

CONTENIDO

CONTENIDO.....	6
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE FIGURAS.....	10
SIGLAS Y CONVENCIONES	13
RESUMEN	18
INTRODUCCIÓN.....	19
OBJETIVOS	22
GENERALES.....	22
ESPECÍFICOS.....	22
METODOLOGÍA.....	23
Revisión Bibliográfica.....	24
Vinculación proyecto MIEL I.....	24
Procesamiento de información.....	24
Análisis de información	25
ALCANCE	25
1. GENERALIDADES DE LA INSTRUMENTACIÓN.....	27
1.1. Estado Actual del Conocimiento.....	27
1.2. Necesidades de Instrumentación	30
2. OBJETIVOS DE LA INSTRUMENTACIÓN.....	32
2.1. Validación de diseños.....	32
2.2. Monitoreo para seguridad durante construcción	32
2.3. Evidencia de uso legal.....	33
2.4. Correlacionar información con otros instrumentos.....	33
3. VARIABLES QUE PUEDEN MEDIRSE	34
3.1. Infiltración.....	34
3.1.1. Flujo.....	35
3.1.2. Gradiente Hidráulico.....	35
3.1.3. Caudales Infiltrados.....	35
3.2. Desplazamiento.....	36
3.3. Esfuerzos	37
3.4. Deformaciones	38

3.5.	Presión.....	39
4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS.....	40
4.1.	Conversión de la variable.....	40
4.2.	Características Relacionadas con la Incertidumbre y Error en la Medición.....	42
4.3.	Capacidad de Automatización de los Instrumentos.....	43
4.4.	Requerimientos Adicionales.....	45
5.	TIPOS DE INSTRUMENTOS.....	46
5.1.	Conversión de Señal y variables en medición.....	46
5.1.1.	Dispositivos hidráulicos.....	46
5.1.2.	Dispositivos neumáticos.....	46
5.1.3.	Dispositivos de cuerda vibrante.....	47
5.1.4.	Dispositivos de resistencia eléctrica.....	47
5.1.5.	Dispositivos con transductores eléctricos.....	47
5.1.6.	Otros tipos de dispositivos eléctricos.....	48
5.2.	Ventajas y Desventajas de Instrumentos.....	51
6.	LECTURA Y ACOPIO DE DATOS.....	57
6.1.	Frecuencia entre lecturas.....	57
6.1.1.	Metodología Constructiva.....	57
6.1.2.	Tipos y Características de los Instrumentos.....	58
6.1.3.	Condiciones Geotécnicas.....	58
6.1.4.	Coordinación entre dispositivos.....	59
6.1.5.	Consideración de eventos no usuales o extremos.....	60
6.2.	Consideraciones Generales.....	61
7.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	63
7.1.	Estadística Unidimensional.....	63
7.2.	Estadística Multidimensional.....	64
7.2.1.	Técnicas de Predicción o Regresiones.....	65
7.3.	Series de Tiempo.....	66
7.3.1.	Representación de las Series de Tiempo.....	66
7.3.2.	Descomposición de Series de Tiempo.....	67
7.3.3.	Modelos para Series.....	67
7.4.	Valores Atípicos.....	72
7.5.	Pruebas para revisión de ajuste.....	75
7.5.1.	Relación entre residuales.....	76

