



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PROFESIONAL:
"INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DE LA
PRESA FRANCISCO J. MÚGICA"**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

PIC. OMAR SALGADO TUNGÜÍ

ASESOR DE TESIS:

M.I. FELIPE DE JESÚS JERÓNIMO RODRÍGUEZ

MORELIA MICHOACÁN, JUNIO DEL 2019



CONTENIDO

I. AGRADECIMIENTOS	1
II. INTRODUCCIÓN	2
II.1 ANTECEDENTES	5
II.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
II.3 JUSTIFICACIÓN	9
II.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.....	11
II.5 HIPOTESÍS	17
III. MARCO TEORÍCO	18
III.1 TIPOS DE PRESA	20
III.1.1 POR LA COMPOSICIÓN DEL CUERPO DE LA PRESA (CORTINA).	22
III.1.1.1 LAS PRESAS DE MATERIALES SUELTOS.	23
III.1.1.1.1 SECCIÓN HOMOGÉNEA.	23
III.1.1.1.2 CORTINA CON MEMBRANA.	25
III.1.1.1.3 CORTINA CON NÚCLEO.	26
III.1.1.2 LAS PRESAS DE FÁBRICA.....	28
III.1.1.2.1 PRESA DE GRAVEDAD.....	29
III.1.1.2.2 PRESA DE CONTRAFUERTES.	30
III.1.1.2.3 PRESA DE ARCO-GRAVEDAD.	31
III.1.1.2.4 PRESA ARCO-BÓVEDA.	32
III.1.1.2.5 PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO.	33
III.1.1.3 PRESAS MIXTAS.	34
III.1.2 POR EL TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE CIMENTACIÓN.	35
III.1.2.1 DELANTAL.....	36
III.1.2.2 DENTELLÓN O TRINCHERA.....	36
III.1.2.3 DIAFRAGMA Ó MURO.....	37
III.1.2.4 PANTALLA DE INYECCIONES.	37



III.2	INSTRUMENTACIÓN EN PRESAS	39
III.3	TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN	42
III.3.1	INSTRUMENTOS PARA MEDIR NIVELES DE PRESIÓN DE AGUA	44
III.3.1.1	PIEZÓMETROS MANUALES.	46
III.3.1.1.1	POZO DE OBSERVACIÓN.....	46
III.3.1.1.2	PIEZÓMETRO ABIERTO.	46
III.3.1.1.3	PIEZÓMETRO NEUMÁTICO.....	47
III.3.1.2	PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS.....	50
III.3.1.2.1	SENSOR PIEZORRESISTIVO.....	50
III.3.1.2.2	SENSOR DE CUERDA VIBRANTE.....	51
III.3.1.2.3	SENSOR DE FIBRA ÓPTICA.....	52
III.3.2	INSTRUMENTOS PARA MEDIR INFILTRACIONES.	54
III.3.2.1	CRONOMETRO Y BURETA.	54
III.3.2.2	DISPOSITIVO DE AFORO O VERTEDORES.	54
III.3.3	INSTRUMENTOS PARA MEDIR DESPLAZAMIENTOS.....	56
III.3.3.1	METODO TOPOGRÁFICO.	57
III.3.3.1.1	TESTIGOS SUPERFICIALES.....	58
III.3.3.1.1.1	TESTIGO SUPERFICIAL PARA MEDIR MOVIMIENTOS HORIZONTALES (TSMH).	59
III.3.3.1.1.2	TESTIGO SUPERFICIAL PARA MEDIR MOVIMIENTOS VERTICALES (TSMV).....	60
III.3.3.1.2	BANCOS DE REFERENCIA.....	61
III.3.3.1.2.1	BANCOS DE REFERENCIA DE CONTROL HORIZONTAL (BRCH). 61	
III.3.3.1.2.2	BANCOS DE REFERENCIA DE CONTROL VERTICAL (BRCV) O BANCOS DE NIVEL (BN).....	63
III.3.3.1.2.2.1	BANCOS DE NIVEL DE LA RED PRIMARIA.....	63
III.3.3.1.2.2.2	BANCOS DE NIVEL DE LA RED SECUNDARIA.	64
III.3.3.2	INCLINÓMETROS.	66
III.3.3.2.1	INCLINÓMETRO VERTICAL.....	69
III.3.3.2.2	INCLINÓMETRO VERTICAL FIJO.	70
III.3.3.2.3	INCLINÓMETRO HORIZONTAL.....	71
III.3.3.2.4	INCLINÓMETRO HORIZONTAL FIJO.....	72
III.3.4	INSTRUMENTOS PARA MEDIR ASENTAMIENTOS.	73



