de Central	1	1	<b>PLC S7-200</b>	<b>TP070</b>	Tiene 1 plc y 1 panel	SIEMENS
Drenaje de Presa	1	1	<b>PLC S7-200</b>	<b>TP 070</b>	Tiene 1 plc y 1 panel	SIEMENS
Compuertas de Vertedero	2	1	<b>PLC S7-200</b>	<b>TP 070</b>	Tiene 1 plc 1 panel para dos compuertas	SIEMENS
TU - Medición de temperaturas	3	3	<b>ILC 170 ETH 2TX</b>	<b>TP 3105 T</b>	Tiene 3 plc y 1 panel por maquina	PHOENIX CONTACT
TU - Regulador Automático de Velocidad	3	1	<b>PLC S7-300</b>	<b>TP 900 CONFORT PANEL</b>	Tiene 1 plc y 1 panel por maquina	SIEMENS

**Tabla 3 Sistemas Actualizados Tecnológicamente en HPDA**

## 10.2 Investigación de Campo

Para realiza el trabajo de campo, se debe comprender el funcionamiento del sistema STA y de los Tableros Analizadores. De acuerdo a lo expresado en el punto **5.2 Antecedentes - Sistema Telemedido de Auscultación (STA)**, el sistema de instrumentación diseñado para la auscultación de la presa Piedra del Águila tiene por objetivo conocer el comportamiento de la presa en respuesta a los estímulos y esfuerzos a los que está sometida durante las distintas etapas de su operación.

Para cumplir este objetivo, el sistema de instrumentación lleva a cabo las siguientes funciones: Medir, monitorear y registrar los valores de las magnitudes: presión, deformaciones de la estructura, inclinación respecto a la vertical, caudal de filtraciones, temperatura y aceleraciones instantáneas que actúan sobre la presa y reflejan el comportamiento de la misma.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Los sensores de campo de cada instrumento, están vinculados directamente a:

- Tableros Analizadores (TA)
- Tableros Analizadores de Temperaturas (TAT)
- Tableros Terminales de Mediciones (TTM)

La distribución de los Tableros del Sistema STA, se puede observar en la Figura N° 16.

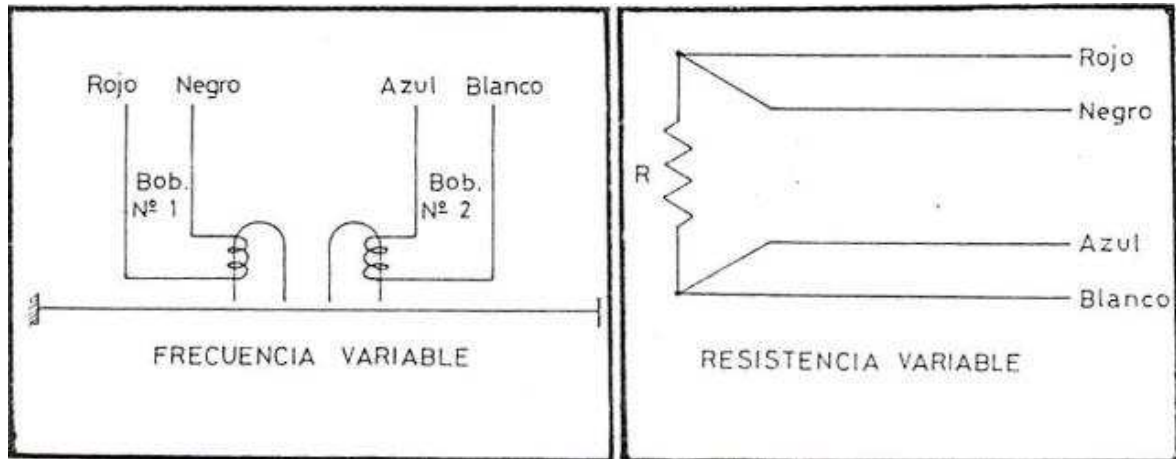
Los Tableros Terminales de Medición operan exclusivamente con activación local y medición manual (Subsistema totalmente manual). El operador deberá instalarse frente al TTM y realizar la selección de los sensores operando las llaves rotativas en forma local y manual. Se debe enchufar el conector del Receptor RMS-3 en el receptáculo correspondiente y proceder a operar el instrumento en forma manual. El registro de los datos será totalmente manual, en una planilla habilitada a tal efecto o se puede usar un registrador portátil, obteniendo una cinta impresa para pegar en la planilla.

Los Tableros Analizadores se dividen en TA; TA-PA y TAT. La primera función de estos tableros es la de proteger a los sensores contra descargas eléctricas de cualquier tipo. Los sensores transductores del Paleocauce se conectan a los tableros TA-PA, primero pasan a través de Cajas de Conexión CD y están protegidos por descargadores gaseosos conectados a cada conductor de señal. Los restantes sensores transductores que son medidos tanto en los Tableros TA y TAT como en los TABLEROS TTM, están protegidos por descargadores gaseosos ubicados en cada tablero sobre los conductores de entrada.

Los tres tipos de tableros analizadores responden a un esquema básico de funcionamiento, todos reciben las señales analógicas de los **sensores transductores**.

Otra función que cumplen estos tableros es la de **seleccionar un sensor para medir**. Esto se realiza mediante los selectores secuenciales. Están ubicados en plaquetas de circuito impreso llamadas MUX (abreviatura de MULTIPLEXOR) que conectan secuencialmente bajo el control del programa del microprocesador, un sensor por vez a la correspondiente plaqueta que funciona como **Instrumento de Medición**. Cada plaqueta MUX tiene capacidad para conmutar ocho sensores, y cada Tablero Analizador admite hasta ocho plaquetas MUX. Las plaquetas MUX son de dos tipos: **TETRAPOLARES** (E-303) para seleccionar sensores de cuatro cables, como del tipo cuerda vibrante, o resistencia de platino PT-100, estos tipos de sensores se pueden observar en la **figura N° 52**. **BIPOLARES** (E-304) para sensores que entregan salida de tensión continua y/o para sensores que entregan corriente continua.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



**Figura N° 52 Sensores de cuatro cables**

La salida seleccionada por la plaqueta MUX se aplica al instrumento de medición, constituido por otra plaqueta de circuito impreso enchufable. Hay dos tipos de plaquetas de instrumento de medición: Instrumento para Cuerda Vibrante (E-320), e Instrumento para Medir Temperatura para Pt-100 (E316). Ambas plaquetas pueden enchufarse en los zócalos AD-0 y AD-1.

Las interconexiones en la plaqueta madre son tales que el instrumento insertado en el zócalo AD-0 mide los sensores seleccionados por la plaqueta MUX insertada en el zócalo MUX-0 y el instrumento insertado en el zócalo AD-1 mide los sensores seleccionados por las plaquetas MUX colocadas en los zócalos MUX-1 al MUX-7. Por ese motivo decimos que cada Tablero Analizador maneja dos tipos de sensores: **Mayoritarios**, los seleccionados por los selectores secuenciales (MUX) insertados en los zócalos MUX-1 al MUX-7 y los Sensores **Minoritarios** (cantidad máxima ocho) conectados al MUX-0.

El control automático según el programa almacenado en la memoria del microprocesador se maneja desde la plaqueta MIC (E-318) que también procesa los datos entregados por el instrumento de cuerda vibrante (E-320). Los datos de salida del microprocesador y las instrucciones que envía la computadora del Sistema se canalizan a través de la **plaqueta interfaz y comunicaciones** (E-313) que incluye el modem para la comunicación bidireccional con la unidad de activación centralizada **UDAC**.

Para la activación MANUAL-LOCAL y presentación de resultados y mensajes del Tablero Analizador existe el control de teclado y display en la plaqueta E-314. En resumen, al Tablero Analizador podemos definirlo como un **Scanner** de configuración modular que incluye instrumentos de medición, adaptables a los sensores utilizados para la instrumentación de la Presa y el Paleocauce formando un **Data Logger** controlado por el



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

programa almacenado en el microprocesador. Esta característica, permite la autonomía de cada Tablero Analizador y la operación en paralelo (simultánea) de cada conjunto **Scanner/Data Logger** siguiendo literalmente su programa particular.

De acuerdo a lo planteado en el punto - **7. Hipótesis de trabajo y su operacionalización**, el estudio de las hipótesis de trabajo se desarrollaba en 4 fases, utilizando el laboratorio que posee Hidroeléctrica Piedra del Águila, se trabajo para recolectar datos y analizarlos para tonar la decisión correcta. El trabajo se realizó de la siguiente manera:

**Fase 1:** Comprobar si los PLC pueden realizar las lecturas de los SCV:

Por lo general este tipo de instrumentos son más adecuados que los de puentes de resistencias en casos de ambientes con interferencias o donde se requieren longitudes grandes de cable. Los sensores de hilo vibrante tienen una gran reputación por su estabilidad a largo plazo. Utilizan un cambio en frecuencia de un hilo vibrante para medir la tensión/fuerza.

Estos sensores se basan en el cambio de la frecuencia natural de resonancia de un hilo cuando es expuesto a una fuerza mecánica. En este caso la fuerza externa a medir se aplica a uno de los lados de la cuerda para medir desplazamiento, el otro extremo se mantiene fijo, la idea es medir por medios magnéticos la frecuencia de oscilación de la cuerda, ya que esta da una relación de fuerza frecuencia muy constante, además que estos sensores son inmunes a los errores por temperatura pues esta no afecta significativamente la frecuencia, en cambio algunos factores ambientales como el polvo o la humedad si, por lo se coloca el hilo en una cámara sellada.

De acuerdo a lo expresado en el punto **6.1 - Marco teórico: Sensor de Cuerda Vibrante**, cuando se explica el funcionamiento de un Piezómetro de cuerda vibrante, un aumento de la presión sobre el diafragma hace disminuir la tensión del hilo sujeto al diafragma. Una disminución en la tensión del hilo hace disminuir la frecuencia de resonancia de la misma manera que al destensar una cuerda de guitarra baja su frecuencia. Por lo tanto es importante tener en cuenta que la frecuencia de resonancia del sensor de hilo vibrante disminuye con el aumento de presión. Para realizar la lectura de una medición con un instrumento de cuerda vibrante, se deben realizar los siguientes pasos:

- 1) La primera acción es excitar las bobinas con una frecuencia de barrido. El rango de la frecuencia de barrido es de 100Hz a 9900Hz. (rango óptimo > 1000Hz). Por lo general un datalogger tarda 150ms en efectuar el barrido de todas las frecuencias.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

2) Se debe esperar que las frecuencias no resonantes desaparezcan (20ms). Idealmente, todas las frecuencias excepto la que coincide con la frecuencia de resonancia del hilo desaparecen en muy poco tiempo. El hilo vibra a la frecuencia de resonancia durante un tiempo relativamente largo, y de este forma corta las líneas de flujo en las bobinas de “plucking” y de “pickup”, induciendo las mismas frecuencias en los cables que al instrumento de medición.

3) Medir de forma precisa la frecuencia o bien el tiempo que tarda en recibir un n° especificado de ciclos definidos por el usuario. Conociendo el tiempo y el n° de ciclos, se puede calcular el cuadrado de la frecuencia ( $=1/T^2$  donde T es el periodo en milisegundos).

Por la experiencia adquirida en los trabajos del sector de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, y de acuerdo a lo expresado en el punto **10.1 Antecedentes de Proyectos Similares**, se pueden probar tres configuraciones para llevar adelante la hipótesis planteada:

**C1)** Utilizar interfaces para excitar las bobinas de los instrumentos de cuerda vibrante, conectada a un multiplexor para ampliar la cantidad de sensores a medir y un convertidor de frecuencia para realizar la medición con el PLC.

**C2)** Utilizar un variador de frecuencias para excitar las bobinas de los instrumentos de cuerda vibrante, conectada a un multiplexor para ampliar la cantidad de sensores a medir y un convertidor / contador de pulsos para realizar la medición con el PLC.

**C3)** Realizar la medición con un datalogger y pasar al PLC por conexión de red.

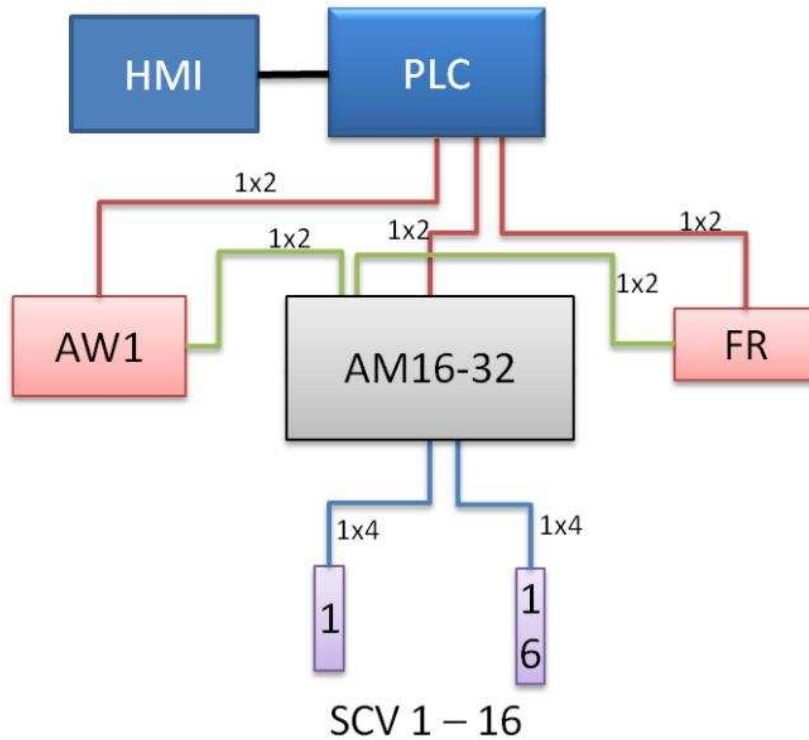
A continuación se describen las tres configuraciones.

**C1) Utilizar interfaces de excitación, multiplexor y convertidor de frecuencia.**

En esta configuración se utiliza: Un PLC para control, medición de instrumentos, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red. Un panel táctil HMI par control y presentación de datos, una interface AW1 para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido, un multiplexor AM16/32 para ampliar a 16, la cantidad de sensores a medir, y un transductor de frecuencia para realizar la medición de la frecuencia de resonancia de la cuerda vibrante.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Esta configuración se representa en la Figura N° 53



**Figura N° 53 Conexión de Instrumentos SCV con el PLC – C1.**

A continuación se realiza una descripción de los elementos utilizados.

### **Interface de Cuerda Vibrante AVW1**

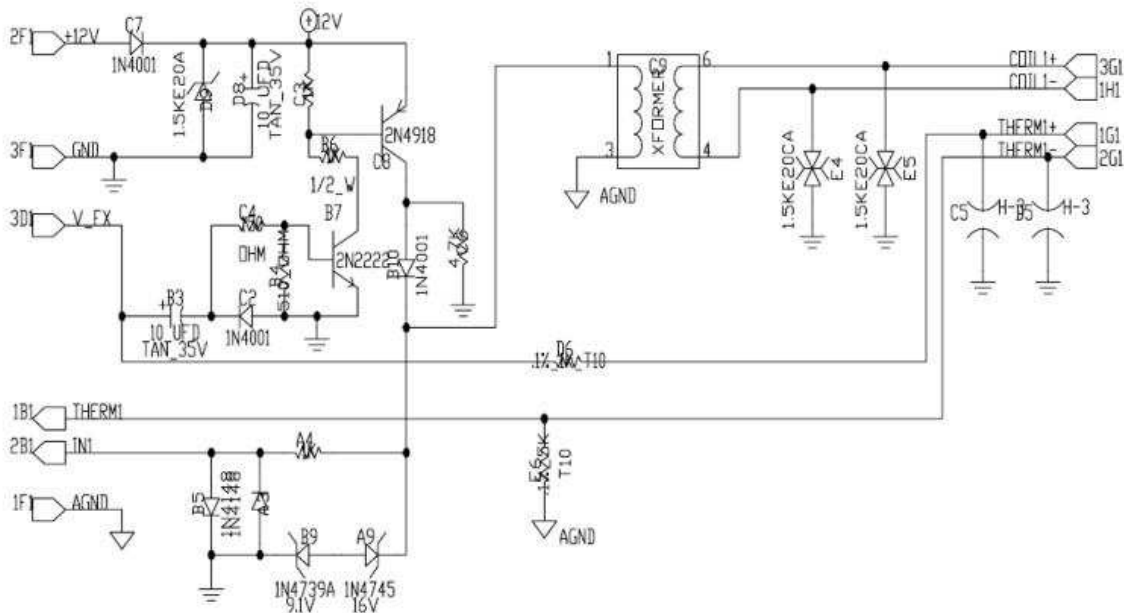
La interface AVW1 sirve para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido. El AVW1 Permite conectar un sensor de hilo vibrante (temperatura y presión) a dos canales simples del datalogger. El AVW4 permite conectar cuatro sensores a ocho canales simples.



**Figura N° 54 Interface de Cuerda Vibrante AVW1 y AVW4**

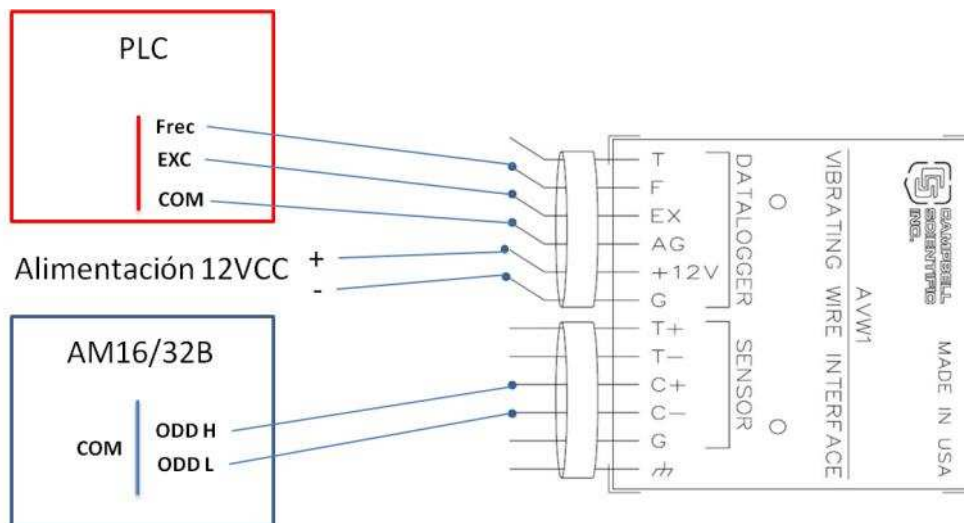
<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El AVW1 contiene circuitos necesarios para interconectar sensores de cuerda vibrante de la serie 4500 del modelo Geokon. Está diseñado para interactuar con un sensor que posee termistor para medir la temperatura y mide la presión con el sensor de cuerda vibrante, por eso posee dos canales de registro de datos T y F. Ver figura N° 55.



**Figura N° 55 Circuito de la interface de Cuerda Vibrante AVW1.**

Aunque han sido diseñados específicamente para el modelo Geokon 4500, el AVW1 y AVW4 se utilizan sin ningún problema con otros modelos de Gauge Technique, Roctest, Slope Indicator (series VWP), Geokon y varios modelos más. La conexión se realiza de acuerdo a la figura N° 56.



**Figura N° 56 Circuito de la interface de Cuerda Vibrante AVW1**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Estas interfaces, la AVW1 y AVW4 proporcionan un acondicionamiento de señal con las siguientes funciones:

- 1.- Completar el puente del termistor para medir la temperatura del sensor.
- 2.- Convertir la excitación de frecuencia de barrido de 5 V (pico a pico) a 12V (pico a pico), por lo tanto despega el alambre más duro que el cambió de excitación máximo de 5V. El resultado es una señal de magnitud más grande para un tiempo más largo.
- 3.- Proporcionar aislamiento por transformador y evitar ruido DC en la señal. Esto mejora la detección de ciclos.
- 4.- Suministrar protección contra los transitorios tanto para la señal de temperatura como los circuitos de hilo vibrante.

Tanto las interfaces AVW4 y AWW1, se pueden utilizar con el registrador de datos CR10/10X. Cuando se utiliza con el datalogger CR10/10X y el multiplexor analógico AM416, una sola interface AVW1 puede monitorear 16 sensores de cuerda vibrante, más los termistores.

El consumo de corriente durante la medición de cuerda vibrante (170 ms y 500 ms) es 32 mA. El AVW1 también se puede utilizar con otros sensores de cuerda vibrante compatibles, por ese motivo, es que para los sensores utilizados en la presa de Piedra del Águila, solo se utiliza para realizar el barrido de la bobina 1.