7.5.2.	Normalidad del Error.	76
8.	PROYECTO HIDROELÉCTRICO MIEL I	77
8.1.	Descripción del proyecto	77
8.1.1.	Marco Geológico.	78
8.1.2.	Sistema de Impermeabilización	79
8.1.3.	Sistema de Drenaje.....	81
8.1.4.	Instrumentación.....	81
8.2.	Series de Tiempo, Instrumentación Presa.....	82
8.2.1.	Análisis de Serie de Niveles de Embalse.....	83
8.2.2.	Análisis de Series de Presiones Piezométricas	90
9.	INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS	99
9.1.	Criterios de Diseño.....	99
9.2.	Infiltración en Medios Porosos.....	99
9.3.	Infiltración en Macizos Rocosos	101
9.4.	Metodologías de Resolución Flujo en Medios Porosos.....	102
9.4.1.	Método Gráfico (redes de flujo)..	102
9.4.2.	Métodos Analógicos..	102
9.4.3.	Métodos Analíticos..	102
9.4.4.	Métodos Numéricos.	102
9.4.5.	Ventajas y Desventajas de los Métodos.	103
9.5.	Modelo de Flujo basado en Metodología de Diferencias Finitas	104
9.5.1.	Flujo no Confinado en la Presa..	105
9.5.2.	Flujo Confinado en el Basamento.....	107
9.5.3.	Retícula del Modelo.....	108
9.5.4.	Resultados del Modelo.	108
9.6.	Comparación de Resultados con Registros.....	111
9.6.1.	Regresión Segmentada.....	112
9.6.2.	Comportamiento de Diaclasas.....	114
9.6.3.	Comportamiento Referido a los Registros del Piezómetro PF-17.....	120
9.6.4.	Estabilidad de la Presa.....	128
9.6.5.	Limitaciones de la interpretación..	134
10.	CONCLUSIONES	136
11.	ANEXOS.....	141
	Bibliografía	144

INDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Métodos y facilidades de automatización de instrumentación en presas	44
Tabla 5-1: Instrumentos de uso común en proyectos geotécnicos.....	52
Tabla 5-2: Comparación entre tipos de piezómetros.....	53
Tabla 5-3: Comparación entre tipos de inclinómetros	53
Tabla 5-4: Comparación entre tipos de medidores de deformación simples	54
Tabla 5-5: Comparación entre tipos de medidores de deformación multipunto.....	54
Tabla 5-6: Comparación entre tipos de medidores de temperatura	55
Tabla 5-7: Resumen de rangos de operación de instrumentación geotécnica	56
Tabla 6-1: Programa de monitoreo para presas importantes y de alto riesgo	62
Tabla 6-2: Programa de monitoreo para presas de concreto	62
Tabla 8-1: Estadísticos serie $Y(t)=$ niveles de embalse mensuales(<i>msnm</i>).....	86
Tabla 8-2: Magnitud de residuos en modelos ARIMA de mejor ajuste a Niveles de Embalse	88
Tabla 8-3: Resumen de modelo ARIMA seleccionado	88
Tabla 8-4: Piezómetros con series depuradas disponibles, presa Pantágoras	90
Tabla 8-5: Subgrupos para la serie Niveles de Embalse.....	93
Tabla 9-1: Resumen de regresiones segmentadas piezómetro PF-17 vrs. Nivel Embalse	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 0-1: Metodología de trabajo.....	23
Figura 1-1: Diagrama de flujo para monitoreo de proyectos	31
Figura 4-1: Vertedor medidor de infiltraciones en galerías de presa Pantágoras	41
Figura 4-2: Detalle de extensómetro de posición múltiple.....	41
Figura 4-3: Diagrama y esquema de termocupla	41
Figura 4-4: Relación entre precisión y error total	43
Figura 7-1: Serie de tiempo para niveles de embalse, presa Pantágoras.	66
Figura 8-1: Esquema isométrico y sección transversal presa Pantágoras	78
Figura 8-2: Esquemas de consolidación superficial	80
Figura 8-3: Esquema de consolidación profunda.....	80
Figura 8-4: Esquema de unidades Lugeon residuales	81
Figura 8-6: $Y(t)$ vrs. $Y(t-1)$ en msnm, niveles de embalse, presa Pantágoras	85
Figura 8-5: Componentes de serie de tiempo Niveles de Embalse presa Pantágoras	85
Figura 8-7: Autocorrelaciones, serie de tiempo mensual para niveles de embalse, presa Pantágoras.....	86
Figura 8-8: Comparación series de tiempo: $Y(t) =$ niveles del embalse AMANI	87
Figura 8-9: series de tiempo observada y ajustada para los niveles del embalse AMANI	89
Figura 8-10: Autocorrelaciones y normalidad de los residuos del modelo ARIMA $(0, 1, 0) \times (0, 1, 1)_{12}$	89
Figura 8-11: Vista posterior de presa, indicando ubicación de piezómetros.....	91
Figura 8-12: Distribución acotada de la probabilidad de ocurrencia del nivel de embalse de una presa hidroeléctrica en operación.	92
Figura 8-13: Dispersiones bivariable para niveles de embalse y presiones piezométricas.....	95
Figura 8-14: Dispersiones bivariable para niveles de embalse y presiones piezométricas (2).....	96