III.3.4.1	PLACA DE ASENTAMIENTO.	73
III.3.4.2	DEFORMÓMETRO.	75
III.3.4.2.1	DEFORMÓMETRO MECÁNICO.	75
III.3.4.2.2	DEFORMÓMETRO MAGNETICO.	77
III.3.4.2.2.1	DEFORMÓMETRO CON ANILLOS MAGNETICO.	77
III.3.4.2.2.2	DEFORMÓMETRO DE PLACAS y ARAÑAS MAGNÉTICAS.	78
III.3.4.2.3	CLINÓMETRO.	79
III.3.4.2.4	CELDA HIDRÁULICAS.	80
III.3.5	INSTRUMENTOS PARA MEDIR ESFUERZOS.	82
III.3.5.1	CELDA DE PRESIÓN DE CONTACTO.	83
III.3.5.2	CELDA DE PRESIÓN EN SUELO.	83
III.3.5.2.1	CELDA DE PRESIÓN DE DIAFRAGMA.	84
III.3.5.2.2	CELDA DE PRESIÓN HIDRÁULICA.	84
III.3.6	INSTRUMENTOS PARA MEDIR DEFORMACIONES.	86
III.3.6.1	EXTENSÓMETRO EXTERNOS.	87
III.3.6.1.1	EXTENSÓMETRO EXTERNO DE JUNTA Y GRIETA.	87
III.3.6.1.2	EXTENSÓMETRO EXTERNO DE CONVERGENCIA.	88
III.3.6.2	EXTENSÓMETRO INTERNOS.	89
III.3.6.2.1	EXTENSÓMETRO INTERNOS DE PLACA.	89
III.3.6.2.2	EXTENSÓMETRO INTERNOS DE BARRA.	90
III.3.7	INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA.	93
III.3.7.1	GEÓFONOS.	93
III.3.7.2	SISMÓGRAFOS.	94
III.3.7.3	ACELERÓGRAFOS.	95
IV.	TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN EN LA PRESA FRANCISCO J. MÚGICA.	96
IV.1	GEOLOGÍA REGIONAL.	96
IV.2	COMPONENTES DE LA PRESA.	105
IV.3	INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA FRANCISCO J. MÚGICA.	116
IV.3.1	PLOMADA EN LA PRESA DE GRAVEDAD (PÉNDULO DIRECTO).	119
IV.3.2	EXTENSÓMETROS DE BARRA.	121



IV.3.3	PIEZÓMETROS MÚLTIPLES EN GALERÍAS.	125
IV.3.4	MEDIDORES DE JUNTAS TRIORTOGONALES.	130
IV.3.5	INCLINÓMETROS.	133
IV.3.6	PIEZÓMETROS ABIERTOS.	138
IV.3.7	DISPOSITIVOS DE AFORO (MEDIDORES DE DESAGÜE).	143
IV.3.8	REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS.	145
IV.3.9	ACELERÓGRAFO.....	147
V.	CONCLUSIONES	150
VI.	BIBLIOGRAFÍA	151



RESUMEN.