El rendimiento real de un sensor dependerá de la respuesta del sensor a que las formas de onda de accionamiento cambiantes y también en el nivel de señal que devuelve, por lo cual es necesario determinar correctamente la Frecuencia de barrido:  $F_{Inicio}$  y  $F_{Final}$

En general, la frecuencia de partida de la frecuencia de barrido para un sensor de cuerda vibrante debe ser ligeramente menor que la frecuencia a la presión máxima de la escala del sensor.

$$F_{Inicio} \leq ([Escala\ de\ presión\ Máxima - Lectura\ Cero] / M)^{0,5} * 1000\ Hz / kHz$$

Por lo tanto para un sensor, que la presión máxima sea 50 psi, la lectura inicial es 142,4081 psi y  $M = -15,1\ psi / kHz^2$  se obtiene:

$$F_{Inicio} \leq ([50\ psi - 142,4081\ psi] / [-15,1\ psi / kHz^2])^{0,5} * 1000\ Hz / kHz$$

$$F_{Inicio} \leq ([-92,4081\ psi] / [-15,1\ psi / kHz^2])^{0,5} * 1000\ Hz / kHz$$

$$F_{Inicio} \leq ([6,119741\ kHz^2])^{0,5} * 1000\ Hz / kHz$$

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

$$F_{\text{Inicio}} \leq (2,474 \text{ kHz}) * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

$$F_{\text{Inicio}} \leq 2474 \text{ Hz (aprox. 2,4 kHz)}$$

En general, la frecuencia de finalización de la frecuencia de barrido para un sensor de cuerda vibrante debe ser ligeramente más alta que la frecuencia a la presión cero.

$$F_{\text{Final}} \geq ([\text{Presión Cero} - \text{Lectura Cero}] / M)^{0,5} * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

Por lo tanto para este sensor:

$$F_{\text{Final}} \geq ([0 \text{ psi} - 142,4081 \text{ psi}] / [- 15,1 \text{ psi} / \text{kHz}^2])^{0,5} * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

$$F_{\text{Final}} \geq ([-142,4081 \text{ psi}] / [- 15,1 \text{ psi} / \text{kHz}^2])^{0,5} * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

$$F_{\text{Final}} \geq ([9,431 \text{ kHz}^2])^{0,5} * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

$$F_{\text{Final}} \geq (3,071 \text{ kHz}) * 1000 \text{ Hz} / \text{kHz}$$

$$F_{\text{Final}} \geq 3071 \text{ Hz (aprox. 3,1 kHz)}$$

Finalmente la Frecuencia de barrido, es desde Inicio = 2,4 kHz, hasta Fin = 3,1 kHz.

El sensor de cuerda vibrante no debe ser excitado con más frecuencia que una vez cada cinco constantes de tiempo si la alta resolución es importante. La excitación del sensor mientras que la cuerda todavía está vibrando puede causar interferencia en la señal, puede añadir o quitar velocidad en la vibración, dependiendo de que la excitación este en fase o fuera de fase, haciendo que la cuerda vibre excesivamente o su vibración sea casi nada en absoluto.

### **El multiplexor AM16/32B**

El multiplexor AM16/32B, permite aumentar el número de sensores a muestrear. El multiplexor es un circuito combinacional con varias entradas y una única salida de datos, posee entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos para permitir su transmisión desde la entrada seleccionada hacia dicha salida común.

Es compatible con los datalogger Campbell Scientific CR10/10X, CR23X, CR1000, CR5000, CR7 y 21X o bien con un PLC. Se ubica entre los sensores y el datalogger o el PLC.

### **Características**

- Forma económica de tener canales adicionales.
- Compatible con la mayoría de sensores.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Puede utilizarse con diferentes tipos de sensores.
- Puede ubicarse lejos del datalogger o PLC, a fin de reducir costes en el cableado.



**Figura N° 57 Multiplexor AM16/32B.**

### Descripción

Se pueden multiplexar varios tipos de sensores, como termopares, termistores, potenciómetros, galgas, bloques de humedad del suelo, puentes medios o completos, y sensores de cuerda vibrante. Un mismo multiplexor AM16/32B admite diferentes tipos de sensores.

Pueden conectarse varios AM16/32B a un solo datalogger. Es posible conectar hasta seis AM16/32B a un datalogger, siempre que existan las correspondientes entradas analógicas libres y ocho puertos de control (dos para líneas de clock y seis para la activación).

Usa relés, y de forma manual con un switch, se pueden configurar 16 grupos de cuatro líneas (16x4) o 32 grupos de dos líneas (32x2) multiplexables de forma secuencial.

El AM16/32B puede multiplexar un total de 64 líneas (32 x 2-líneas o 16 x 4-líneas). El número de sensores dependerá de la configuración del sistema y del tipo de sensor.

El AM16/32B multiplexa secuencialmente 16 grupos de 4 líneas (**Canal 1 al 16**), total 64 líneas a cuatro terminales comunes (COM). ODD H y L / EVEN H y L). Este modelo de multiplexor puede controlar 16 sensores de cuerda vibrante de 2 bobinas, con cuatro conductores como son los SCV instalados en la presa de Piedra del Águila.

Posee 2 entradas de control, Reset (**RES**) y Clock (**CLK**):

La línea de **Reset** ("**RES**") se utiliza para activar el AM16/32B.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Una señal en el intervalo de 3,3 a 8 VCC aplicada en el terminal **RES** activa el multiplexor. Cuando la línea **RES** desciende a 0,9 VCC, el multiplexor entra en un estado de reposo o de baja corriente de fuga. En el estado de reposo los terminales comunes ("**COM**") están eléctricamente desconectados de todos los canales de entrada del sensor.

La pulsación de la línea **Clock** ("**CLK**") del Multiplexor AM16 / 32B de alto nivel a bajo nivel, después de activar la línea "**RES**" avanza el canal.

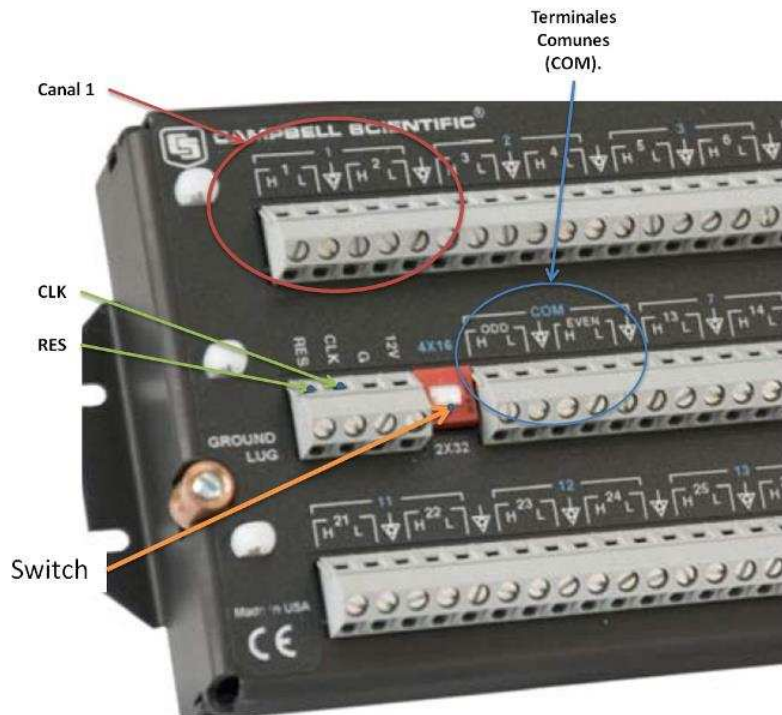
El nivel de tensión debe ser inferior a 1,5 VCC y luego elevarse por encima de 3,3 VCC con el reloj del multiplexor.

El multiplexor AM16/32 funciona en uno de dos modos de marcado:

Modo A-secuencial avanza a través de cada canal de relé (siempre y cuando RESET HI, relés están cerrados en cada flanco ascendente CLK).

Modo B-utiliza una dirección de retransmisión para ir directamente a un canal específico. (esto se puede observar en la Figura N° 59). Esto reduce el consumo de energía y el desgaste en el relé, cuando la medición de un instrumento se hace repetitiva, en comparación con el resto de los instrumentos conectados al mismo multiplexor.

También posee un switch manual con lo cual también puede multiplexar 32 grupos de dos líneas, (total de 64 líneas) a dos terminales comunes (COM). Esto se puede observar en la figura N° 58.



**Figura N° 58 Esquema de Conexión del AM16/32B.**



<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El número máximo de sensores que se pueden multiplexar mediante el AM16/32 depende del tipo de sensores a medir, por ejemplo:

- Hasta 32 sensores con salida simple o diferencial que requieran dos hilos (ej. termistor, puentes medios)
- Hasta 16 sensores con salida simple o diferencial que requieran cuatro hilos (ej. puentes completos, puentes medios a 4 hilos)
- Hasta 32 sensores de hilo vibrante (16 con temperatura) junto con un interface AVW1, AVW4 o AVW100.
- Hasta 32 bloques de humedad del suelo (modelo 223 o 253). Los condensadores de bloqueo no son necesarios, reduciendo así el coste del sensor.

#### Selección de modo de direccionamiento A:

- La línea de **Reset** ("**RES**") en nivel Alto durante más de 9 ms.
- Un pulso **CLK** ocurre mientras **RESET** está en nivel Alto.

Cuando **RES** se pone en nivel alto, los terminales comunes (ODD H, ODD L, EVEN H, y EVEN L) están desconectados de todos los terminales de entrada del sensor.

Cuando llegue el primer pulso de reloj, los terminales "**COM**" se encienden para conectar con el canal de entrada del sensor 1 (Círculo rojo de la figura N° 58) que consiste en 1H, 1L, 2H, y 2L.

Cuando llega un segundo pulso de reloj, las líneas comunes se encienden para conectarse al canal 2 (3H, 3L, 4H, 4L). El multiplexor avanza en el borde anterior del impulso de reloj de signo positivo. El pulso **CLK** debe ser al menos 1 ms de largo.

Se inserta un retardo (típicamente de 10 a 20 ms) entre el inicio del pulso **CLK** y la instrucción de la medida para asegurar suficiente tiempo de establecimiento de contactos de relé.

#### Selección de modo de direccionamiento B

Para entrar en el modo B, la línea **RES** debe ajustarse en **Alto** durante 5 ms ( $\pm 1$  ms) sin ningún tipo de reloj.

Luego, la línea **RES** necesita configurarse en **Bajo**.

Después que **RES** se ha establecido en bajo, el AM16/32 cuenta el número de pulsos **CLK** que se producen antes de la línea **RES** se activa de nuevo.

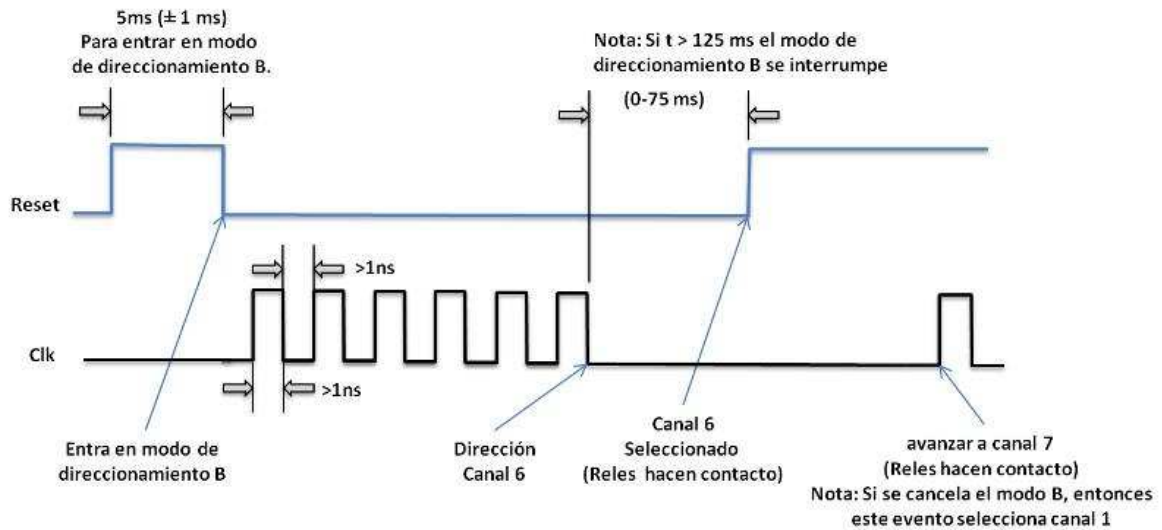
Este número es la dirección del relé a conectar con la salida **COM**.

Después de entrar en el modo B, el flanco ascendente de **RESET** (<75 ms después del

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

último pulso CLK) activa el relé abordado.

Una vez que se activa el relé requerido, el AM16 / 32B avanza a la siguiente relé con cada pulso CLK (véase la Figura N° 59).



**Figura N° 59 Modo B de direccionamiento del AM16/32.**

Si el tiempo entre el flanco de bajada del impulso de reposición de 5 ms y el siguiente flanco ascendente de RESET o CLK es más de 125 ms, el AM16/32 se pondrá en modo de direccionamiento A, automáticamente.

NOTA: En la figura N° 60 se incluye una parte de un programa CR1000 que muestra las instrucciones utilizadas para entrar en el modo B y saltar en el canal 6.

```

'*****' "Jump" AM16/32B directly to Channel 6
Scan (100,mSec,0,1)
  PortSet(5,1)           ' Raise Reset line
  Delay (0,5,mSec)      ' Keep reset HI for 5 ms
  PortSet(5,0)         ' Reset line set LO (enters "B Addressing" mode)
  Delay (0,3,mSec)
  For i = 1 To 6       ' Pulse CLK line 6 times - addresses Channel 6
    PortSet(6,1)      ' Raise CLK
    Delay (0,10,mSec)
    PortSet(6,0)      ' Drop CLK
    Delay (0,10,mSec)
  Next i
  Delay (0,5,mSec)
  PortSet(5,1)         ' Raise Reset - selects Channel 6 (relays make contact)
NextScan

```

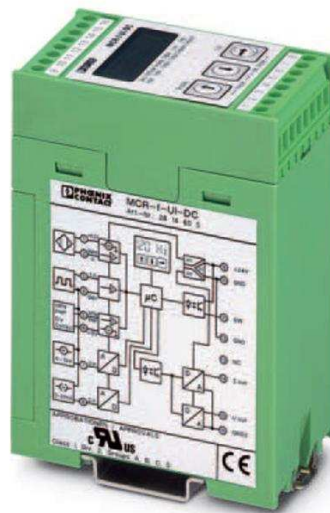
**Figura N° 60 Programa CR1000 para Modo B de direccionamiento.**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Transductor de Frecuencia Universal.**

El convertidor de frecuencia programable MCR-F-UI-DC, que se puede observar en la figura N° 61, se utiliza para la conversión de frecuencia en señales analógicas o digitales, con separación de 3 vías y salida configurable. La operación de convertidor puede ajustarse en el panel frontal mediante un teclado de membrana o software de configuración. En el display de cristal líquido puede leerse el valor de frecuencia, RPM o las señales normalizadas de salida.

En la entrada pueden captarse todas las señales de frecuencia usuales y señales de codificadores rotatorios incrementales. Además se dispone de una salida a transistor NPN / PNP con capacidad de carga hasta 100mA.



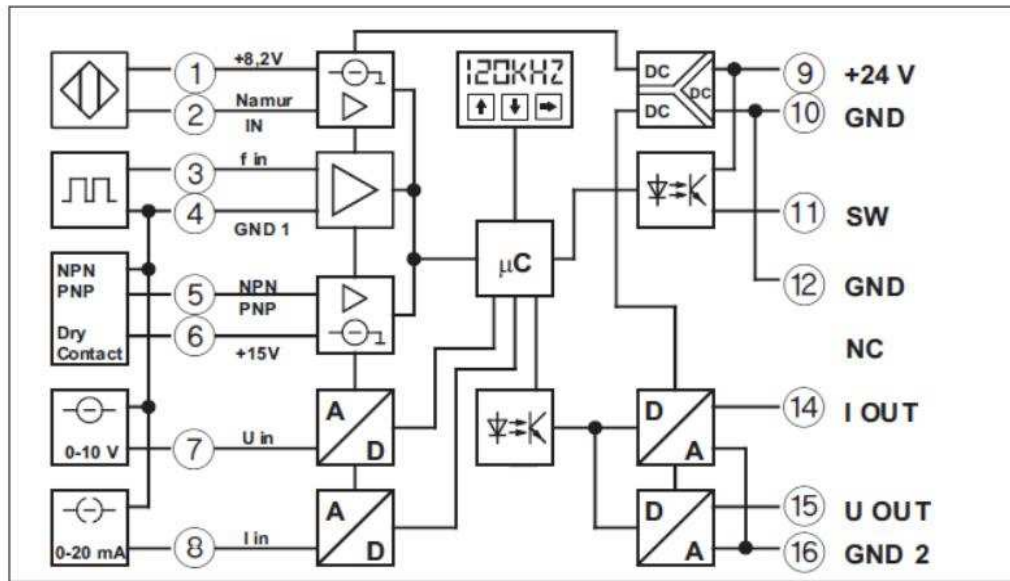
**Figura N° 61 Convertidor de Frecuencia Programable (CFP)**

### **Características Técnicas**

- Margen de medición de frecuencia: 0,1Hz...120 kHz
- Tensión de alimentación del transmisor: 20 a 30 VCC
- Nivel de señal: 2 V para rectangular 0...120 kHz / 2 V para seno 1...120 kHz)
- Amplitud máxima de entrada: 30 V
- Técnica de conexión: 2, 3, 4 conductores
- Tensión de salida máxima: 12,5 V
- Corriente máxima de salida: 25 mA

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

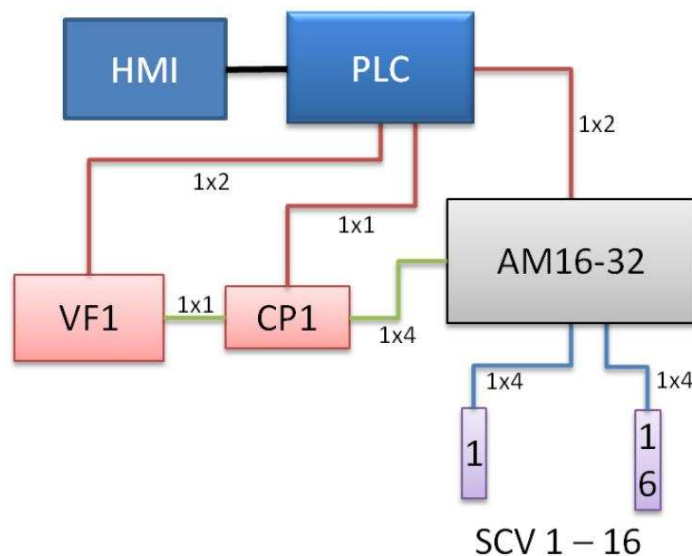
El esquema de conexión, se puede observar en la figura N° 62.



**Figura N° 62 Esquema de Conexión del CFP.**

**C2) Utilizar variador de frecuencias, multiplexor y convertidor / contador de pulsos.**

Esta configuración es similar a la anterior, se utiliza: Un **PLC** para control, medición de instrumentos, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red. Un panel táctil **HMI** par control y presentación de datos, un variador de frecuencias **VF1** para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido, un multiplexor **AM16/32** para ampliar a 16, la cantidad de sensores a medir, y un convertidor/contador de pulsos **CP1**, para realizar la medición de la frecuencia de resonancia de la cuerda vibrante. Esta configuración se representa en la Figura N° 63.

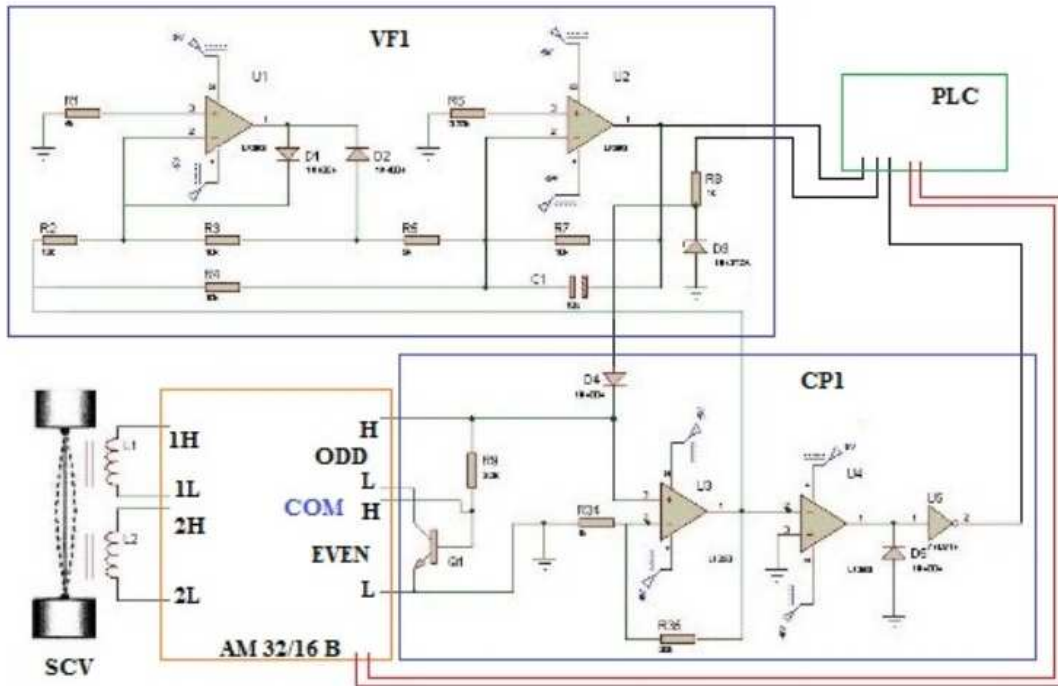


**Figura N° 63 Conexión de Instrumentos SCV con el PLC – C2.**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

A continuación se realiza una descripción de los elementos utilizados.