Figura 8-15: Series de tiempo depuradas años 2005-2009, para piezómetros PF-17 a PF-20 en fundación de presa Pantágoras	97
Figura 8-16: Series de tiempo depuradas años 2006-2009, para piezómetros PF-21 a PF-25 en fundación de presa Pantágoras	97
Figura 8-17: Series de tiempo depuradas años 2005-2009, para piezómetros PC-1 a PC-4 en contactos presa-basamento; presa Pantágoras.....	98
Figura 8-18: Series de tiempo depuradas años 2005-2009, para piezómetros PCH-3 a PCH-7 en contactos presa-basamento; presa Pantágoras	98
Figura 9-1: Tipos de flujo en presas.....	101
Figura 9-2: Elemento básico (i, j) del análisis por diferencias finitas	105
Figura 9-3: Esquema genérico del dominio de un problema de flujo no confinado.....	106
Figura 9-4: Esquema de segmentación de cuerpo de presa y fundación.....	108
Figura 9-5: Esquemas de líneas equipotenciales, diferentes condiciones de borde.....	110
Figura 9-6: Esquemas de líneas equipotenciales porcentuales, flujo confinado considerando consolidación superficial y profunda.	111
Figura 9-7: Modelo de regresión lineal segmentada.	112
Figura 9-8: Modelo de regresión lineal segmentada, PF-17 vrs. Niveles Embalse.....	113
Figura 9-9: Función hiperbólica, relación esfuerzo normal-cerramiento de diaclasa	114
Figura 9-10: Función hiperbólica hipotética utilizada para el basamento de la presa.....	115
Figura 9-11: Sección transversal simplificada de presa, Est. 57m izquierda eje de vertedor	116
Figura 9-12: Distribución de esfuerzos en diaclasa ficticia.....	116
Figura 9-13: Aperturas residuales a lo largo de la diaclasa ficticia por efecto de cambio de esfuerzos.....	117
Figura 9-14: Distribución de subpresiones teóricas por variabilidad en apertura de diaclasa	119
Figura 9-15: Subpresiones PF-17 en el año 2009, y porcentajes de reducción de carga hidrostática.....	121

Figura 9-16: Resúmenes de regresiones y reducciones de subpresiones para piezómetros PF18 a PF21	123
Figura 9-17: Resúmenes de regresiones y reducciones de subpresiones para piezómetros PF22 a PF25	124
Figura 9-18: Resúmenes de regresiones y reducciones de subpresiones para piezómetros PC-2 a PC-4 y PCH-3.....	125
Figura 9-19: Resúmenes de regresiones y reducciones de subpresiones para piezómetros PCH - 4 a PCH - 7	126
Figura 9-20: Distribución de Subpresiones en la Estación - 57.00	130
Figura 9-21: Distribución de Subpresiones en la Estación + 65.00	130
Figura 9-22: Distribuciones de densidad, registros de piezómetros asociados a la Est. - 57.00	131
Figura 9-23: Distribuciones de densidad, registros de piezómetros asociados a la Est. + 65.00	132
Figura 9-24: Distribución de Subpresiones en la Estación - 57.00, Valores Modales.....	132
Figura 9-25: Distribución de Subpresiones en la Estación + 65.00, Valores Modales	132
Figura 9-26: Esquema de variación esperada en el factor de seguridad.....	134
Figura 9-27: Distribución de esfuerzos para una geometría compleja del basamento	135