El hombre desde sus orígenes ha empleado a la naturaleza para su bienestar. Los recursos naturales fueron empleados por el hombre para satisfacer sus necesidades y para mejorar su forma de vida, en muchas regiones del planeta se carece de agua durante la mayor parte del año, pero en la época de lluvias, éstas son torrenciales las cuales ocasionan grandes escurrimientos provocando severas inundaciones, fue entonces cuando el hombre descubrió las presas, observando los lugares donde se almacenaba el agua para colocarles obstáculos en los ríos.

Las presas además de beneficiar a la humanidad representan una amenaza debido a que sus fallas causan pérdidas de vidas humanas, de ahí la importancia de la seguridad de estas estructuras, una solución práctica a esta problemática es la utilización de la Instrumentación Geotécnica la cual proporciona información cuantitativa y cualitativa al ingeniero. El objetivo de la Instrumentación en las presas es detectar oportunamente el comportamiento de las estructuras y su cimentación durante su construcción y su operación posterior. La instrumentación básicamente es un arreglo de instrumentos que se colocan estratégicamente en el cuerpo de la presa con la finalidad de proporcionar información temprana de las diferentes estructuras que pongan en riesgo la estabilidad de la misma.

Para la construcción de las presas se tiene diferentes tipos de materiales y diferentes tratamientos para la cimentación; así como una Instrumentación original y una adicional la cual puede variar con las modificaciones que se realicen. Los instrumentos utilizados pueden ser para medir niveles de presión de agua, infiltraciones, desplazamientos, asentamientos, esfuerzos, deformaciones y actividad sísmica.

Los trabajos de Instrumentación de la presa Francisco J. Múgica, consistieron en la colocación de una plomada de gravedad, extensómetros de barras, piezómetros múltiples en las galerías, medidores de juntas triortogonales, inclinómetros, piezómetros abiertos, dispositivos de aforo, referencias topográficas y acelerógrafos.

Prevención, Observación, Auscultación, Bienestar y Beneficio.



ABSTRACT.

Man from his origins has used nature for his well-begins. Natural resources were used by man to meet their needs and to improve their way of life, in many regions of the planet there is no water for most of the year, but in the rainy season, these are torrential which cause large Runoff severe flooding, that´s when the man discovered the prey, observing the places where the water was stored to place obstacles in the rivers.

Prey in addition to benefiting humanity pose a threat because their failures cause loss of human life, hence the importance of the safety of these structures, a practical solution to this problem is the use of Geotechnical Instrumentation which provides quantitative and qualitative information to the engineer. The objective of the Instrumentation in dams is to detect in a timely manner the behavior of the structures and their foundations during their construction and it´s subsequent operation. The instrumentation is basically an arrangement of instruments that are strategically placed in the body of the dam for the purpose to provide early information on the different structures that jeopardize the stability of the structure.

For the construction of the dams you have different types of materials and different treatments for the foundation; as well as an original and an additional Instrumentation which may vary with modification made. The instruments used can be to measure water pressure levels, infiltrations, displacements, settlements, efforts, deformations and seismic activity.

Instrumentation works of the Francisco J. Múgica dam, consisted of the placement of a gravity plumb, bars extensometers, multiple piezometers in the galleries, triortogonal joint meters, inclinometers, open piezometers, capacity devices, topographical references and accelerographs.



I. AGRADECIMIENTOS.

Primordialmente, a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial de mi carrera, por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más, por darme la fortaleza y valentía para no darme nunca por vencido y alcanzar mis metas y proyectos, por poner en mi camino a personas maravillosas y darme la bendición más grande que es mi familia.

A mi Madre, por la confianza y el apoyo brindado en el trayecto de mi vida, el amor que siempre me ha demostrado, por ser la primera en celebrar mis triunfos, y en animarme en los tiempos duros.

A mis Familiares, por sus consejos y la motivación con la que contribuyen a que sienta impulso para seguir adelante.

A mi Esposa e hijos, que son lo más importante en mi vida, por todo ese amor y apoyo ilimitado que me han dado, por estar siempre a mí lado en los momentos buenos, divertidos y difíciles, en los que han marcado.