La figura N° 64 muestra el esquema general del circuito de medición propuesto y el circuito electrónico donde se desarrolló la electrónica asociada a los bloques VF1 y CP1 del esquema general.



**Figura N° 64 Conexión de Instrumentos SCV con el PLC**

El circuito opera de la siguiente manera: Para comenzar una medición se activa el Multiplexor AM16/32, seleccionando el canal del sensor SCV que se desea medir.

Después se genera un pulso por el pin del VF1 de duración 20 ms y limitado a 12 voltios por el zener D3, con lo cual la bobina de excitación L1 crea un campo magnético instantáneo que modifica el estado de reposo de la cuerda vibrante y logra que esta vibre a una cierta frecuencia de acuerdo con la tensión de la misma. Esta vibración de la cuerda induce en la bobina L2 una tensión bastante pequeña que es captada por la etapa del convertidor/contador de pulsos CP1, de acondicionamiento para medición formada por un amplificador U3 que lleva el nivel de tensión a un valor suficiente para que el comparador U4 genere una onda cuadrada de la misma frecuencia de la señal inducida en L2. El diodo D5 limita el nivel negativo de la onda cuadrada para que pueda ser inyectada al inversor digital que acondiciona la señal para ser leída por el PLC quien, valiéndose de las interrupciones por cambios en el pin CP1 y de un contador interno, mide el periodo de la señal inyectada para procesarlo y mostrar el valor de la frecuencia de la señal en el HMI.

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

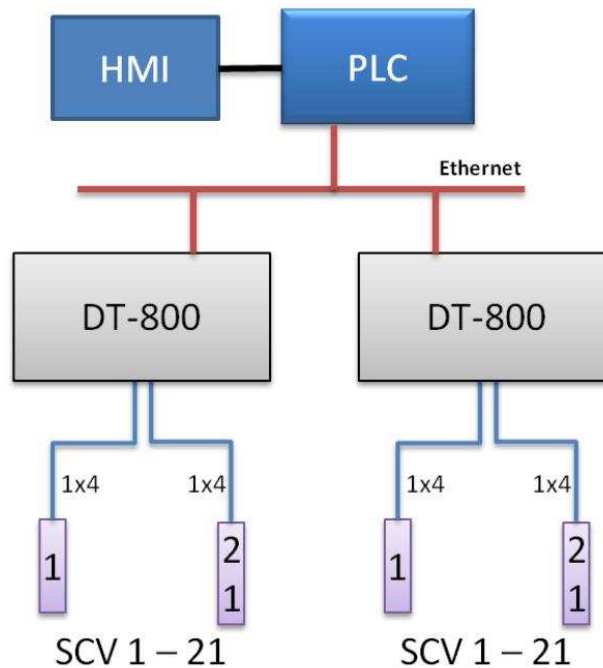
### **El multiplexor AM16/32B**

El multiplexor AM16/32B, permite aumentar el número de sensores a muestrear. El multiplexor es un circuito combinacional con varias entradas y una única salida de datos, posee entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos para permitir su transmisión desde la entrada seleccionada hacia dicha salida común.

El funcionamiento es el mismo que lo explicado en la configuración anterior.

### **C3) Utilizar datalogger para realizar la medición.**

En esta configuración se utiliza: Un PLC para control, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red. Un panel táctil HMI para control y presentación de datos, un datalogger para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido y realizar la medición de instrumentos. Esto se representa en la Figura N° 65.



**Figura N° 65 Conexión de Instrumentos SCV con el PLC – C3.**

A continuación se realiza una descripción de los elementos utilizados.

### **Datalogger Datataker DT800.**

La combinación de las funciones de adquisición de datos, registro de datos y el controlador, hacen que el datalogger DT800 sea robusto, independiente, y una unidad de alta velocidad, que ofrece una resolución de 16 bits, con batería de respaldo SRAM interna y compatibilidad con tarjetas de memoria ATA Flash, batería interna de operación de 12V, y un sistema operativo de gran alcance y la estructura de archivos interno.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El DT800 cuenta con 42 entradas analógicas, dando la posibilidad de configurar 42 canales individuales separadas o 21 canales diferenciales.

Estos canales son aislados y protegidos por sobre voltaje, con la medición a través de 12 rangos de auto-escala de 10 mV a 13 V a escala completa.

Todos los tipos de medición comunes están soportados, incluyendo DC y AC (RMS) de voltaje, corriente, resistencia, temperatura, puentes, medidores de tensión, 4-20 bucles y frecuencia. Se proporcionan excitación ajustable y activación en todos los canales.



**Figura N° 66 Datalogger Datataker DT800**

Características:

- Datos de alta velocidad de adquisición
- 21 a 42 canales de sensor, 16 canales digitales
- Canales Únicos Universales
- Tarjeta Flash PC Tipo ATA, para almacenamiento de datos extraíble.
- Configuración fácil de software basado en Windows.
- Monitoreo y control remoto.
- Boque de terminales extraíbles.
- Conexión Ethernet.

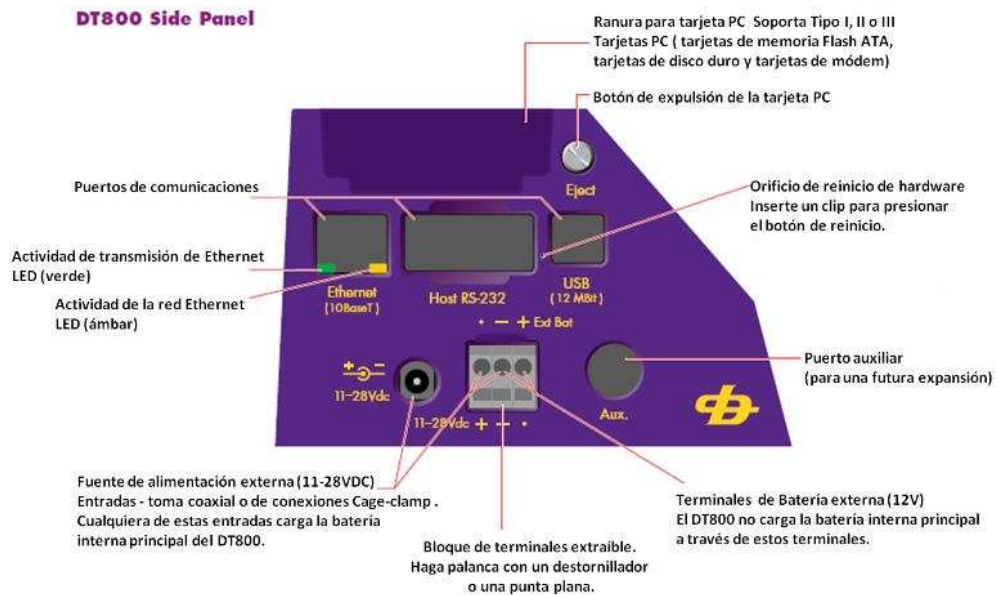
Consta de 8 canales de entrada digitales (Digital I/O) y 8 canales de salida (Digital E/S). Dos de las entradas digitales tienen umbral ajustable para el monitoreo de señales de bajo nivel. Pueden contar hasta 10kHz y el método de disparo son compatibles en todos los canales digitales.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El datalogger posee un puerto RS232, un puerto 10BaseT Ethernet y un puerto para tarjetas PC instaladas de serie para la programación y recuperación de datos del Datataker.

Los datos también pueden transmitir en tiempo real o pueden ser almacenados en la memoria RAM interna o una tarjeta de memoria. Los programas del DT800 almacenan datos en formato DOS, lo que permite una compatibilidad total con Windows.

El DT800 cuenta con módem de acceso telefónico y la capacidad de marcación de salida. TCP / IP es compatible, que significa que el DT800 puede comunicarse a través de una red de área local. Además, se proporciona un servidor FTP a bordo para que los archivos se puedan transferir fácilmente a través de Ethernet o puertos RS232. Esto se puede observar en la figura N° 67.



**Figura N° 67 Conexiones del Datalogger Datataker DT800**

Las entradas fundamentales y rangos que el DT800 puede medir, son:

- Tensión (V)
- Resistencia (R)
- Frecuencia. (F)

La siguiente tabla muestra rangos de entrada del DT800 para estas señales fundamentales, junto con sus resoluciones:



<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

	Full Scale	Resolution		Full Scale	Resolution
V	±10mVdc or mVac p-p	1µV	R	20Ω	100µΩ
	±20mVdc or mVac p-p	2µV		50Ω	25µΩ
	±50mVdc or mVac p-p	5µV		100Ω	500µΩ
	±100mVdc or mVac p-p	10µV		200Ω	1mΩ
	±200mVdc or mVac p-p	20µV		500Ω	3mΩ
	±500mVdc or mVac p-p	50µV		1000Ω	5mΩ
	±1Vdc or Vac p-p	100µV		2000Ω	100mΩ
	±2Vdc or Vac p-p	200µV		5000Ω	25mΩ
	±5Vdc or Vac p-p	500µV		10000Ω	50mΩ
	±10Vdc or Vac p-p	1mV			
±13Vdc or Vac p-p	2mV				
			F	10kHz	0.01Hz

**Tabla 4 Rangos de entradas del DT800**

Muchos sensores requieren de excitación (energía eléctrica), de modo que pueden proporcionar una señal de salida. Como es el caso de los sensores SCV de la central Piedra del Águila. Por ejemplo, para leer la temperatura de un termistor, se pasa corriente de excitación a través del termistor para generar una caída de tensión que se puede medir.

El DT800 puede proporcionar

- 0-10Vdc excitación de voltaje (resolución de 12 bits = pasos 2.44mV)
- 0-20 mA corriente de excitación (12-bits de resolución = pasos 4.88µA)
- 0-200mW excitación poder (resolución de 12 bits = pasos 48.8µW).

La excitación según cada tipo, se imprimen en el terminal apropiado de cada canal cuando se lee cada instrumento. Esta acción es automática para la mayoría de los tipos de sensor, pero también puede ser iniciado por una opción de canal.

El DT800 puede medir frecuencias en el rango de 50 Hz a 10 kHz. Puede ampliar este rango hasta 0,5 Hz o hasta 50 kHz, pero estas medidas extremas pueden ser menos precisas. Aunque la medición de frecuencia trabaja con formas de onda cuadrada, de seno y diente de sierra, las ondas cuadradas ofrecen la mejor precisión. Para frecuencias más bajas (por debajo de 1 kHz), utilice una onda cuadrada siempre que sea posible.

Aunque se puede utilizar cualquier software de terminal para comunicarse con el Datataker DT800, se provee de paquetes de software DT800-amigables que incorporan muchas características de productividad específicas para la adquisición de datos, registro de datos y tienen una interfaz totalmente gráfica, lo que significa que no se requiere de un conocimiento previo del lenguaje de programación Datataker.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

**Fase 2:** El diseño de la arquitectura del sistema.

De acuerdo a lo expresado en el punto 5.2 Antecedentes - Sistema Telemido de Auscultación (STA), en el punto 10.2 Investigación de Campo y en la Figura N° 16 Distribución de Tableros Sistema STA, los sensores de campo de cada instrumento, están vinculados directamente a:

- Tableros Analizadores (TA)
- Tableros Analizadores de Temperaturas (TAT)
- Tableros Terminales de Mediciones (TTM)

En la presa de la central Piedra del Águila los Tableros Analizadores TA están ubicados en los módulos 18, 22, 28 y .34. Los protectores gaseosos se emplazan en los Tableros Analizadores TA. Las capacidades varían entre 17 y 144 sensores. Hay cinco (5) tableros TA, tres (3) con expansión, todos con manejo mayoritario de sensores de cuerda vibrante y con MUX minoritario bipolar (manejo de tensión y/o corriente).

En el Paleocauce hay cuatro (4) Tableros TA-PA, que no tienen expansión y las capacidades varían desde 17 a 32 sensores. Todos usan mayoritariamente sensores de cuerda vibrante y dos tienen una plaqueta MUX BIPOLAR con su instrumento para medir tensión y corriente.

En total hay catorce (14) tableros TAT. Sus capacidades oscilan entre 16 y 28 sensores. En todos los casos son mayoritarios los sensores de temperatura de resistencia de platino PT-100. Hay cuatro tableros con sensores de cuerda vibrante como minoritarios y sólo tres con plaqueta MUX bipolar para manejo de entradas de tensión y/o corriente.

En la **tabla 5** se listan los Tableros, tipo, ubicación, nivel y cantidad de instrumentos instalados en cada tablero.

Num	N° TABLERO	TIPO	Modulo /Galería	Nivel	Instrumentos
1	4	TA-PA	Trin	P490	19
2	9	TA-PA	GP3	P520	27
3	13	TA-PA	GP1	P590	17
4	18	TA-PA	PD1	P510	32
5	23	TA	M18	N508	36
6	24	TA	M22	N500	62
7	25	TA	Central	N496	3

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Num	Nº TABLERO	TIPO	Modulo /Galería	Nivel	Instrumentos
8	26	TA	M28	N492	144
9	27	TA	M34	N492	17
10	28	TAT	M18	N508	16
11	29	TAT	M18	N528	14
12	30	TAT	M18	N560	14
13	31	TAT	M22	N460	18
14	32	TAT	M22	N500	16
15	33	TAT	M22	N528	14
16	34	TAT	M22	N560	12
17	35	TAT	M28	N473	25
18	36	TAT	M28	N500	25
19	37	TAT	M28	N528	14
20	38	TAT	M28	N560	10
21	39	TAT	M34	N492	14
22	40	TAT	M34	N528	14
23	41	TAT	M34	N560	12

**Tabla 5 Listado de Tableros y cantidad de Instrumentos.**

El diseño propuesto tiene una distribución igual al sistema actual, por lo cual la distribución de los tableros es igual a la que se observa en la Figura N° 16 donde se describe la distribución de Tableros del Sistema STA, de la central Piedra del Águila.

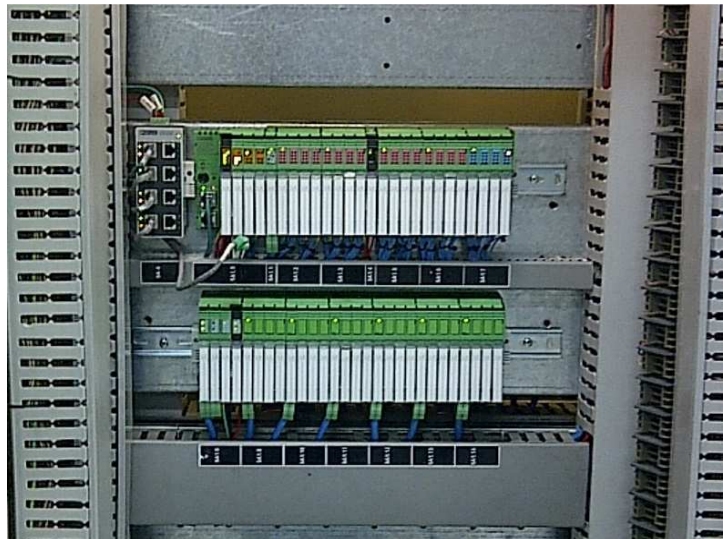
**Fase 3:** Testeo del sistema comunicación y el sistema PC.

Por la experiencia adquirida en los trabajos del sector de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, y de acuerdo a lo expresado en el punto **10.1 Antecedentes de Proyectos Similares**, se realizaron pruebas en el sistema de control de temperatura de la unidad 2, el sistema mencionado está formado por un (1) panel HMI de control local de la unidad, modelo TP 3105 T marca PHOENIX CONTACT y el panel de alarmas, en su interior se puede observar fuentes de voltaje y alimentación, tres (3) PLC marca PHOENIX CONTACT modelo ILC 170 ETH 2TX, estos elementos están conectados por un Switch Ethernet, modelo FL SWITCH SFN 8TX, que se observa en la figura N° 68 (a), la conexión de los 3PLC y el Panel Táctil de la unidad 2, se observa en la figura N° 68 (b).

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides



(a)



(b)

**Figura N° 68 a- Switch Ethernet. b – Conexión de PLC de Unidad 2.**

El Switch Ethernet FL SWITCH SFN 8TX, posee 8 puertos TP-RJ45, detección automática de la velocidad de transmisión de datos de 10/100 Mbits/s (RJ45), y función autocrossing.

#### **Datos técnicos**

Interfaz 1	Ethernet (RJ45)
Número de puertos	8 (puertos RJ45)
Tipo de conexión	Hembra RJ45, autonegociación y autocrossing
Física de transmisión	Ethernet en RJ45-par trenzado
Velocidad de transmisión	10/100 MBit/s (RJ45)

#### Parámetros de extensión de red

Profundidad de cascada	Red, estructura en línea y estrella: discrecional
Longitud máxima de cable (par trenzado)	100 m

La prueba que se realizó, consistió en conectar los PLC del sistema de control de temperaturas de la Unidad 2, con cables de 90 Mts de longitud, que es la distancia máxima de separación de los tableros del Sistema STA.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

**Fase 4:** Determinación y cuantificación de los diferentes equipos para el nuevo sistema.

De acuerdo a la estructura de la empresa todo el Hardware y el Software que se debe utilizar para la implementación del nuevo sistema, debe ajustarse a los requerimientos del departamento de sistemas de la empresa.

#### Departamento de Sistemas

**Descripción** Es el sector responsable de la seguridad de la información de la central.

Siguen los lineamientos de la gerencia general, desempeñan sus tareas en las oficinas de Bs. As. El departamento cuenta con 1 jefe de sistemas que es ingeniero de sistemas, también cuenta con 5 analistas de sistemas, que desarrollan las distintas tareas del sector. Cuentan con bastantes conocimientos de programación, configuración de red, servicios de Back-up y seguridad de la información y de operación de Pc's,

#### Responsabilidades

- Responsables que el sistema informático actual cumpla con las especificaciones de seguridad.
- Autorizar toda compra de hardware nuevo.
- Controlar que los usuarios cumplan con los requisitos de licencias de software necesario para el funcionamiento de la central.
- Establecer los requerimientos de seguridad necesarios que deben cumplir cualquier implementación de sistema informático.

De acuerdo a lo desarrollado en el punto 7- Hipótesis de trabajo y su operacionalización y en la figura N° 33- Sistema SCADA Básico. En el esquema básico se reconocen cuatro niveles operativos, que son:

1. Nivel Instrumentación: Sensores e Instrumentos.
2. Nivel Operativo o Control Primario: Formado por los tableros TA, TAP, y TAT del STA
3. Nivel de Control Secundario: Servidor, procesos de control, bases de datos.
4. Nivel de Gestión o Supervisión: Supervisión, consultas, reportes, interfaces Web.

A continuación se describen los elementos necesarios para cada nivel.

1. **Nivel Instrumentación:** Sensores e Instrumentos.

Maneja la Interface de la interconexión con el campo, en donde cada Sensor o Instrumento

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

traducirá un fenómeno específico con una precisión requerida, de acuerdo a lo descrito en los puntos 5.2 Antecedentes, Instrumentación de Presa, e Instrumentación del Paleocauce, se pueden mencionar los siguientes Instrumentos y sensores.

Tipos de Sensores:

- Aforadores.
- Extensómetros.
- Freatímetros.
- Inclínómetros.
- Micrómetro deslizante.
- Péndulo invertido.
- Piezómetros.
- Tensiómetro (de hormigón).
- Termómetro eléctrico.

2. Nivel Operativo o Control Primario: Formado por los tableros TA, TAP, y TAT.

Posee características similares a Unidades de Estaciones Remotas:

- \* Administra la Interface con los Instrumentos y Sensores.
- \* Monitorea el Estado de Instrumentos y Sensores.
- \* Supervisa la recolección de las lecturas realizadas.
- \* Almacena y procesa los datos de las lecturas realizadas.
- \* Transmite datos (a solicitud) a la estación central (CDA).
- \* La Transmisión de datos a la Estación Central se realizada vía red Ethernet de campo.
- \* Autodiagnóstico de fallas y generación de alarmas.
- \* Parametrización in situ (vía laptop).

Descripción de Componentes Principales de los tableros TA, TAP, y TAT.

- PLC marca Siemens Tipo S7-200, S7-300 o marca PHOENIX CONTACT modelo ILC 170 ETH 2TX.
- Panel táctil, modelo Simatic HMI TP 070 o PHOENIX CONTACT modelo TP 3105 T
- Datalogger Datataker DT800 (\*).

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Multiplexor Campbell Scientific AM16/32B (\*).
- Interface para Cuerda Vibrante Campbell Scientific, modelo AVW1 (\*).
- Transductor de Frecuencia Universal (\*).
- Convertidor RS232/485.
- Convertidor DC/DC.
- Power Supply 220 V a.c./13,8 V c.c.
- Power Supply 220 V a.c./24 V c.c.

(\*). Estos componentes dependen de la configuración elegida para implementar el sistema.

### 3. Nivel de Control Secundario: Servidor, procesos de control, bases de datos

Forman parte de la Estación Central, según lo descrito la Unidad de Activación Centralizada (UDAC). Las características de la misma son:

- \* Núcleo y gerenciamiento total del sistema STA.
- \* Obtención de datos de los tableros TA, TAP, y TAT.
- \* Almacenamiento y procesamiento de los datos.
- \* Conversión de lecturas a unidades de ingeniería.
- \* Configuración y parametrización del sistema.
- \* Visualización y generación de alarmas.
- \* Respaldo de datos (Back-up) y restauración.
- \* Presentación al usuario de datos y alarmas.
- \* Comunicación con otros sistemas.

El Software utilizado en el Centro de Adquisición y Procesamiento de Datos:

- \* Sistema Operativo: Microsoft Windows Server 2010 o superior.
- \* Gestor de Base de Datos: Microsoft SQL Server 2010.
- \* Base de Datos: Interna - Propietaria.
- \* Base de Datos de Intercambio: MS SQL Server 2010.

El Software de Aplicación para el nuevo sistema, deberá poseer las siguientes características generales:

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- \* Gerenciamiento de las Alarmas.
- \* 24 Horas de Adquisición y Supervisión de Datos.
- \* Validación de los Datos.
- \* Modelajes Matemáticos.
- \* Soporte para el Mantenimiento.
- \* Presentación de Datos HMI (Interface Hombre/Maquina).

El equipo necesario para el Servidor:

- Procesador Intel® Xeon® E5-2603 1.80GHz, 10M Cache, 6.4GT/s QPI.
- Memoria RAM 8GB RDIMM, 1333 MT/s, Low Volt, Dual Rank, x4 Data Width
- Mother Intel con soporte para el procesador I5, Memorias DDR3 1333 y placa controladora de disco con Raid 1 (espejo), controladora de video
- RAID 1 for H710P/H710/H310 (2 HDDs)
- HD1 y HD2 – 1TB 7.2K RPM SATA 3.5 in Hot-plug Hard Drive cada uno
- DVD ROM, SATA, Internal

4. Nivel de Gestión o Supervisión: Supervisión, consultas, reportes, interfaces Web

El sector seguirá utilizando los 3 equipos terminales en red, que disponen actualmente, cuyas características son:

- Procesador Intel Pentium D, velocidad 3.0 Ghz 2,99 Ghz.
- Memoria RAM 1,99 Gb. DDR3 1333
- Mother Intel con soporte para el procesador PD, Memorias DDR3 1333,

Controladora de video

- HD1 Sata 3, capacidad 32 Gb.
- Placa adaptadora de RED.
- Unidad DVD-RW.
- Sistema Operativo MS Windows XP versión 2002 Service Pack3
- Monitor LED 17”



<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 11. Análisis e interpretación de datos.

De acuerdo a lo planteado en el punto - 7. **Hipótesis de trabajo y su operacionalización**, y el punto 10.2 - Investigación de Campo, el estudio de las hipótesis de trabajo se desarrolló en 4 fases, utilizando el laboratorio que posee Hidroeléctrica Piedra del Águila. El trabajo se realizó de la siguiente manera:

**Fase I:** Comprobar si los PLC pueden realizar las lecturas de los SCV:

Según lo señalado en el punto **10.2-Investigación de Campo**, se estudiaron tres configuraciones posibles, para comprobar este hecho, los resultados se describen que a continuación.

**C1- Utilizar interfaces de excitación, multiplexor y convertidor de frecuencia.**

En esta configuración se utiliza:

- Un PLC para control, medición de instrumentos, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red. La arquitectura típica de un PLC se puede observar en la **figura N° 69**.



**Figura N° 69 Arquitectura Típica de un PLC.**

- Un panel táctil HMI para control y presentación de datos.

El panel es la interface con el operador para seleccionar el instrumento a medir y mostrar el resultado de la misma. También puede mostrar graficas de las lecturas anteriores de ese instrumento.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Un multiplexor AM16/32 para ampliar a 16, la cantidad de sensores a medir.

Esto es importante debido a que cada sensor de SCV posee cuatro (4) cables de conexión dos (2) para la bobina de excitación y dos (2) para la bobina de medición. Por lo cual para controlar 16 sensores un PLC debería contar con 32 E/S analógicas. En cambio con la utilización del multiplexor, para controlar la misma cantidad de sensores SCV, solo se necesitan dos (2) canales digitales y dos (2) E/S analógicas.

El esquema de Conexión del AM16/32B, se puede observar en la **Figura N° 58**. Un PLC puede controlar al multiplexor AM16/32, conectando las entradas CLK y RES del AM16/32 a dos canales del Modulo de salidas Digitales del PLC.

Según lo desarrollado en el tema “Selección de modo de direccionamiento B” en el punto 10.2 donde describe el funcionamiento del multiplexor AM16/32B, la selección de un canal se realiza con la pulsación de la línea Clock ("CLK"), esto se puede observar en la **Figura N° 59** Modo B de direccionamiento del AM16/32, y **Figura N° 60** Programa CR1000 para Modo B de direccionamiento.

Una señal en el intervalo de 3,3 a 8 VCC aplicada en el terminal RES activa el multiplexor. Y cuando la línea RES desciende a 0,9 VCC, el multiplexor entra en un estado de reposo o de baja corriente de fuga. La pulsación de la línea Clock ("CLK") del Multiplexor AM16 / 32B de alto nivel a bajo nivel, después de activar la línea "RES" avanza el canal. El nivel de tensión debe ser inferior a 1,5 VCC y luego elevarse por encima de 3,3 VCC.

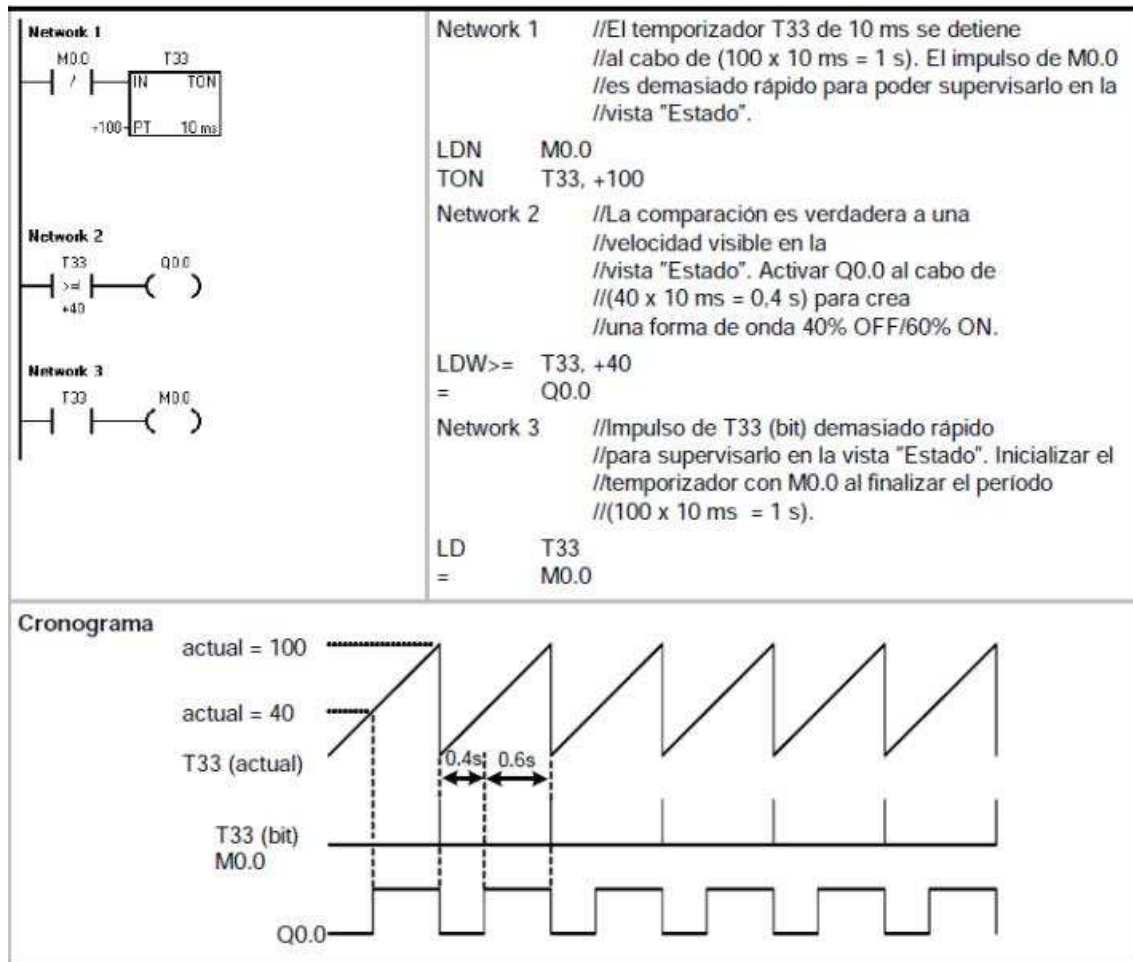
Por lo general los PLC poseen temporizadores que tienen resoluciones (intervalos) de 1 ms, 10 ms ó 100 ms. Existen dos variables asociadas a los temporizadores:

- Valor actual: en este número entero de 16 bits con signo se almacena el valor de tiempo contado por el temporizador.
- Bit del temporizador (bit T): este bit se activa o se desactiva como resultado de la comparación del valor actual con el valor de preselección. Éste último se introduce como parte de la operación del temporizador.

A estas dos variables se accede utilizando la dirección del temporizador (T + número del temporizador). Dependiendo de la operación utilizada, se accede al bit del temporizador o al valor actual. Las operaciones con operandos en formato de bit acceden al bit del temporizador, por ejemplo T33 en Network 3 de la **figura 70**, en tanto que las operaciones con operandos en formato de palabra acceden al valor actual. Como se muestra en la **figura 70**, en Network 2. Como se puede observar la salida digital Q0.0, es similar a la que

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

se observa en **figura N° 59** Modo B de direccionamiento del AM16/32.



**Figura N° 70** Ejemplo de Uso de Temporizadores en un PLC.

Para que los tiempos sean los definidos en la **figura N° 59** Modo B de direccionamiento del AM16/32, y **figura N° 60** Programa CR1000 para Modo B de direccionamiento, se puede utilizar un temporizador T64 de 1ms, con valor los valores de Network 1: **TON T64; +20**, y en Network 2 **LDW >= T64, +20 = Q0.0**, con lo cual se obtiene una señal de 10 ms en alto y 10 ms en bajo, que es la señal que se utiliza para cambiar de canal del Multiplexor AM16 / 32B.

- Una interface AW1 para excitar las bobinas del SCV, con una frecuencia de barrido.
- Una de las funciones de la Interface AW1, es convertir la excitación de frecuencia de barrido de 5 V (pico a pico) a 12V (pico a pico), para poder realizar esta función el PLC, debe activar la salida analógica donde está conectada la entrada EXC del AVW1. Para verificar la frecuencia de barrido se debe conectar la salida FREC del AVW1, con una entrada analógica del PLC. El circuito de conexión se puede observar en la figura N° 56 Circuito de la interface de Cuerda Vibrante AVW1.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

De acuerdo a lo desarrollado en la descripción de la Interface de Cuerda Vibrante AVW1, el rendimiento real de un sensor dependerá de la respuesta del sensor a las formas de onda de accionamiento cambiantes de la frecuencia de barrido y también en el nivel de señal que devuelve, por lo cual el PLC debe determinar correctamente la Frecuencias de inicio y final, de la frecuencia de barrido de cada sensor:  $F_{Inicio}$  y  $F_{Final}$ , cuando recibe la orden de realizar la medición de un instrumento.

- Un transductor de frecuencia para realizar la medición de frecuencia de SCV.

El PLC después de finalizar con la frecuencia de barrido, debe esperar que las frecuencias no resonantes mueran, por lo cual el PLC espera 20ms, y después mide de forma precisa la frecuencia por intermedio del Transductor de Frecuencia Universal. El Esquema de conexión del convertidor de frecuencia programable MCR-F-UI-DC, se puede observar en la **figura N° 62**.

#### C2- Utilizar variador de frecuencias, multiplexor y convertidor / contador de pulsos.

Esta configuración es similar a la anterior, se puede observar en la **figura N° 63**, se utiliza:

- Un PLC para control, medición de instrumentos, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red.
- Un panel táctil HMI par control y presentación de datos.
- Un multiplexor AM16/32 para ampliar a 16, la cantidad de sensores a medir.
- Un variador de frecuencias VF1 para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido.

En la figura N° 64, se puede observar la conexión de Instrumentos SCV con el PLC, el variador de frecuencias VF1, cumple la misma función del la interface de Cuerda Vibrante AVW1, descrita en el punto anterior.

- Un convertidor/contador de pulsos CP1, para realizar el cálculo de la frecuencia del SCV.

La función del convertidor es transformar la señal alterna de la frecuencia de resonancia de la bobina N° 2, en pulsos de corriente continua. Por lo cual se utiliza un contador de pulsos de alta velocidad. El cual el PLC lo habilita por un periodo de tiempo que se puede configurar.

Conociendo el tiempo y el n° de ciclos, el PLC calcula la frecuencia, para calcular la frecuencia de un suceso, se contabilizan el número de ocurrencias, en un intervalo

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido, donde Tiempo es el periodo en milisegundos.

**C3- Utilizar datalogger para realizar la medición.**

En esta configuración se utiliza:

- Un PLC para control, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red.
- Un panel táctil HMI para control y presentación de datos.
- Un datalogger para excitar las bobinas del sensor de cuerda vibrante, con una frecuencia de barrido y realizar la medición de instrumentos. Esto se representa en la Figura N° 65.

En esta configuración el PLC es el que recibe la orden de lectura de in instrumento, y de acuerdo a la distribución de los instrumento y el datalogger DT800, el PLC le reenvía la orden de lectura al datalogger correspondiente. El DT800 se encarga de excitar la bobina del sensor correspondiente y luego realizar la medición de la frecuencia de resonancia, después de esa acción, le envía al PL, el valor correspondiente.

El datalogger posee un puerto RS232, un puerto 10BaseT Ethernet y un puerto para tarjetas PC instaladas de serie para la programación y recuperación de datos del Datataker. Los datos también pueden transmitir en tiempo real o pueden ser almacenados en la memoria RAM interna o una tarjeta de memoria.

La información con la que cuentan de las tres alternativas es la siguiente:

	Objetivos Deseados	C1	C2	C3
<b>1</b>	Experiencia de los desarrolladores.	Alta	Alta	Normal
	Experiencia en herramientas	Muy Alta	Alta	Normal
<b>3</b>	Necesidades de equipo específico.	Medio	Bajo	Alto
<b>4</b>	Costo total de equipamiento	Alto	Medio	Muy Alto

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

	Objetivos Deseados	C1	C2	C3
5	Disponibilidad de equipos	Se puede conseguir por intermedio de proveedores anteriores	Se consiguen todos los materiales.	Depende de un solo proveedor/importador
6	Tiempo de implementación.	Normal, solo se debe ensamblar los instrumentos.	Prolongado, se deben diseñar y crear las plaquetas para el VF1 y el CP1	Prolongado, se debe adquirir conocimientos en el funcionamiento del Datalogger Datataker DT800.
7	Seguridad de funcionamiento	Alta	Normal	Normal

Las puntuaciones ponderadas totales para las tres alternativas son las siguientes:

	Objetivos Deseados	Peso	C1		C2		C3	
			Punt.	Pond.	Punt.	Pond.	Punt.	Pond.
1	Exp. Desarrolladores.	10	10	100	8	80	8	80
2	Exp. Herramientas.	10	10	100	8	80	6	60
3	Necesidades de equipo.	10	10	100	10	100	7	70
4	Costo Equipamiento	10	9	90	10	100	7	70
5	Disp. de equipamiento	8	10	100	10	100	7	70
6	Tiempo de implementación.	8	10	100	8	80	7	70
7	Seguridad de func.	7	10	100	8	80	8	80
				690		620		500

Como se puede observar del cuadro anterior las puntuaciones ponderadas totales fueron 690 para la alternativa de implementar la configuración N° 1; 620 para la alternativa de realizar la configuración N°2 y 500 para la alternativa de implementar la configuración N° 3. Por lo cual la opción más viable de implementar es la configuración N° 1.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

**Fase 2:** El diseño de la arquitectura del sistema.

De acuerdo a lo expresado en el punto 5.2 Antecedentes - Sistema Telemido de Auscultación (STA), en la Figura N° 16 Distribución de Tableros Sistema STA, en el punto 10.2 Investigación de Campo y en la Tabla 5 Listado de Tableros y cantidad de Instrumentos, la distribución de los tableros sería igual a la distribución actual. Pero según el tipo de configuración más adecuada, es conveniente agrupar los instrumentos de dos tableros en uno, en los tableros que tienen pocos instrumentos para medir, por lo cual solo se puede realizar en tableros que se encuentran en el mismo modulo y nivel, esto se resume en la **Tabla N° 6** que se presenta a continuación.

Nº TABLERO	TIPO	Modulo	Nivel	Instrumentos
27	TA	M34	N492	17
39	TAT	M34	N492	14
24	TA	M22	N500	62
32	TAT	M22	N500	16
23	TA	M18	N508	36
28	TAT	M18	N508	16

**Tabla 6 Tableros Ubicados en igual Modulo y Nivel.**

Con la nueva distribución y de acuerdo a la configuración más conveniente, se puede comparar la cantidad de Multiplexores y de PLC para las dos distribuciones. Se debe tener en cuenta que cada multiplexor puede controlar 16 sensores SCV, esto se puede observar en la siguiente tabla.

Cantidad de Multiplexores	Distribución Actual		Nueva Distribución	
	Cantidad de Tableros	Total Multiplexores	Cantidad de Tableros	Total Multiplexores
1	12	12	9	9
2	8	16	8	16
3	1	3	0	0
4	1	4	1	4
5	0	0	1	5
9	1	9	1	9
<b>Total</b>	23	44	20	43

**Tabla 7 Comparación de distribuciones.**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Como se puede observar con esta nueva distribución de tableros se requieren solamente 20 PLC y 43 Multiplexores, para poder realizar la configuración elegida. La distribución final de los tableros, con la cantidad total de instrumentos y la cantidad de multiplexores, es la que se detalla en la **tabla N° 8**.

<b>Num.</b>	<b>TABLERO</b>	<b>TIPO</b>	<b>Modulo /Galería</b>	<b>Nivel</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Multiplexor AM16/32B</b>
1	4	TA-PA	Trin	P490	19	2
2	9	TA-PA	GP3	P520	27	2
3	13	TA-PA	GP1	P590	17	2
4	18	TA-PA	PD1	P510	32	2
5	23-28	TA-AT	M18	N508	52	4
6	24-32	TA-AT	M22	N500	78	5
7	25	TA	Central	N496	3	1
8	26	TA	M28	N492	144	9
9	27-39	TA-AT	M34	N492	31	2
10	29	TAT	M18	N528	14	1
11	30	TAT	M18	N560	14	1
12	31	TAT	M22	N460	18	2
13	33	TAT	M22	N528	14	1
14	34	TAT	M22	N560	12	1
15	35	TAT	M28	N473	25	2
16	36	TAT	M28	N500	25	2
17	37	TAT	M28	N528	14	1
18	38	TAT	M28	N560	10	1
19	40	TAT	M34	N528	14	1
20	41	TAT	M34	N560	12	1

**Tabla 8 Nueva Distribución de Tableros.**



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

**Fase 3:** Testeo del sistema comunicación y el sistema PC.

Por la experiencia adquirida en los trabajos del sector de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico, y de acuerdo a lo expresado en el punto 10.1 Antecedentes de Proyectos Similares, se realizaron pruebas en el sistema de control de temperatura de la unidad 2. La prueba que se realizó, consistió en conectar los PLC del sistema de control de temperaturas de la Unidad 2, con cables de 90 Mts de longitud, que es la distancia máxima de separación de los tableros del Sistema STA. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios por lo cual se puede asegurar que el sistema de propuesto, se puede implementar y que el sistema funcionará adecuadamente.