A mis Amigos, por el tiempo compartido, las bromas y momentos en los que demostraron su confianza en mí, y en mis capacidades para enfocarme en mejorar como persona y profesionalista.



II. INTRODUCCIÓN.

La infraestructura Hidráulica ha sido soporte del crecimiento del país, su construcción inicia desde la época prehispánica y en la época posrevolucionaria tiene su mayor crecimiento.

La distribución de los recursos hidráulicos en el mundo es muy variable, tanto en el tiempo como en el espacio. La precipitación ocurre mayoritariamente en sólo unos pocos meses del año y la población se ha ubicado en lugares donde los recursos hidráulicos son muy limitados. El hombre desde sus orígenes ha empleado a la naturaleza para su bienestar. Así descubrió el fuego y éste le sirvió para calentarse cocinar sus alimentos y protegerse, sin embargo, estos beneficios tenían un costo, que entonces pasaban desapercibidos, como lo eran los deterioros ecológicos, aunque el mismo hombre sufría los daños directos e indirectos que el fuego le ocasionaba, como las muertes por incendios o simplemente empezó a sentirse la contaminación en los espacios reducidos de sus cuevas.

De igual manera. Los recursos naturales fueron empleados por el hombre para satisfacer sus necesidades y para mejorar su forma de vida. Dado que estos recursos eran enormes comparados con las necesidades o utilización que se hacía de ellos. Debido a que la auto depuración o regeneración que la naturaleza realiza, la oferta superaba a la demanda, por lo que no se volvía crítica la situación de nuestro planeta. Solamente se apreciaban los daños que los fenómenos naturales como los huracanes, heladas, sismos, tsunamis, incendios y tornados, que causaban muertes, enfermedades y grandes pérdidas económicas, que llevaban mucho tiempo en regresar a las condiciones originales y en muchas ocasiones el cambio se volvió permanente.

El hombre por su instinto de sobrevivencia tiene que protegerse de la propia naturaleza, por lo que ha hecho obras y acciones que eviten los daños y lo protejan. Estas involucran cambios a la naturaleza, que en el pasado no se evaluaban, porque la prioridad era la protección de las vidas humanas.



Paradójicamente en muchas regiones del planeta se carece de agua la mayor parte del año, pero en la época de lluvias, éstas son torrenciales con fuertes intensidades que ocasionan grandes escurrimientos que rebasan la capacidad de conducción de los ríos, ocasionando severas inundaciones. El hombre entonces descubrió las presas, porque las presas forman parte de la naturaleza misma. Lo observó en los lagos y depresiones en donde se almacenaba el agua. De esta forma al colocar obstáculos en los ríos pudo guardar el agua para utilizarla en el estiaje. Desde su origen el hombre fue constructor, alteró su hábitat natural. Pero siempre para protegerse y buscar su bienestar.

El crecimiento de la población ocasionó el desarrollo de las obras de infraestructura, que alteraban o cambiaban la naturaleza, entonces se empezó a poner mayor atención a los efectos que sobre el ambiente y otras situaciones ocasionaban la construcción y operación de las presas.

Indudablemente de los beneficios, la seguridad y bienestar del hombre que tienen las presas es enorme, especialmente cuando se conjuntan varios usos; como la regulación o control de las avenidas, el almacenamiento del agua para abastecer a ciudades, industrias y zonas de riego, la acuacultura, el turismo, la navegación y la energía potencial del agua para generación de electricidad. Pero este conocimiento y evaluación de los beneficios no implica no detectar y evaluar con la misma precisión los costos y requerimientos sociales y ambientales que se tengan, de tal forma que se definan y evalúen las medidas de mitigación para poder determinar la factibilidad técnica, social, ambiental, cultural, económica y financiera del proyecto en cuestión.

México es un país con una larga tradición en la construcción de presas, que se inicia en la época de la colonia y que se fortalece después de la revolución cuando se crea la Comisión nacional de Irrigación en 1926, y con las sucesivas transformaciones de las dependencias relacionadas con el manejo de los recursos hídricos hasta la actualidad, donde la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad, conservan esta tradición hidráulica al frente de un importante grupo de gobiernos estatales, organizaciones de usuarios y personas físicas propietarias de las presas mexicanas.