**Fase 4:** Determinación y cuantificación de los diferentes equipos para el nuevo sistema.

Es importante destacar que de acuerdo a la estructura de la empresa todo el Hardware y el Software que se debe utilizar para la implementación del nuevo sistema, debe ajustarse a los requerimientos del departamento de sistemas de la empresa.

De acuerdo a lo descrito el punto 10.2 Investigación de Campo, descripción de la Fase 4: Determinación y cuantificación de los diferentes equipos para el nuevo sistema, todo el equipamiento descrito en ese ítem, se considera que es el adecuado para el sistema propuesto.

## **12. Modelo Teórico Propuesto.**

De acuerdo a lo planteado en el punto 5.9 Delimitación del Proyecto, no es objetivo del presente estudio finalizar con un producto totalmente operativo y funcional para ser utilizado en periodo de prueba o en forma productiva. De toda forma se puede encuadrar y documentar de forma práctica la documentación con que se realizó el presente trabajo, para proponer un Modelo Teórico del Sistema, que se puede utilizar de base si la empresa HPDA decide contratar alguna empresa para que haga el software e implemente el sistema.

### **Requerimientos - Entrevistas**

De acuerdo a lo presentado en el punto 9.2 Métodos de Investigación, el relevamiento de requerimientos se efectuó mediante la metodología de entrevistas. A fin de recabar la información relativa al negocio y el detalle de necesidades mínimas y potenciales.

En lo referido a la selección de las personas a ser entrevistadas, la tarea no presentó mayores complicaciones, teniendo en cuenta que el responsable del proyecto trabaja en la central Piedra del Águila. De acuerdo a lo mencionado en el punto **5.2 Antecedentes**, la

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

central hidroeléctrica posee un sector Auscultación, que tiene un Jefe de Obras Civiles y Auscultación y forman parte del sector cuatro técnicos, que tienen como función: la supervisión, el control y mantenimiento de todos los instrumentos que se encuentran estratégicamente dispuestos en las estructuras que conforman la obra, en este caso la Presa y el Paleocauce, y que permiten conocer distintos parámetros/variables (temperatura, piezometría, caudales de filtración y drenaje, deformaciones, etc.) que definen el comportamiento y estabilidad de las estructuras que controla el sector. Las entrevistas se programaron de la siguiente manera:

#### Entrevista con el Gerente de Planta:

Lo primero que se trato es de lograr como sponsor al Gerente de Planta, esto garantizaría que el resto del personal subalterno entienda el proyecto como una potencial solución y preste su apoyo.

#### Entrevista con el Jefe de Auscultación:

Una vez obtenido el apoyo del Gerente de Planta, se precedió a efectuar entrevistas al Jefe de Auscultación. En ambas entrevistas se presentaron la idea general del proyecto y las ventajas y soluciones que podrá brindar su desarrollo e implementación.

De las entrevistas con el jefe del sector se obtuvo la información relacionada a las disposiciones legales, requerimientos de los organismos de control como la AIC y el ORSEP, por lo que de relevaron las necesidades que debían ser cubiertas por el sistema STA.

#### Entrevistas con los Técnicos de Auscultación:

Finalmente se efectuaron entrevistas con los Técnicos usuarios del sistema STA. De estas entrevistas surgieron las necesidades operativas que debe tener la solución, y las características específicas que ésta debía tener a fin de cumplir con la carga de datos de las mediciones manuales que realizan.

#### Entrevista con el Jefe de sistemas:

También se efectuaron entrevistas con el jefe de sistemas a fin de relevar los requerimientos técnicos de la solución y verificar la disponibilidad de software y hardware para una supuesta puesta en funcionamiento de la solución

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## **Descripción de Apostadores y Usuarios**

### **Resumen de Apostadores**

Nombre	Descripción	Responsabilidades
Jefe de Planta	<p>Es la autoridad máxima dentro de la parte técnica de la central.</p> <p>Es la persona encargada de la dirección, coordinación y de tomar las decisiones finales en la operatividad de la central.</p> <p>Es ingeniero electrónico, tiene más de 20 años de antigüedad en la central, anteriormente desempeñó varios puestos en distintas áreas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobar los programas de mantenimiento preventivo de la central.-</li> <li>• Aprobar la realización de proyectos de mejoras y/o actualización.</li> <li>• Controlar el progreso de los proyectos aprobados.-</li> <li>• Aprobar las erogaciones de dinero para los proyectos aprobados.</li> <li>• Coordinar y confeccionar el presupuesto anual para la central.-</li> </ul>

#### **Criterio de éxito:**

- Gestión conjunta entre todos los sectores de la central para el cumplimiento de los objetivos y metas establecidos para la central.
- Simplificación de tareas de recolección de datos para la conformación de informes, estadísticas y toma de decisiones.
- Reducción de errores y de tiempo de procesamiento en los datos de funcionamiento de instrumentos.

#### **Involucramiento:**

El apostador sigue paso a paso la evolución del proyecto.

Autorizará la realización del trabajo permitiendo la recopilación de información.

También aporta los lineamientos básicos para el desarrollo en todas sus etapas, especialmente en la captura de requisitos.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Nombre	Descripción	Responsabilidades
Jefe de Auscultación	Es la persona responsable del sector Obras Civiles y Auscultación. También es responsable de toda la información ante los organismos de control como el ORSEP y la AIC.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsable en el sistema de telemedición de definir los requerimientos operativos y de calidad.</li> <li>• Informar a la parte directiva el presupuesto para funcionamiento del sector.</li> <li>• Informar a los jefes de sector de cambios en parámetros de funcionamiento del las estructuras de la central.</li> </ul>

#### **Criterio de éxito**

- Simplificación de tareas de recolección de datos para la conformación de informes, estadísticas y toma de decisiones.
- Reducción de errores y de tiempo de procesamiento en los datos de funcionamiento de instrumentos.
- Automatización de procesos tales como: reportes, tendencias etc.

#### **Involucramiento:**

El Jefe de Obras Civiles y Auscultación sigue paso a paso la evolución del proyecto.

Autorizará la realización del trabajo permitiendo la recopilación de información.

Se recopilan sus necesidades y requerimientos en los pasos de captura de requisitos y análisis para contemplarlas en el nuevo sistema.

Es el que da la aprobación final de los formatos de reportes y gráficos del nuevo sistema.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Nombre	Descripción	Responsabilidades
Departamento de Sistemas	Es el sector responsable de la seguridad de la información de la central. Siguen los lineamientos de la gerencia general, desempeñan sus tareas en las oficinas de Bs.As.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsables que el sistema informático actual cumpla con las especificaciones de seguridad.</li> <li>• Autorizar la compra de hardware.</li> <li>• Controlar que los usuarios cumplan con los requisitos de licencias de software necesario para el funcionamiento de la central.-</li> <li>• Establecer los requerimientos de seguridad necesarios que deben cumplir cualquier sistema informático nuevo.</li> </ul>

#### **Criterio de éxito**

- Que el sistema cumpla con todos los requisitos de seguridad y restricciones impuestos por este sector

#### **Involucramiento**

Se recopilan las necesidades, requerimientos y restricciones en los pasos de captura de requisitos y análisis para contemplarlas en el nuevo sistema.

#### **Resumen de Usuarios**

Nombre	Descripción	Responsabilidades
Técnico de Auscultación	Es la persona que realiza las mediciones de auscultación de instrumentos manuales dentro de la central y el paleocauce. Realiza las recorridas diarias a distintos instrumentos de acuerdo a una frecuencia definida para cada tipo de instrumento.	Ingresa datos Obtiene reportes. Verifica los datos de los parámetros de funcionamiento de las estructuras de la central.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Nombre	Descripción	Responsabilidades
Jefe de Obras Civiles y Auscultación.	Es la persona responsable del sector Obras Civiles y Auscultación. También es responsable de toda la información ante los organismos de control como el ORSEP y la AIC.	Aprobar los programas de mantenimiento preventivo de instrumentos de auscultación. Aprobar la realización de proyectos de mejoras y/o actualización, en el sector. Verifica y valida los datos de los parámetros de funcionamiento de las estructuras de la central.

### Actores

Del relevamiento surgieron los siguientes actores:

#### **Jefe de Auscultación:** Tipo Concreto

Es el jefe del área de Obras Civiles y Auscultación, tiene la responsabilidad de supervisar los reportes lecturas que se emite y analizar los datos del STA, También es responsable de toda la información ante los organismos de control como el ORSEP y la AIC.

#### **Técnico de Auscultación:** Tipo Concreto

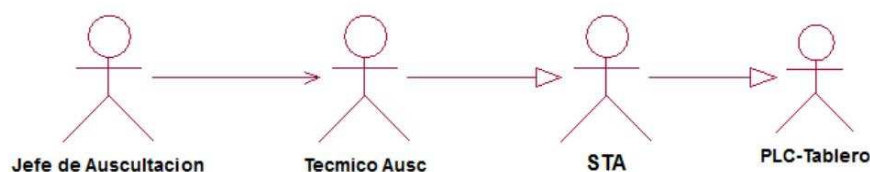
Tiene a su cargo la carga lectura de las mediciones de instrumentos manuales y verificar los datos de los parámetros de funcionamiento del sistema Automático.

#### **STA:** Tipo Concreto

Tiene a su cargo gestión, de las lecturas de los instrumentos automáticos, y la gestión almacenamiento de esas lecturas.

#### **PLC-Tablero:** Tipo Concreto

Tiene a su cargo la lectura de los instrumentos conectados al mismo. También gestiona al envío de esas lecturas a la base de datos del sistema. Además realiza la gestión de la lectura Local de los instrumentos.



**Figura N° 71 Actores del sistema STA.**

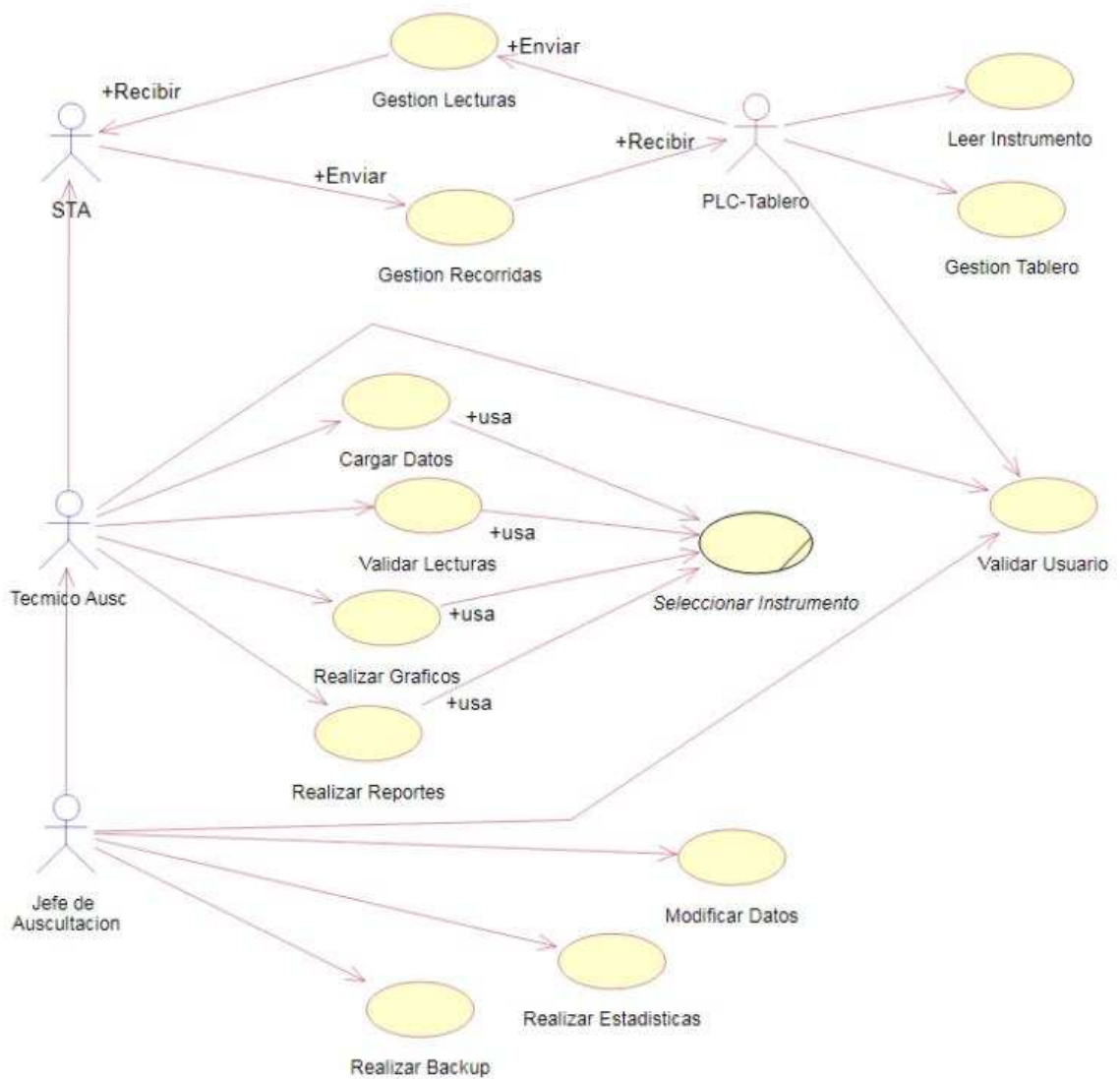
<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Modelo de casos de uso de negocio

En los diagramas que se incluyen a continuación se representa el modelo de casos de uso de negocio relevados en las entrevistas, y los que surgieron durante la investigación de campo realizada, en los mismos se grafican la relación de los casos de uso, con los actores.

Para una mayor claridad en la presentación, se dividieron los casos de uso de negocio según las necesidades de gestión y de servicios del sistema STA y la gestión del PLC de tablero.

### Casos de uso de de negocio del sistema STA

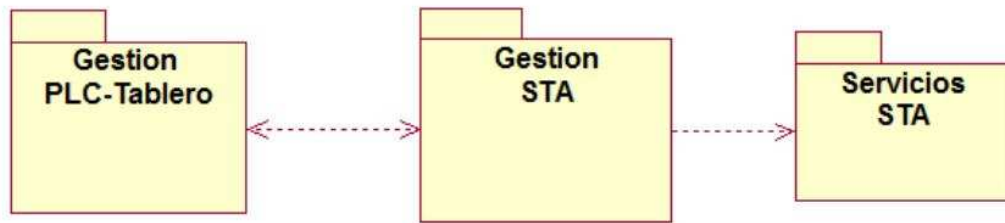


**Figura N° 72 Casos de uso de de negocio del sistema STA**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Modelo de casos de uso de sistema: Subsistemas

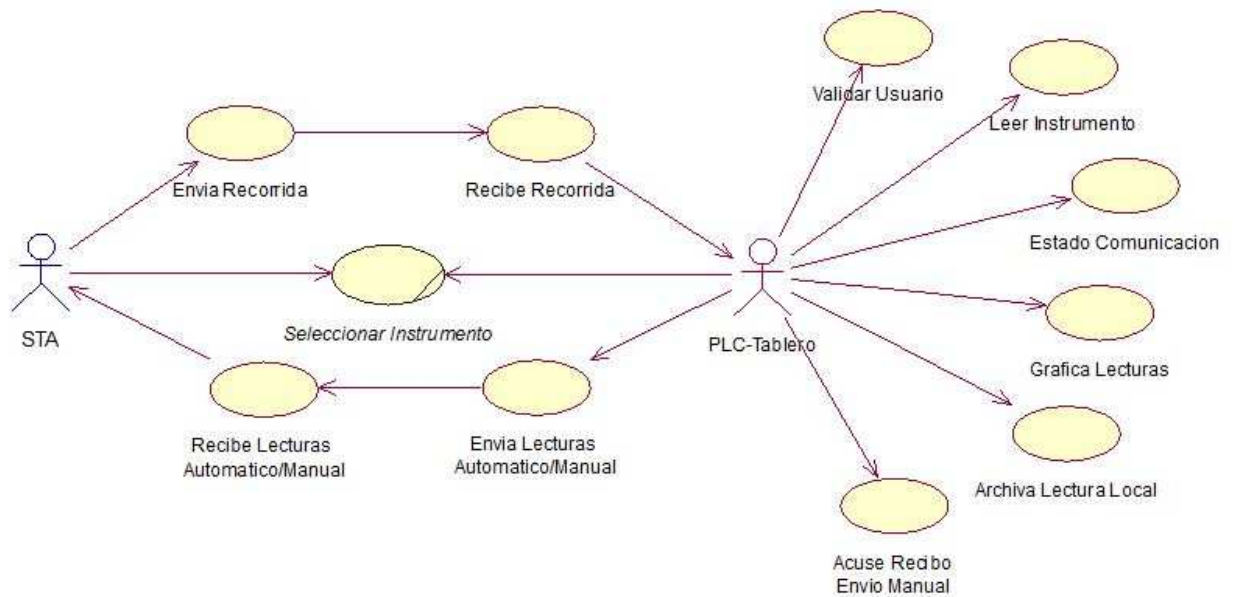
El modelo de sistema se plantea en base a tres subsistemas principales.



**Figura N° 73 Diagrama de Subsistemas**

### Subsistema de gestión del STA y del PLC-Tablero

Es importante destacar que en el modelo de casos de uso de sistema el subsistema de Gestión del STA y Gestión del PLC-Tablero, se incluyeron solo la realización de los casos de uso necesarios para la verificación del correcto funcionamiento e integración del prototipo que brinda una solución al problema planteado.

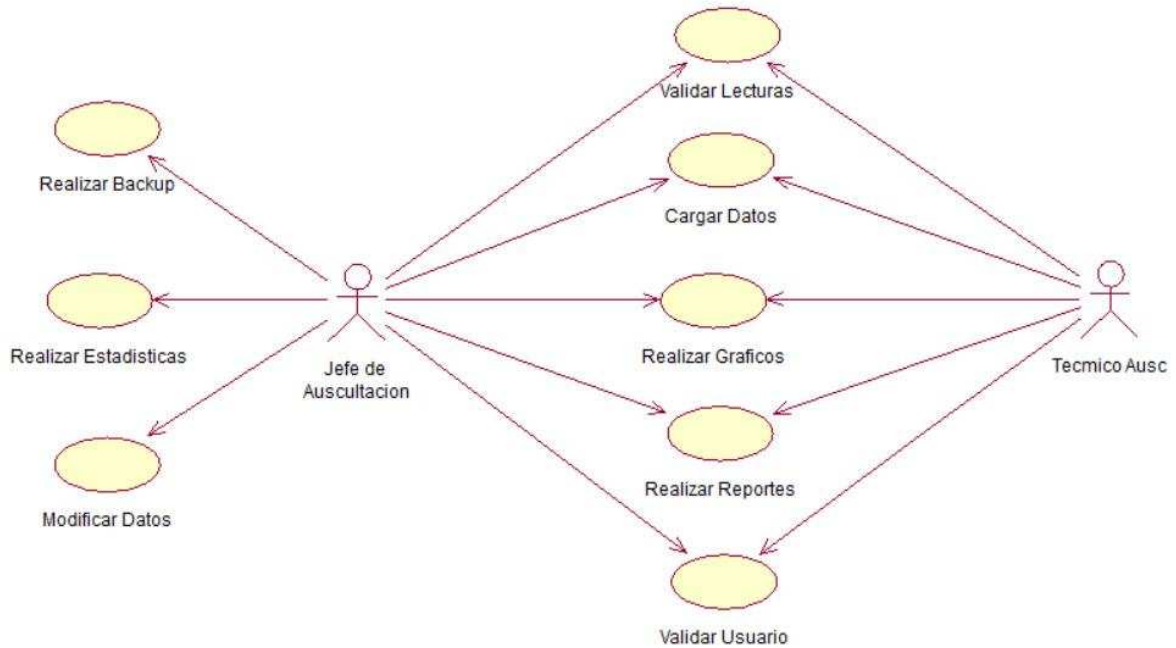


**Figura N° 74 Casos de uso de sistema - Subsistema de Gestión STA y del PLC-Tablero.**



<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Subsistema de Servicios



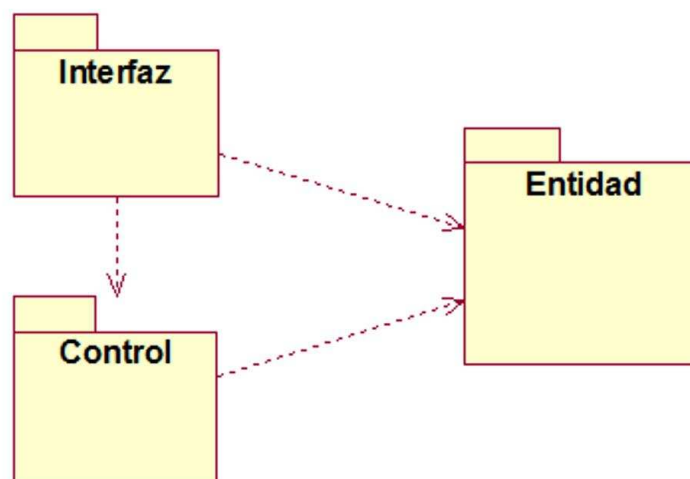
**Figura N° 75 Casos de uso de sistema - Subsistema de Servicios del STA**

### Modelo de Análisis

Modelo de análisis subsistema de Servicios del STA

Este subsistema resuelve los casos de uso relacionados con la gestión de la información necesaria para verificar el correcto funcionamiento de la solución.

### Diagrama de paquetes



**Figura N° 76 Modelo de Análisis Subsistema Servicios del STA - Diagrama de paquetes**

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## Paquete Entidad

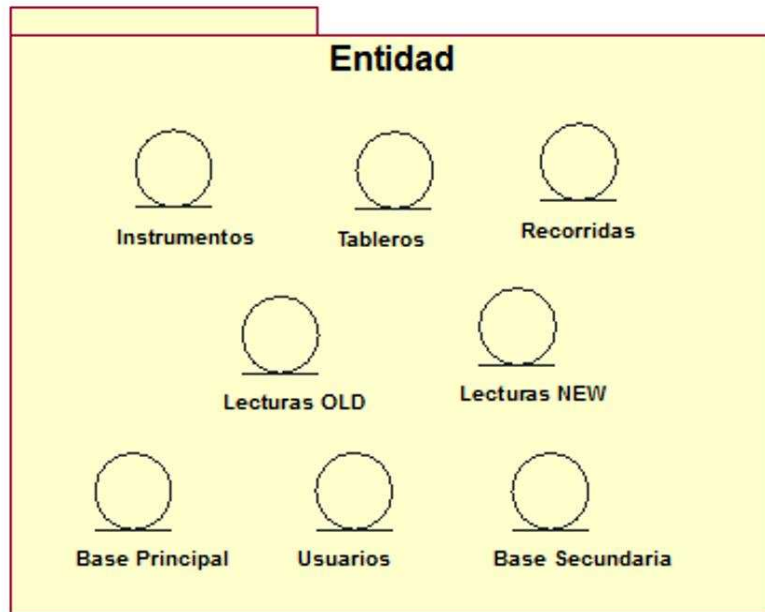


Figura N° 77 Modelo de Análisis Subsistema Gestión - Paquete Entidad

## Paquete Control

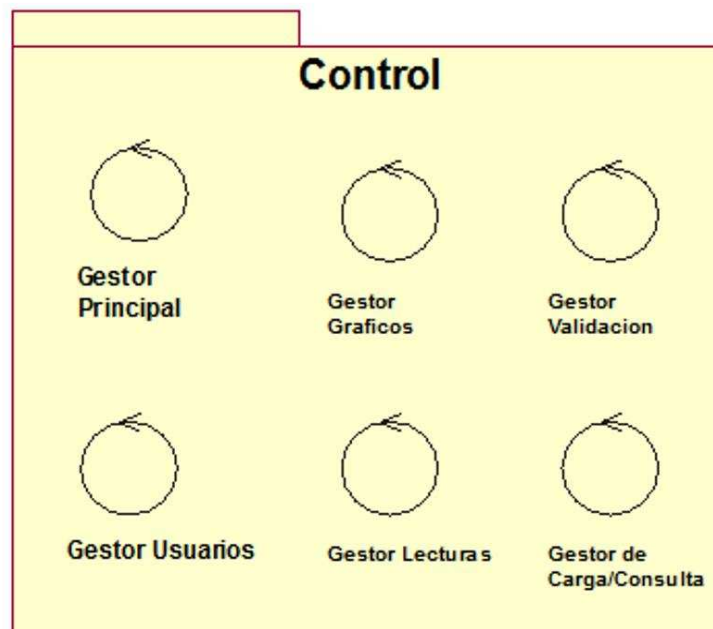
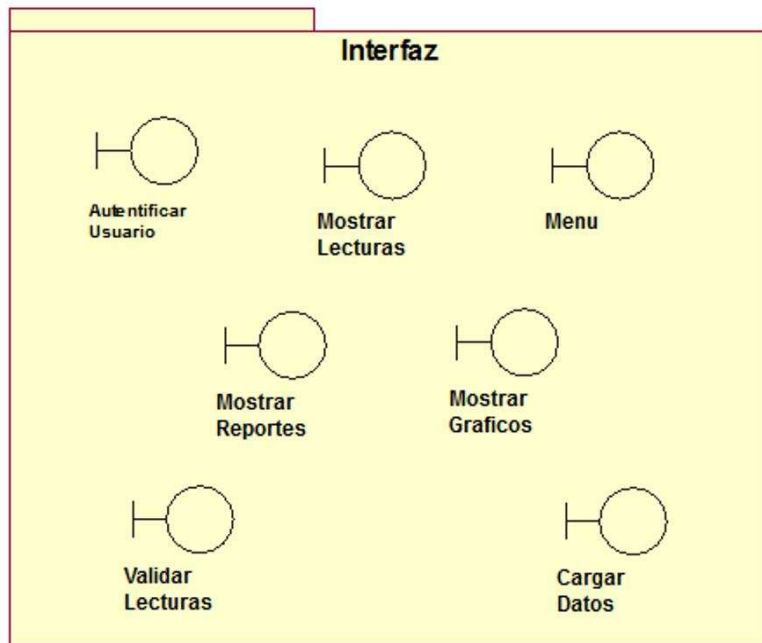


Figura N° 78 Modelo de Análisis Subsistema Gestión - Paquete Control

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## Paquete Interfaz

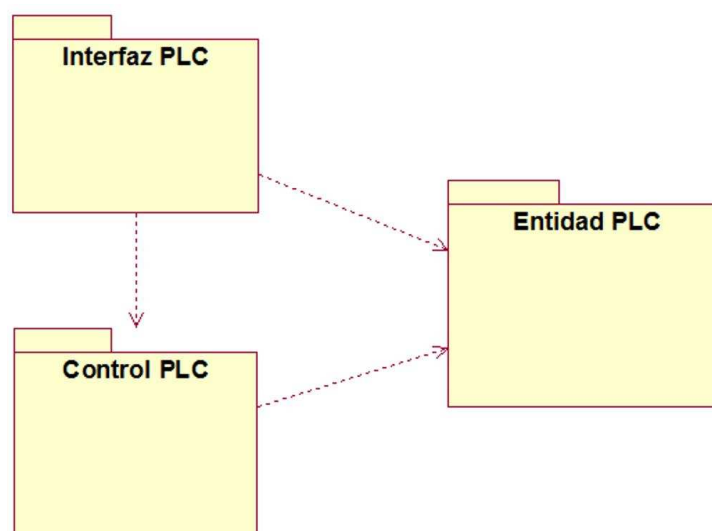


**Figura N° 79 Modelo de Análisis Subsistema Gestión - Paquete Interfaz**

Modelo de análisis Subsistema de Gestión del PLC-Tablero

Este subsistema resuelve los casos de uso relacionados con lectura de los instrumentos, la transferencia de las recorridas y las lecturas de los instrumentos al sistema STA, la selección de los mismos, y una interface para permitir la lectura local de los instrumentos conectados al correspondiente tablero.

## Diagrama de paquetes

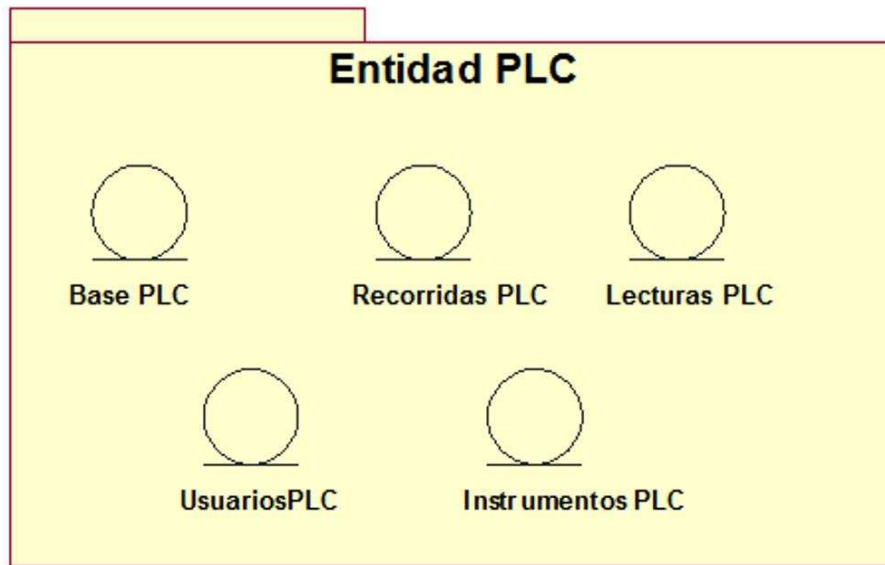


**Figura N° 80 Modelo de Análisis Subsistema PLC-Tablero - Diagrama de paquetes**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

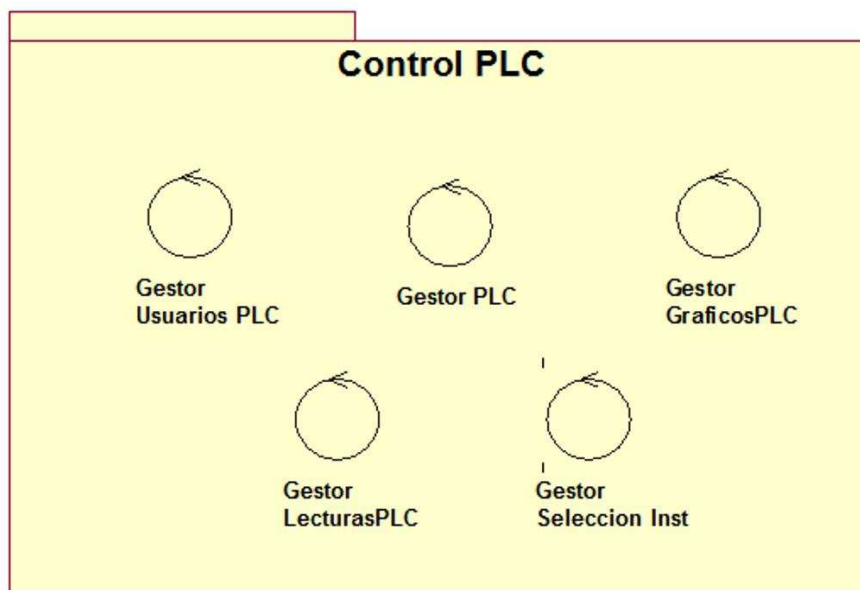
De acuerdo a lo planteado en el punto - 11. Análisis e interpretación de datos 7-Hipótesis de trabajo y su operacionalización, en la Fase 2: El diseño de la arquitectura del sistema, el diseño propuesto para la solución del problema planteado posee 23 Tableros para controlar los instrumentos automáticos del STA. En cada uno de ellos se debe colocar un PLC los cuales deben tener instalados el Subsistema de Gestión del PLC-Tablero.

**Paquete Entidad PLC**



**Figura N° 81 Modelo de Análisis Subsistema PLC-Tablero - Paquete Entidad PLC**

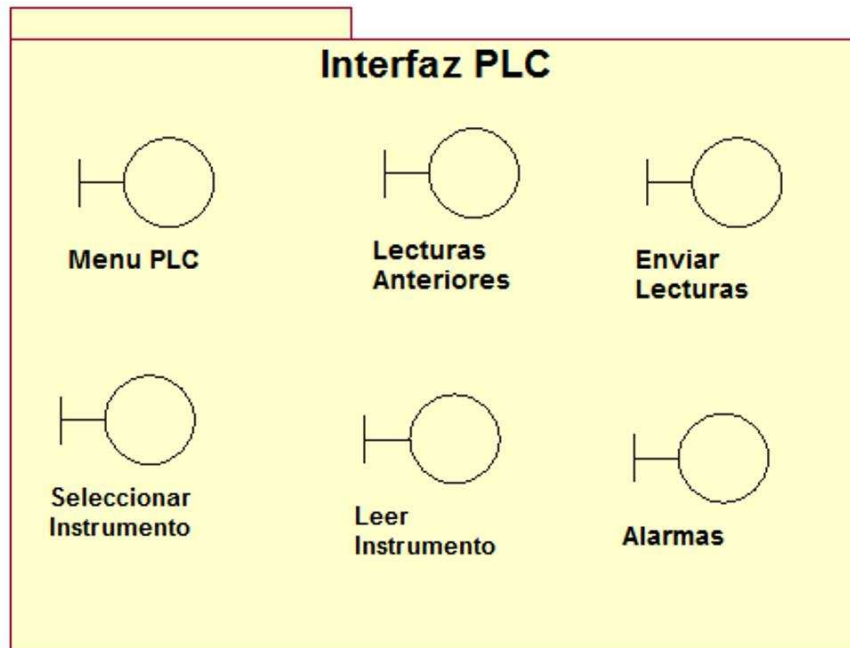
**Paquete Control PLC**



**Figura N° 82 Modelo de Análisis Subsistema PLC-Tablero - Paquete Control PLC**

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Paquete Interfaz

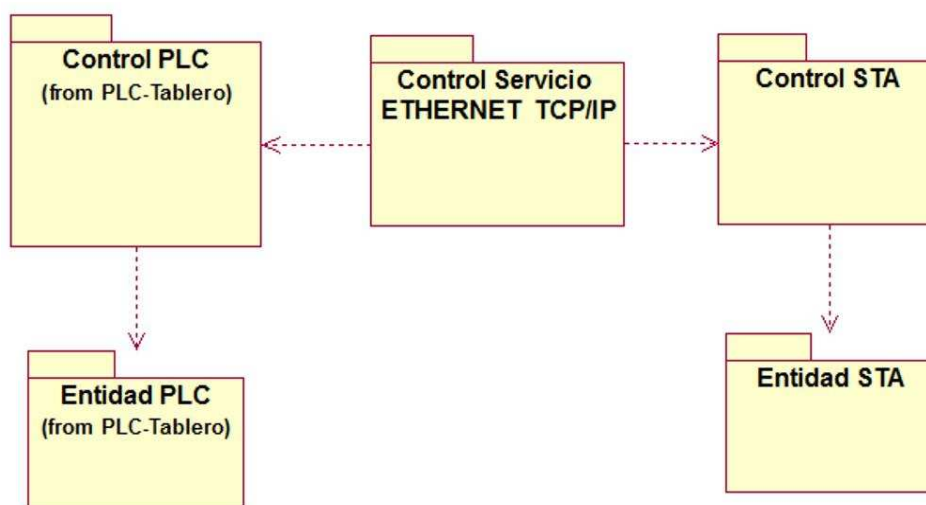


**Figura N° 83 Modelo de Análisis Subsistema PLC-Tablero - Paquete Control**

### Modelo de análisis Subsistema Gestión STA

Este subsistema resuelve los casos de uso relacionados con los estados de la comunicación y transferencia de información entre el sistema de Servicios y el PLC-Tablero, la transferencia de las rutas y las lecturas entre el PLC-Tablero y el Sistema de Control del STA.

### Diagrama de paquetes



**Figura N° 84 Modelo de Análisis Subsistema Gestión STA - Diagrama de paquetes**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

**Paquete Control Servicio ETHERNET TCP/IP**

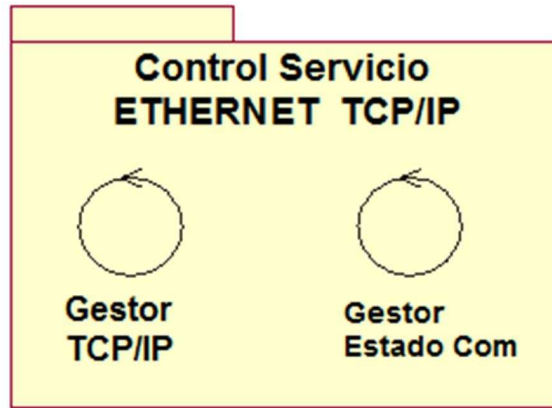


Figura N° 85 Modelo de Análisis Subsistema Gestión STA - Paquete Control Servicio

**Paquete Control STA – Entidad STA**

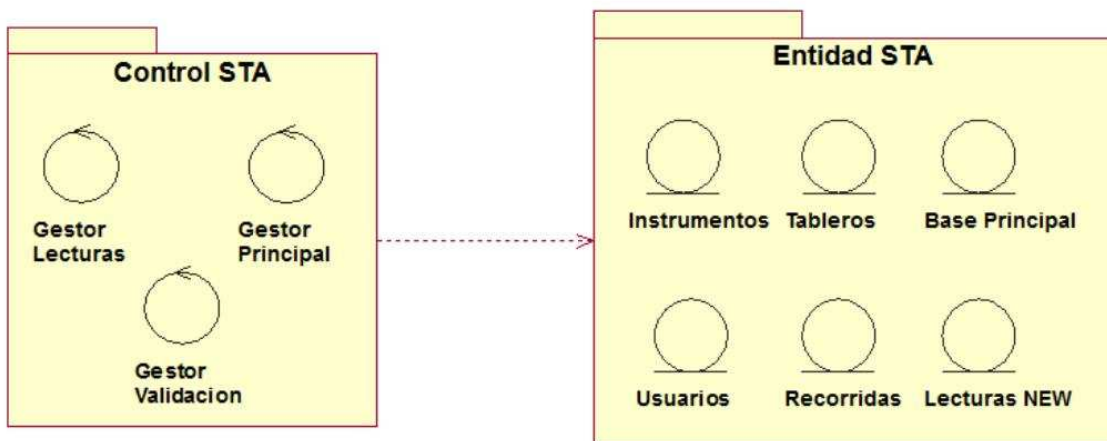


Figura N° 86 Modelo de Análisis Sub. Gestión STA - Paquete Control – Entidad STA

**Paquete Control PLC – Entidad PLC**

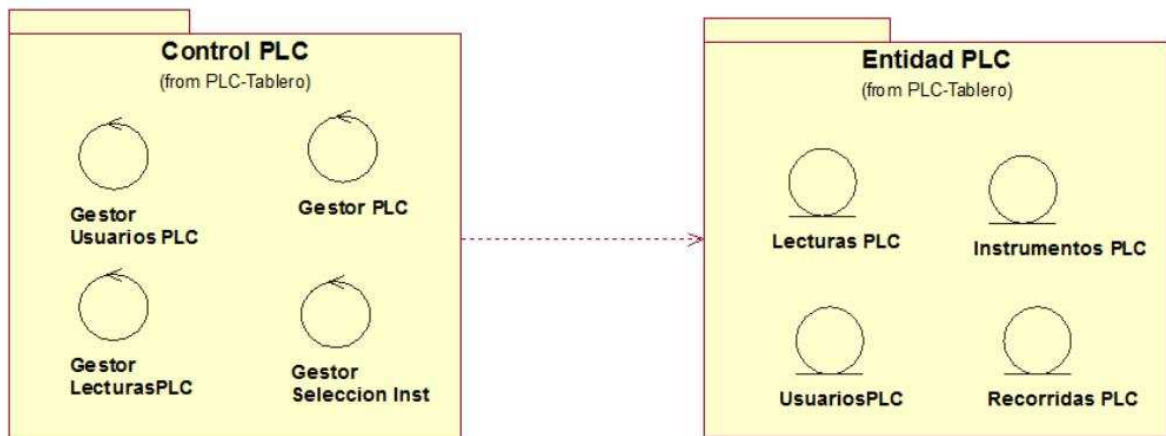


Figura N° 87 Modelo de Análisis Sub. Gestión STA - Paquete Control – Entidad PLC

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## **Requerimientos específicos para la realización de casos de uso**

El Sistema STA permite realizar lecturas remotas en forma automática de ciertos instrumentos, y almacenar las mediciones en una base de datos después de un proceso de validación de las lecturas, este proceso consiste en comparar la medición con valores umbrales (inferiores y superiores) que el propio programa calcula por un tratamiento estadístico. Las lecturas fuera de los rangos delimitados generan alarmas impresas.

Los sensores de campo de cada instrumento, están vinculados a tableros analizadores ubicados en lugares estratégicos, cuando el sistema realiza una lectura, el PLC instalado en cada tablero selecciona el sensor solicitado por el sistema, efectúan la medición y envían la información al servidor del STA. El sistema debe realizar **Lecturas Generales** (cada 24 horas) de los instrumentos **clase B** y **Lecturas Frecuentes** (cada 2 horas) de los instrumentos **clase A**.