Es importante este señalamiento porque muestra claramente que estos propietarios de las presas participan en el desarrollo de nuestro país, pero también tienen la responsabilidad de operar y mantener en condiciones de seguridad.

Las presas en México se han construido para suministrar agua para consumo humano, para abastecer a la industria y a las zonas de riego, para generar energía y para proteger a las poblaciones contra inundaciones.

De esta manera han sido promotoras del desarrollo nacional, de la creación de empleo, del crecimiento industrial y de la producción de alimentos que demanda el pueblo mexicano.

Sin embargo, en épocas recientes también se ha cuestionado la construcción de estas obras, sobre la base de los impactos ambientales y sociales de las mismas.

Somos conscientes de los impactos que pueden generar las presas, pero también de los beneficios que proporcionan. Estamos seguros que solamente en la medida en que tengamos mayor conocimiento de los impactos y beneficios de las presas, y seamos capaces de transmitir de mejor forma esta información a la sociedad en general, podremos ponernos de acuerdo para construir las presas que requiere el desarrollo futuro del país, definiendo e instrumentando las medidas de mitigación social y ambiental adecuadas.



II.1 ANTECEDENTES.

Las presas, al mismo tiempo que beneficiar a la humanidad en sus actividades de riego, control de avenidas y generación de energía, representan una amenaza potencial debido a que sus fallas causan pérdidas de vidas humanas y propiedades o deterioro del medio ambiente. De ahí la importancia primordial de la seguridad de estas estructuras. De hecho, entre todas las obras civiles, las presas junto con las plantas nucleares se diseñan con los más estrictos criterios de seguridad.

Las presas son las obras donde, sin duda, el papel de la geotecnia es más relevante y trascendental. Aquí, de hecho, debe haber una sincronización y coordinación prácticamente perfecta entre la geología, la topografía, la hidráulica, la hidrología, la geotecnia y la ingeniería estructural, así como la ingeniería sísmica cuando se trate de una presa localizada en una zona de temblores. Cabe señalar, que tanto Karl Terzaghi como Arthur Casagrande, fundador y principal promotor de la geotecnia moderna, respectivamente dedicaron la mayor parte de su consultoría práctica a resolver problemas inherentes a presas. Por otro lado, un geotecnista debe tener siempre en cuenta que un mal diseño, una construcción deficiente o mala operación de una presa, puede traer consecuencias catastróficas.

El desarrollo de la geotecnia en México, se puede decir, que tuvo lugar en los años treinta y cuarenta, en lo que se conoció como Departamento de Ingeniería Experimental perteneciente a la Comisión de irrigación. Dicho departamento se localizó originalmente en San Jacinto, D.F., y posteriormente en Tecamachalco, estado de México. Por ese lugar pasaron grandes figuras que le darían, precisamente, un gran prestigio internacional a la geotecnia de México. A su vez las presas en sí, particularmente las de tierra y enrocamiento, han tenido en México un desarrollo tecnológico de muy alto nivel, cuya influencia asimismo ha trascendido al resto del mundo, de manera que se puede afirmar que hoy en día existe una escuela mexicana de ingeniería de presas en la que han destacado los estudios técnico y experimentales, la instrumentación, las consideraciones sísmicas y desde el análisis de las cimentaciones y el flujo del agua a través de las cortinas, laderas o sus cimientos.



Debido a múltiples razones, hoy en día la construcción de presas nuevas ha dejado lugar a la conservación de las estructuras existentes, tarea que no es menos importante. En los últimos años, se han involucrado cada vez más ingenieros en las actividades relacionadas con el manejo de seguridad de presas. Entre los principios de análisis y diseño es fundamental para poder revisar el estado de seguridad de las presas construidas dando diagnósticos acertados a los síntomas de mal funcionamiento y proponiendo soluciones ingenieriles eficientes.