### **Instrumentos detectores o clase A**

Los instrumentos detectores son los que por sí solos permiten detectar rápidamente cualquier anomalía de gravedad que se produzca en una estructura. En este grupo se incluyen básicamente algunos piezómetros, los péndulos y algunos aforadores de Presa y Paleocauce. Ya sean teledados o de lectura local, todos estos instrumentos tendrán asociados umbrales de alarmas.

### **Instrumentos de apoyo o clase B**

Los instrumentos de apoyo son los por sus características y ubicación, permiten estudiar evoluciones a largo plazo del estado y comportamiento de las estructuras, y pueden servir de apoyo a los definidos como detectores. En condiciones normales estos instrumentos son objeto de un análisis menos frecuente, en caso de detectarse un comportamiento anormal sirven para realizar un análisis más profundo de la situación.

En este grupo se incluyen cierta cantidad de piezómetros, extensómetros, drenes, mediciones de distancia, nivelaciones etc.

### **Validación de Lecturas**

Para un óptimo funcionamiento del STA, es fundamental un adecuado ajuste estadístico de las lecturas de los instrumentos. Cuanto mejor sea la aproximación entre el Valor Medido (VM) y el Valor Esperado (VE), mayor será la confiabilidad del proceso de validación de las lecturas, su posterior tratamiento y finalmente el proceso de comparación con umbrales para la generación de alarmas.

La formula general (Ecuación N° 8), provista por la dirección de obra de la empresa que

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

construyó la presa, para el cálculo de un VE utiliza 15 constantes definidas de manera independiente para cada instrumento. Es un modelo empírico, en el cual la función de ajuste establece la relación entre las causas (cargas a las que está sometida la estructura) y los efectos variables medidos (piezometría, filtraciones, etc.).

Genéricamente la expresión es:

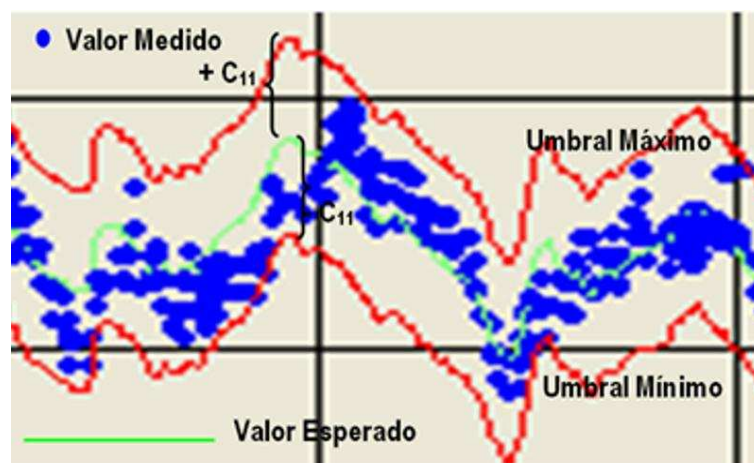
$$VE = \sum_{i=0}^{10} (Ci * Fi) \quad \text{Ec-8}$$

El modelo utilizado realiza una correlación lineal múltiple entre los términos de la ecuación de ajuste (a través de cuadrados mínimos) y los valores históricos de cada instrumento. Para cada instrumento detector o de clase A, se actualizaron los coeficientes de ajuste estadísticos en forma individual, estos valores se encuentran en una tabla de la base de datos del sistema.

El STA utilizando los coeficientes calculados por el programa AUSPIE, calcula el VE, sumando y restando el valor de una constante denominada C11 se obtienen los umbrales estadísticos que delimitan la zona de funcionamiento normal (Umbral Máximo y Umbral Mínimo variables). En la Figura N°XX se aprecia lo enunciado y permite esclarecer el rol del coeficiente C11 para definir los Umbrales, a continuación su expresión algebraica:

$$\text{Umbral Máximo} = VE + C11$$

$$\text{Umbral Mínimo} = VE - C11$$



**Figura N° 88 Umbrales Máximos y Mínimos**

El Desvío estándar indica la magnitud de los apartamientos esperados del valor calculado, respecto del valor real a producirse en la variable considerada. Este valor sirve como referencia para la definición del rango correspondiente a la Alarma (valor de C11).



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Filtro de lecturas erróneas**

Cuando se realiza la lectura de cualquier instrumento, puede surgir algún problema en la adquisición del dato o en el transporte de la señal desde el lugar de origen hasta el tablero analizador correspondiente, en algunos casos se inducen ruidos producto de perturbaciones electromagnéticas, que hacen que los valores medidos se aparten significativamente de los valores reales generando datos erróneos

Cuando una lectura de un instrumento se encuentra fuera del rango de los umbrales mínimo y máximo, se registra en una lista temporaria de instrumentos fuera de límite a los efectos de chequear sus lecturas en dos oportunidades mas, y se registra en un archivo de reporte de lecturas erróneas.

El filtro de lecturas erróneas desarrollado e incorporado al STA presenta las siguientes características:

- Si alguna de las dos lecturas subsiguientes realizadas desde la lista de instrumentos con posible alarma, es correcta (dentro de los umbrales), el sistema la adquiere como válida, almacena el valor en la base de datos y continúa el proceso con otro instrumento.
- Si el valor de las dos lecturas extras se encuentran fuera de los límites, entonces el programa primero comparara la distancia relativa entre las tres lecturas, si la distancia es menor a un determinado valor (en este caso se utiliza el coeficiente C11) entonces se promedian las tres mediciones, este valor es el adoptado por el sistema como válido y genera la alarma correspondiente al instrumento.
- Si el punto anterior no se cumple, entonces el programa compara de a pares con el mismo parámetro, el par que cumpla con el requisito se promedia y este valor es el adoptado por el sistema como válido.
- Si ninguno de los tres pares comparados cumple, entonces el sistema toma la lectura que está ubicada a menor distancia de los umbrales. Este valor es adoptado por el sistema pero con la salvedad que informa un posible error en la lectura.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## **Modelo Teórico de Diseño - Arquitectura**

La arquitectura seleccionada para la implementación de la solución responde al modelo de tres capas:

1. Capa de presentación
2. Capa de aplicaciones y reglas de negocio
3. Capa de base de datos.

### **Capa de presentación**

Es la capa que interactúa y ve el usuario (también se la denomina "capa de usuario"), presenta el sistema al usuario, le comunica la información y captura la información y requerimientos de éste. Por lo general es una interfaz gráfica, y debe tener la característica de ser "amigable" (entendible y fácil de usar) para el usuario. Esta capa se comunica únicamente con la capa de aplicaciones de negocio. La capa de interfaz de usuario debe limitarse a brindarle al usuario los elementos esenciales para que éste ingrese datos y reciba resultados o mensajes. La capa de interfaz de usuario debe contener los componentes necesarios para poder construir todas las interfaces con la que usuario interactúa con el sistema, tales como controles, formularios, reportes, etc.

En la implementación, se toman los resultados del Diseño para implementar el sistema en términos de componentes, expresados en archivos fuentes, ejecutables, código binario y similares dándole comportamiento concreto al modelo. Cada clase del diseño es implementada codificando en un lenguaje de programación o utilizando un componente preexistente. La manera en que una clase del diseño será concretamente implementada depende del lenguaje utilizado. Para implementar este proyecto se utilizara la plataforma de desarrollo Visual Studio 2005, utilizando el lenguaje de programación Visual Basic.NET.

En Visual Basic, una clase de diseño corresponde a un componente de un tipo específico. Por ejemplo un módulo de clase, una pantalla o un control de ésta. La implementación, es el proceso protagonista durante las iteraciones de la fase de construcción, también se desarrolla trabajo de implementación durante las fases de elaboración y transición, y generalmente en estos casos las actividades de implementación dan soporte a los flujos de análisis y diseño mediante prototipos, y la corrección de errores. En la Figura 89 - Arquitectura de tres capas los componentes de la capa de presentación se encuentran en la consola del Jefe de Auscultación, en la consola del técnico de auscultación y en la impresora de alarmas y gráficos.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Capa de aplicaciones y reglas de negocio**

Es donde residen los programas y servicios que reciben las peticiones del usuario y envía las respuestas tras el proceso. Se denomina capa de negocio e incluye la lógica del negocio, porque es aquí donde se establecen todas las reglas que deben cumplirse. Esta capa se comunica con la capa de presentación, para recibir las solicitudes y presentar los resultados, y con la capa de datos, para solicitar al gestor de base de datos almacenar o recuperar datos de él.

En el presente proyecto la capa de aplicaciones de negocio esta soportada por el subsistema de Control STA. Esta capa contiene los gestores descritos en el Modelo de Análisis Subsistema Gestión - Paquete Control STA. En la Figura 89 - Arquitectura de tres capas los componentes se encuentran en el servidor de aplicaciones.

### **Capa de datos**

Es donde residen los datos, y es la encargada de acceder a los mismos. Está formado el gestor de bases de datos que realizan todo el almacenamiento de la información persistente, recibe solicitudes de almacenamiento o recuperación de información desde la capa de negocio.

En el presente proyecto la capa de datos de gestión la brinda el servidor de bases de datos y es accedida por los servicios del Paquete Control Servicio ETHERNET TCP/IP y del Paquete Control STA.

La plataforma .NET es un componente de los sistemas operativos Windows, que permite el desarrollo, la liberación y la ejecución de aplicaciones. La plataforma posee un conjunto de herramientas de desarrollo y lenguajes de programación (de propósito general, orientados a objetos, de tercera generación, de alto nivel y compilación a código intermedio), que permiten utilizar todos los recursos disponibles en la computadora a través de una librería de clases común, con lo que se pueden desarrollar aplicaciones de Consola, basadas en Windows, y para la Web, que utilizan protocolos abiertos para la interacción entre los elementos que las componen.

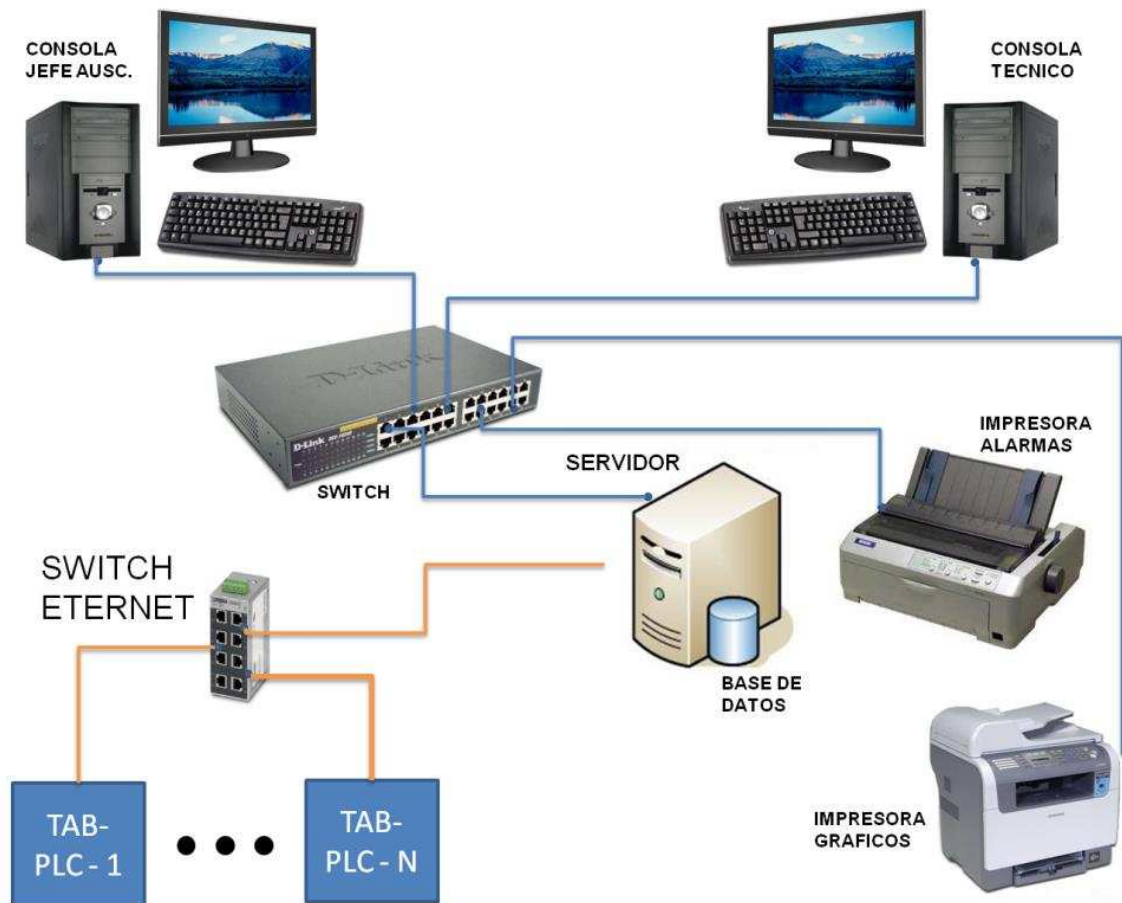
### **Trazabilidad entre modelos de análisis y diseño**

En los casos en que la trazabilidad entre el modelo de análisis y el modelo de diseño no sea intuitiva a través del nombre de las clases, en el modelo de diseño de cada subsistema se detalla la matriz de trazabilidad de las clases que se cambiaron de nombre entre el modelo de análisis y el de diseño. Los que no se indican expresamente se debe principalmente a que trazabilidad es fácilmente verificable a través del mismo nombre de la clase.

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

La descripción de la arquitectura permite al arquitecto controlar el desarrollo del sistema desde la perspectiva técnica. La arquitectura software se centra tanto en los elementos estructurales significativos del sistema, como subsistemas, clases, componentes y nodos, como así también, en las colaboraciones que tienen lugar entre los elementos a través de las interfaces. La arquitectura del sistema propuesto debe ser completa, pero también debe ser suficientemente flexible como para incorporar nuevas funciones, y debe soportar la reutilización del software existente.

Para el caso particular del sistema propuesto, el modelo se va a centrar en una arquitectura basada en los casos de uso más importantes y un conjunto de otras entradas para implementar la línea base de la arquitectura, o “esqueleto” del sistema.

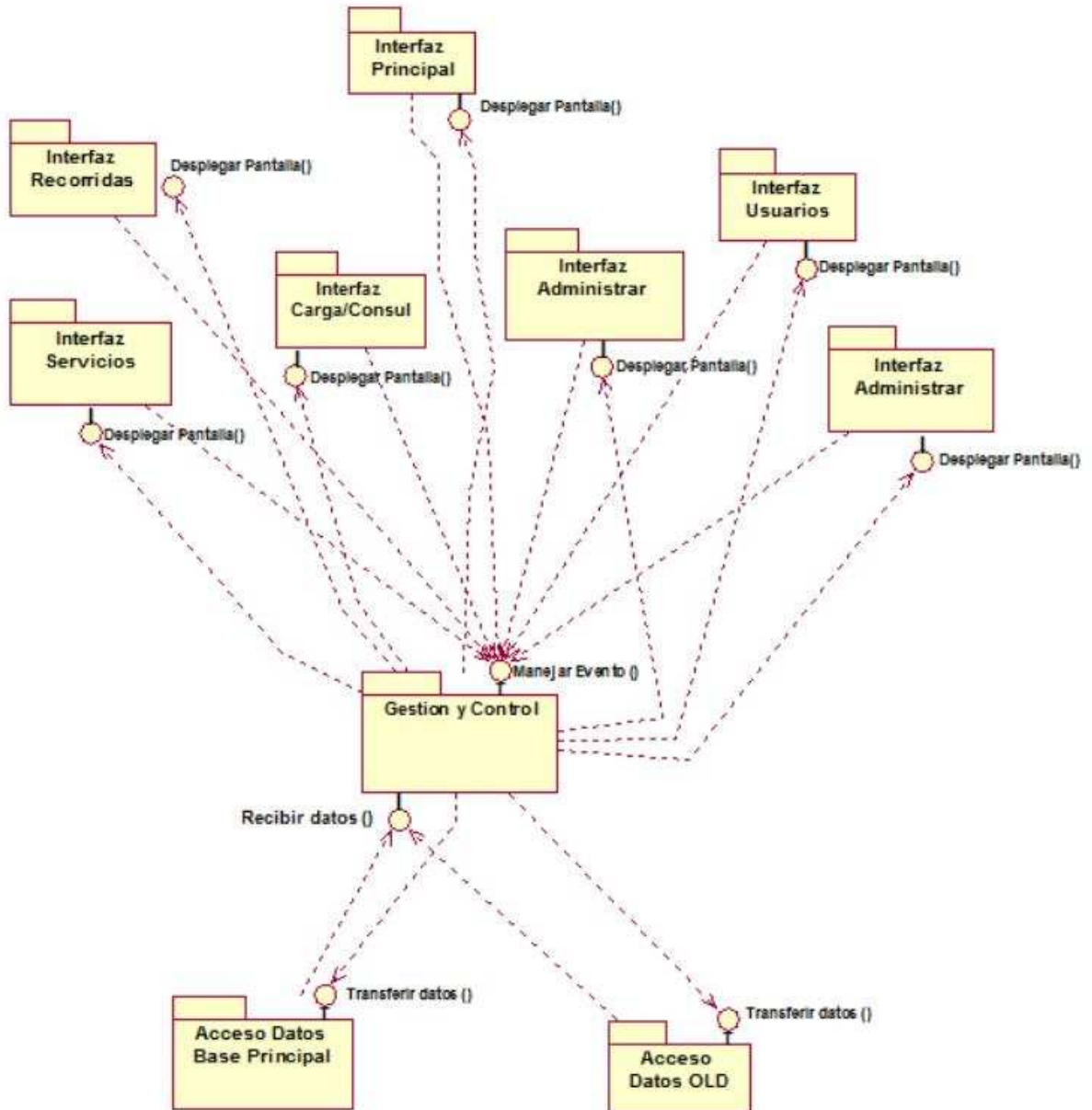


**Figura N° 89 Arquitectura física de la implementación.**

<b>Ciente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### Diagrama de Subsistemas e Interfaces

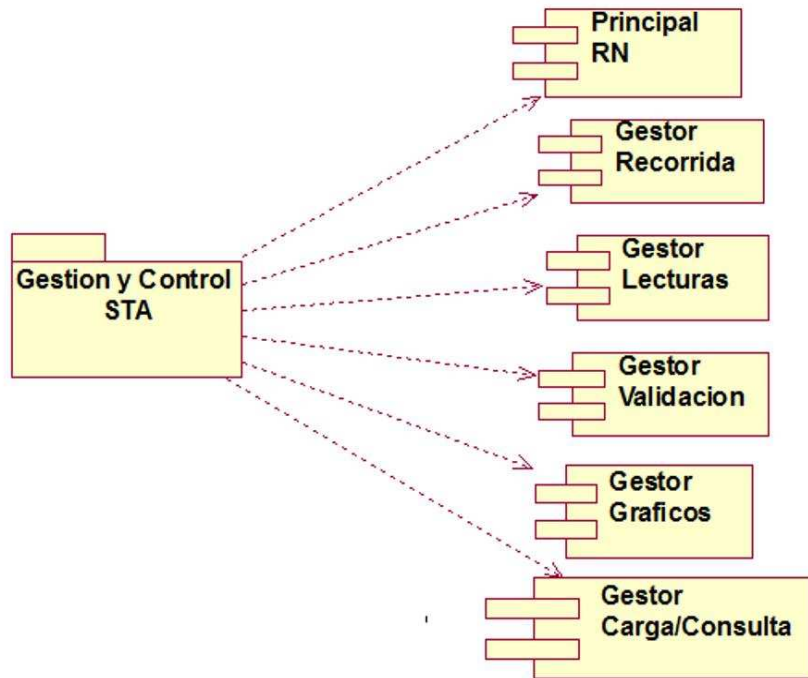
El siguiente es un diagrama se puede observar la distribución de los subsistemas de la aplicación principal, del Nuevo Sistema STA incluyendo las interfaces que proporcionan y los vínculos arquitectónicamente significativos con los demás subsistemas:



**Figura N° 90 Diagrama de Subsistemas e Interfaces del Nuevo Sistema STA.**

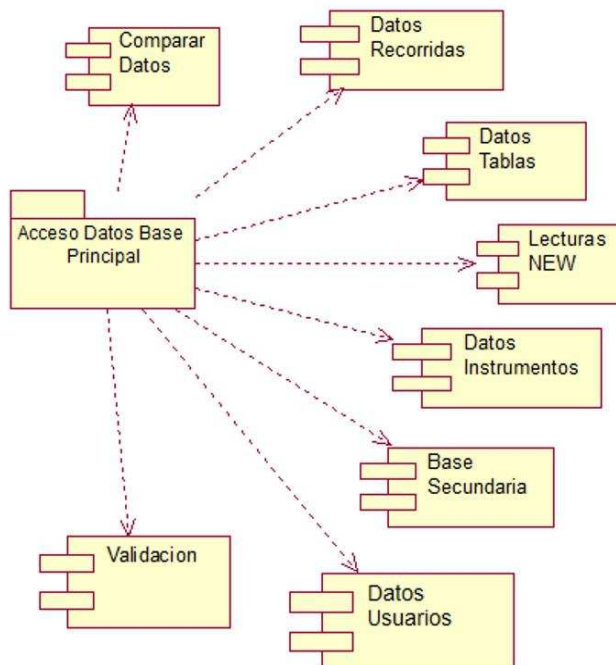
<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El Diagrama de componentes del paquete de diseño gestión y control es el siguiente