II.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los suelos y rocas son materiales complejos, cuyo comportamiento está influenciado por muy diversos y numerosos factores, desde su origen y formación, hasta los efectos de tiempo.

Para el diseño de una estructura geotécnica usualmente se realizan ensayos de campo y de laboratorio para obtener los valores de las propiedades geotécnicas, pero los ensayos generalmente sólo proporcionan un rango de posibles valores y el ingeniero usualmente tiene que utilizar su criterio para seleccionar los más representativos y, en ocasiones, estimar empíricamente los más probables de acuerdo con su criterio y experiencia.

Si a esto añadimos las hipótesis, simplificaciones, incertidumbres y errores introducidos en los métodos de análisis y diseño, así como las variaciones en las propiedades de los materiales como resultado del proceso de construcción, tenemos que en todos los trabajos de ingeniería geotécnica existe una discrepancia entre la predicción obtenida del cálculo y el comportamiento real de las estructuras.

Cuando una presa falla la sociedad sufre cuantiosas pérdidas, en muchas ocasiones irreparables. El impacto es cada vez mayor, no sólo porque las presas son cada vez más grandes o se incrementa el número de las que se acercan al fin de su vida útil, sino también porque crecen las áreas pobladas y los desarrollos agrícolas e industriales aguas abajo de la obra.

Sin duda, una solución práctica a esta problemática es la utilización de la Instrumentación Geotécnica, ya que proporciona al ingeniero información cuantitativa y cualitativa que le permite adecuar y balancear los diseños geotécnicos, obteniendo tanto seguridad como eficiencia, por lo que es ampliamente utilizada.



Obteniendo como resultado:

- Comprensión de los factores que influyen en el comportamiento.
- Mejora sistemática de los diseños.
- Estructuras más seguras y económicas.



II.3 JUSTIFICACIÓN.

Los Sistemas de Auscultación son una técnica que proporciona al ingeniero información cuantitativa y cualitativa para permitir adecuar y balancear los diseños geotécnicos con bases más racionales, obteniendo eficacia y eficiencia, por lo que se les reconoce gran utilidad y son utilizados para obtener obras más seguras.

La aplicación del Método Observacional ha permitido conocer las diferentes maneras en que una presa puede fallar, aunque no se puede decir que un tipo de presa sea más seguro que otro.

Los mecanismos de falla potencial y debilidades de una presa o su cimentación pueden tomar muchas formas. Algunas de las causas de falla más comunes se listan a continuación en la tabla II.3 fallas de causas más comunes.

Tabla 1. II.3 Falla y Causas más comunes.

FALLA	CAUSA
DETERIORO DE LA CIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Arrastre de sólidos y materiales solubles.• Desprendimiento de bloques.• Erosión.
INESTABILIDAD DE LA CIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Licuefacción.• Deslizamientos.• Hundimientos.• Movimiento de fracturas.
VERTEDORES DEFECTUOSOS	<ul style="list-style-type: none">• Obstrucciones.• Recubrimientos fracturados.• Deficiencia de capacidad.• Compuertas o mecanismos descompuestos o deficientes.
DETERIORO DEL CONCRETO	<ul style="list-style-type: none">• Reacción álcali-agregado.• Congelación – quemado.• Lixiviación.



DEFECTOS EN PRESAS DE CONCRETOS	<ul style="list-style-type: none">• Subpresiones altas.• Distribuciones de subpresión no esperadas.• Desplazamientos y deflexiones diferenciales.• Concentración de esfuerzos.• Agrietamientos.
DEFECTOS EN PRESAS DE TERRÁPLEN	<ul style="list-style-type: none">• Potencial de licuefacción.• Inestabilidad de taludes.• Filtraciones excesivas.• Tubificación.• Erosión de taludes.
DEFECTOS DE LAS MÁRGENES DE EL EMBALSE	<ul style="list-style-type: none">• Inestabilidad de taludes.• Fallas inherentes de barreras naturales.• Permeabilidad.• Carstisidad.