**Figura N° 91 Diagrama de componentes gestión y control del sistema STA.**

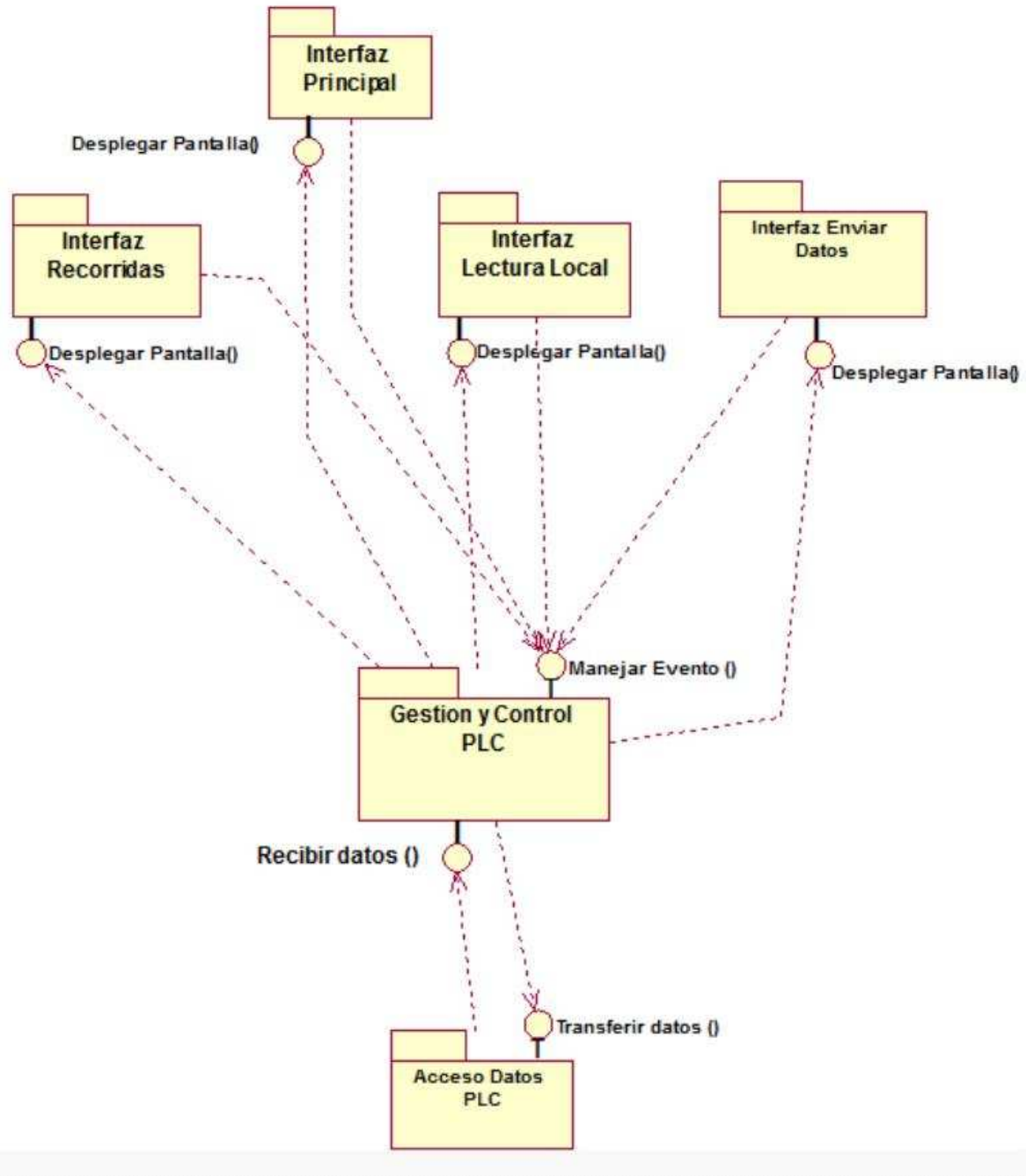
El Diagrama de componentes del paquete de diseño Acceso Datos Base Principal es el siguiente.



**Figura N° 92 Diagrama de componentes Acceso Datos Base Principal del sistema STA.**

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

El siguiente es un diagrama se puede observar la distribución de los subsistemas de la aplicación del PLC-Tablero, del Nuevo Sistema STA incluyendo las interfaces que proporcionan y los vínculos arquitectónicamente significativos con los demás subsistemas:



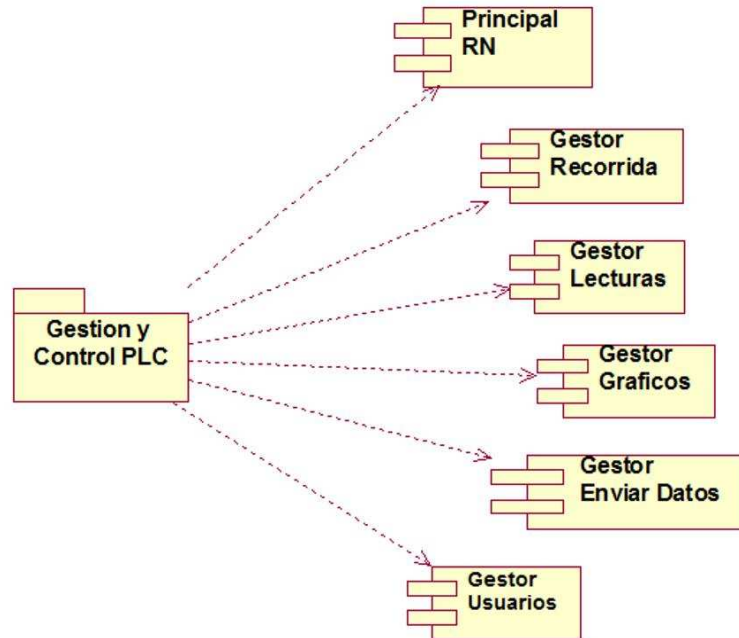
**Figura N° 93 Diagrama de Subsistemas e Interfaces del PLC-Tablero.**

De acuerdo a lo indicado en la Figura N° 53 Conexión de Instrumentos SCV con el PLC – C1, que es la configuración N° 1, opción más viable de implementar la misma cuenta con: Un PLC para control, medición de instrumentos, almacenamiento de datos, y transmisión de datos en red. Un panel táctil HMI para control y presentación de datos. Por lo cual la

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

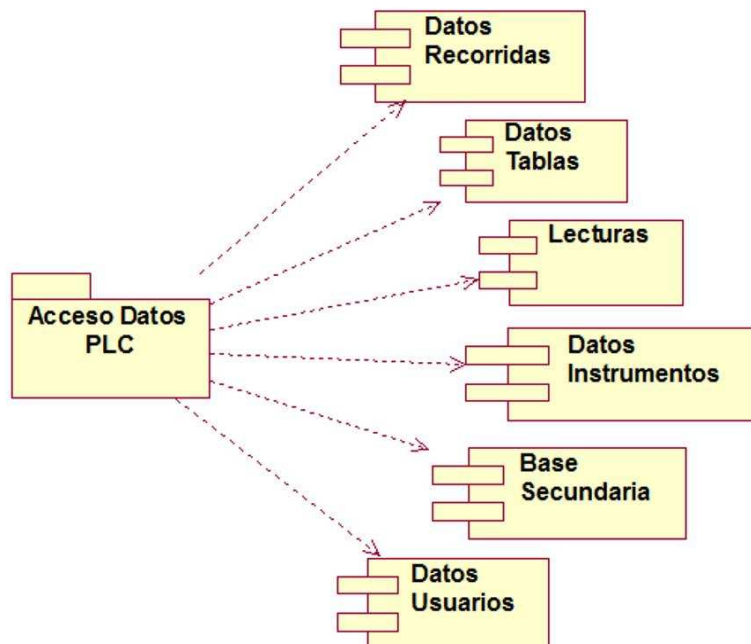
distribución de los paquetes de interfaz se realiza en la memoria del panel táctil HMI, y los componentes de Gestión y control del PLC y Acceso de datos del PLC deben estar en la memoria del PLC

El Diagrama de componentes del paquete de diseño Gestión y Control PLC es el siguiente



**Figura N° 94 Diagrama de componentes gestión y control PLC.**

El Diagrama de componentes del paquete de diseño Acceso Datos Base Principal es el siguiente.



**Figura N° 95 Diagrama de componentes Acceso Datos Base PLC.**



<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **Tamaño y Rendimiento - Características**

Algunas de las características más importantes del tamaño que puede llegar alcanzar la aplicación son las siguientes:

- Número de Registros de Lecturas diarios: de acuerdo a los valores de la Tabla 8 - Nueva Distribución de Tableros, el nuevo sistema propuesto cuenta con 575 instrumentos para registrar las lecturas diariamente.

De acuerdo a lo descrito en el punto Requerimientos específicos para la realización de casos de uso, la cantidad de instrumentos clase A son 75 por lo cual al realizar lecturas cada 2 horas se obtienen 12 registros diarios, lo que da un total de 900 lecturas.

El total de registros diarios es de 1475 lecturas.

- Espacio de memoria disponible: el espacio necesario para almacenar la base de datos en un año es de 32 Mb. Para poder correr el software del gestor de base de datos Microsoft Access para las tareas de mantenimiento de la base, es necesario contar con una memoria libre como mínimo del doble de la capacidad de la base que se quiere compactar y/ o reparar. Inicialmente resulta fácil disponer de capacidad de memoria libre, pero con el correr de los años es necesario contar con 5 Gb.
- Respuesta a las consultas de usuarios: la respuesta del servidor no debe ser superior a 10 seg. en promedio por cada petición de usuario.
- Espacio de Instalación para el Software: Para la versión final el espacio necesario para correr el software, es de 100 Mb.

### **Restricciones de Rendimiento**

A continuación se presenta una lista arquitectónicamente relevante de las restricciones de rendimiento del sistema a desarrollar:

- Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF): se espera que el sistema se ejecute continuamente por varios años, no obstante a mantenimientos ocasionales por fallas en el hardware o en el software.
- Se considera que el sistema ha sufrido una falla si la PDA no se puede comunicar con la computadora de Red del sistema.
- Se considera que el sistema ha sufrido una falla grave si la base de datos primaria se cae o bien se convierte en no accesible. En este caso hay una posibilidad de perder los datos.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Se debe prevenir fallas graves, respaldando transacciones en dos soportes de almacenamiento diferentes (Ej.: sistema de back-up o dos discos duros corriendo en un sistema RAID). Para evitar de este modo que en la falla de un disco duro no pierda más lecturas que las realizadas durante la última jornada de trabajo.

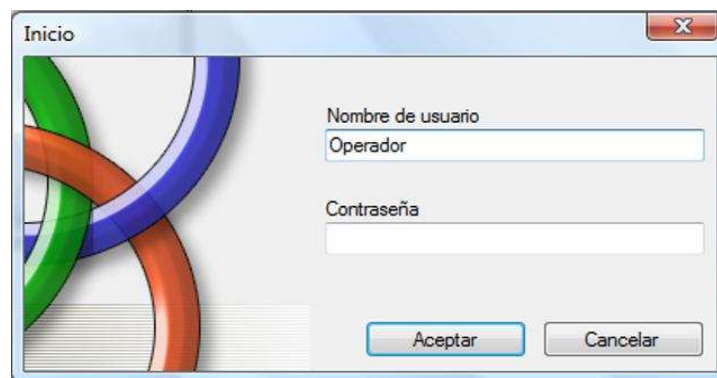
### **Confiability**

De acuerdo a lo definido en el Resumen de los Apostadores se detalla que el Departamento de Sistemas es el sector responsable de la seguridad y confiabilidad de la información de la central, para lograr esto tiene definido los sistemas que realizan copias de backup de los discos que tienen los datos que maneja todos los sistemas de la central. Dicha copia se realiza en forma automática al finalizar la jornada. Dada la importancia de una parte de la información también posee un sistema de espejado de información, por lo tanto solo se debe cumplir con asignar correctamente las direcciones, a la base de datos y a los programas aplicativos, asignadas en la red de la central.

### **Seguridad**

El primer requisito que se propone para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos, como así también, garantizar la trazabilidad de las acciones para el seguimiento en tiempo real de la seguridad de la presa, es el ingreso al software de auscultación con clave; es decir ingreso como “usuario” con su “contraseña”.

Como primera medida, el requisito de ingresar como “usuario” con su “contraseña”, permitirá restringir el uso del software solo a aquellas personas que están autorizadas a hacerlo y además permitirá definir para el usuario autorizado, el nivel de habilitaciones que se le dará para el uso del software. En otras palabras, quedara limitado que podrá hacer y que no podrá hacer dentro de la aplicación.



**Figura N° 96 Interface de Ingreso con clave al Nuevo Sistema STA.**

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

### **El nivel de habilitaciones**

El hecho de poder definir para cada usuario, el nivel de habilitación que tendrá, permitirá definir el alcance de las “operaciones” que podrá hacer el “usuario” dentro de la aplicación. En otras palabras, lo que se busca es que cada usuario haga con el software de auscultación, lo que su habilitación le permite. Se puede ver actualmente que es normal, que la persona que hace la lectura de instrumentos manuales de auscultación y el control de 1er Nivel, no es la misma persona que hace el “análisis mucho más fino” de los datos (control de 2do Nivel).

Por esta razón se recomienda que el nuevo sistema tenga previsto, una habilitación para el control de 1er Nivel y otra habilitación para el control de 2 Nivel. También es necesario que haya una habilitación para quien hace la gestión de la evolución del sistema de auscultación (ingreso de nuevos aparatos, modificación de los parámetros de la fórmula de cálculo, modificación del tipo de sensor, modificación de los recorridos, etc.), que haya una habilitación para la gestión de las series cronológicas de datos (análisis Hidrostático-Estacional-Tiempo; efectos de retrasos), y también que pueda haber una combinación de habilitaciones; por último y como es lógico, se requiere la habilitación para el administrador de las habilitaciones.

### **13. Conclusiones.**

En base a la evaluación de los objetivos, y habiendo comprobando que los resultados del proyecto son por demás satisfactorios luego del Análisis e Interpretación de Datos, se arriba a la conclusión de que puede darse por probada la hipótesis planteada al inicio del proyecto. Por lo cual un PLC, puede realizar las lecturas de los instrumentos de cuerda vibrante instalados actualmente en la presa y el paleocauce.

Se considera que se cumplió también con el objetivo adicional acerca de que el trabajo brinde una solución a la problemática puntual planteada, ya que se pudo probar que la interconexión de distintos PLC, puede formar parte del Sistema de transmisión de la Red de Campo, de un sistema SCADA, que otorgue un marco de referencia aplicable para dar solución a problemas de similares características y requerimientos. Esto permite desarrollar soluciones en las que se requiera la integración de distintas tecnologías.

Fueron de gran utilidad, los recursos utilizados y la experiencia en trabajos anteriores, del personal de mantenimiento, tales como fichas técnicas e información relevante durante el proceso de actualización tecnológica, que se está desarrollando en la central Piedra del

<b>Cliete:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

Águila. Lo que se puede destacar de éste proyecto, es que se efectuó una selección de la vastas tecnologías disponibles que pudiesen dar solución a la problemática, para luego seleccionar las más adecuadas, integrarlas, compatibilizarlas y probarlas, generando un marco de trabajo junto con el personal de mantenimiento de la empresa, que permita desarrollar soluciones para resolver los problemas planteados en este proyecto.

Las grandes presas de tierra y las presas de hormigón son una infraestructura vital para el suministro continuo de agua y la generación de energía. Las fuerzas de carga y descarga en una presa causan tensión en la estructura y deben ser auscultadas. La tensión puede ser debida a las fluctuaciones en el nivel del agua, al asentamiento de la estructura, a desprendimientos de tierra cercanos o la actividad sísmica. La detección precoz del problema potencial permite su reparación antes de que se produzca un desastre, o advertir a tiempo a las autoridades para minimizar los riesgos.

El principal punto a destacar de la actualización tecnológica del Sistema Telemido de Auscultación de las Estructuras Civiles de la Presa de Piedra del Águila, es que con el sistema de supervisión automática, es posible proceder a la rápida detección de eventuales anomalías en el comportamiento de la presa, de modo que se puede optimizar y agilizar el análisis de las causas y toma de decisiones de las medidas correctivas, para lo cual, todos los instrumentos de auscultación han sido dotados de valores de control bien específicos.

Es importante destacar lo discutido en el Congreso Internacional de Grandes Presas de ICOLD, que el hecho de contar con un Sistema Telemido de Auscultación, no significa que los demás instrumentos de auscultación, leídos en forma convencional, sean relegados a un segundo plano, pues ellos continuarán operando, además se garantizará la imprescindible actividad de inspección visual de las estructuras, realizada indirectamente por los propios técnicos cuando realizan estas actividades de forma manual.

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

## 14. Referencias.

Se recurre a documentación propia de la central:

- Manual del SIG
- Procedimientos de Calidad
- Procedimientos y Manuales de Auscultación.

Referencias:

[REF 1] LOMBARDI, G. (1999) - “ENEE — Honduras, Comentarios sobre Auscultación y Monitoreo de Presas de Fábrica”.

[REF 2] LOMBARDI, G. (2001) - “Análisis e interpretación de los datos de Auscultación”.

## 15. Bibliografía.

- Jacobson, Booch y Rumbaugh. Libro “El Proceso Unificado de Desarrollo de Software” Madrid – Editorial: Pearson Addison Wesley – 1999.
- Jacobson, Booch y Rumbaugh. Libro “El Lenguaje Unificado de Modelado Manual de Referencia”. Madrid – Editorial: Pearson Addison Wesley – 1999.
- Fowler Martin. Libro “UML Gota a Gota”. México – Editorial: Pearson Addison Wesley – 1999.
- Gustavo du Portier. Libro “Base de datos en Visual Basic 6.0”. Argentina – Editorial: MP Ediciones – 2000.
- Baltasar y Mariano Birnios. Libro “Microsoft Visual Basic 6.0 Manual de referencia”. Argentina – Editorial MP Ediciones – 1999.
- Felipe Ramírez. Libro “Visual Basic 2005 usando Visual Studio 2005”
- Luis Duran. Libro “Base de datos con Visual Basic 2005”
- Ing. Edgar Sparrow Álamo. PDF: "Presas de Gravedad". Perú – Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería – Febrero de 2009

<b>Cliente:</b>	Auscultación – Hidroeléctrica Piedra del Águila	<b>Fecha:</b>	10/12/2014
<b>Proyecto:</b>	Evaluación de Alternativas de cambio del STA	<b>Versión:</b>	2.1
<b>Documento:</b>	Proyecto de Grado Ingeniería en Sistemas	<b>Autor:</b>	Raúl D. Vides

- Ing. Alejandro Pujol. PDF "Las Presas y la Seguridad". Argentina – Red Ingeniería – Noviembre 2012.
- ATI. PDF “Redacción del Plan de Auscultación Revisión del Sistema de Auscultación. Casos Especiales”. Madrid – Auscultación y Taller de Ingeniería (ATI) – Sep-2011.
- Cesar A. Cabrera Bogado. PDF “Sistema de Monitoreo de la Presa de Itaipú Binacional”. Paraguay – Décimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRE – Mayo de 2009.
- ORSEP. PDF “Aplicación de Criterios de Seguridad de Presas en Obras Existentes. Mendoza – ORSEP Regional: Cuyo-Centro. – Noviembre de 2009.
- Ing. Jürgen Fleitz. PDF "Auscultación de Presas". China – XX Congreso Internacional de Grandes Presas de ICOLD – Septiembre de 2000.
- Instrumentación de Presas  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/instrumentacionpresas/instrumentacionespresas.html>
- Jaume Romagosa Cabús, David Gallego Navarrete, y Raúl Pacheco Porras. PDF: Sistemas SCADA. Universidad Politécnica de Cataluña, Especialidad en Electrónica Industrial. Dpto. Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial
- Luis Enrique Avendaño. PDF Fundamentos de Instrumentación. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
- Manual Técnico del AVW1 and AVW4 Vibrating Wire Interfaces. Campbell Scientific, Inc.
- Manual Técnico del AM16/32B Relay Multiplexer. Campbell Scientific, Inc.
- Manual de usuario del data logger Taker DT800. Datataker Pty Ltd