Las causas de falla son conocidas, pero en cada proyecto debemos ponderar los RIESGOS geológicos, sísmicos, hidrometeorológicos, estructurales y los causados por el hombre, para diseñar, construir y operar estructuras seguras.

Es claro que en el dominio de la seguridad de presas es necesario tomar en consideración todos los peligros, aunque su probabilidad de ocurrencia sea muy baja. Además, resulta que, a pesar de la evolución de las técnicas, modelos y teorías, siguen existiendo discrepancias entre la predicción obtenida del cálculo y el comportamiento real de las estructuras de materiales térreos y de cimentaciones.

La investigación teórica y experimental que se realiza a escala mundial en Geotecnia, permite la evolución continua del conocimiento; sin embargo, lo complejo de la tarea hace que el avance sea lento y aún queda mucho por hacer.



II.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS.

El Objetivo de la Instrumentación es detectar oportunamente problemas o deficiencias en el comportamiento de estructuras térreas y su cimentación durante su construcción y operación posterior, para corregirlas oportunamente.

Obtener conocimientos que permitan mejorar el "estado del arte" en diseño y construcción geotécnica, reduciendo costos sin demérito de la seguridad de las obras que se construyan en el futuro.

La seguridad de una obra NO se incrementa o disminuye sólo por estar instrumentada. El Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), reconoce tres objetivos principales de la Instrumentación:

- *Conocer el comportamiento de las obras bajo las condiciones de carga normales y extraordinarias (sismos, grandes crecidas, precipitaciones intensas), con el fin de evaluar su seguridad.*
- *Detectar oportunamente problemas o deficiencias en el comportamiento de estructuras térreas y su cimentación durante su construcción y operación posterior, para corregirlas oportunamente.*
- *Obtener los conocimientos que permitan mejorar el "estado del arte" en diseño y construcción geotécnica, reduciendo costos sin demérito de la seguridad de las obras que se construyan en el futuro.*

Para tener una obra segura se requiere:

- *Un buen diseño de la estructura y su cimentación.*
- *Tener controles adecuados durante la construcción.*
- *Establecer un Control Regular del Comportamiento.*
- *Establecer un Control del estado de conservación y políticas adecuadas de operación.*
- *Contar con estrategias, organización y procedimientos para situaciones extraordinarias y casos de emergencia.*



En la siguiente tabla se muestra las medidas de seguridad que se deben de tener en la construcción de una presa.

Tabla 1. II.4 Seguridad en la Construcción de una presa.

S E G U R I D A D	DISEÑO	<ul style="list-style-type: none">• Actividad multidisciplinaria.• Requisitos y solicitudes del proyecto.• Condiciones del sitio.<ul style="list-style-type: none">• Geología• Hidrología• Sismo tectónica• Impacto ambiental• Materiales disponibles.
	CONTROLES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Verificaciones en obra:<ul style="list-style-type: none">• Propiedades físicas y mecánicas• Estabilidad• Geometría• Mediciones de control.• Modificaciones al diseño.• Condiciones imprevista.
	CONTROL REGULAR DEL COMPORTAMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• Mediciones instrumentales de Auscultación:<ul style="list-style-type: none">• Geotécnica• Geodésica• Sísmica• Estructural• Hidrométrica• Interpretación análisis y evaluación.• Trabajos preventivos o correctivos.
	CONTROL DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y POLITICAS DE OPERACIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Controles visuales de la presa y su entorno:<ul style="list-style-type: none">• Inspecciones periódicas• Verificación y ensayos de funcionamiento de compuertas y válvulas.• Cambio en las condiciones del embalse, cause y afluentes.
	ESTRATEGIAS EN CASO DE EMERGENCIA	<ul style="list-style-type: none">• Criterios de acción• Organización• Procedimientos• Infraestructura• Puesta a punto• Protección y resguardo

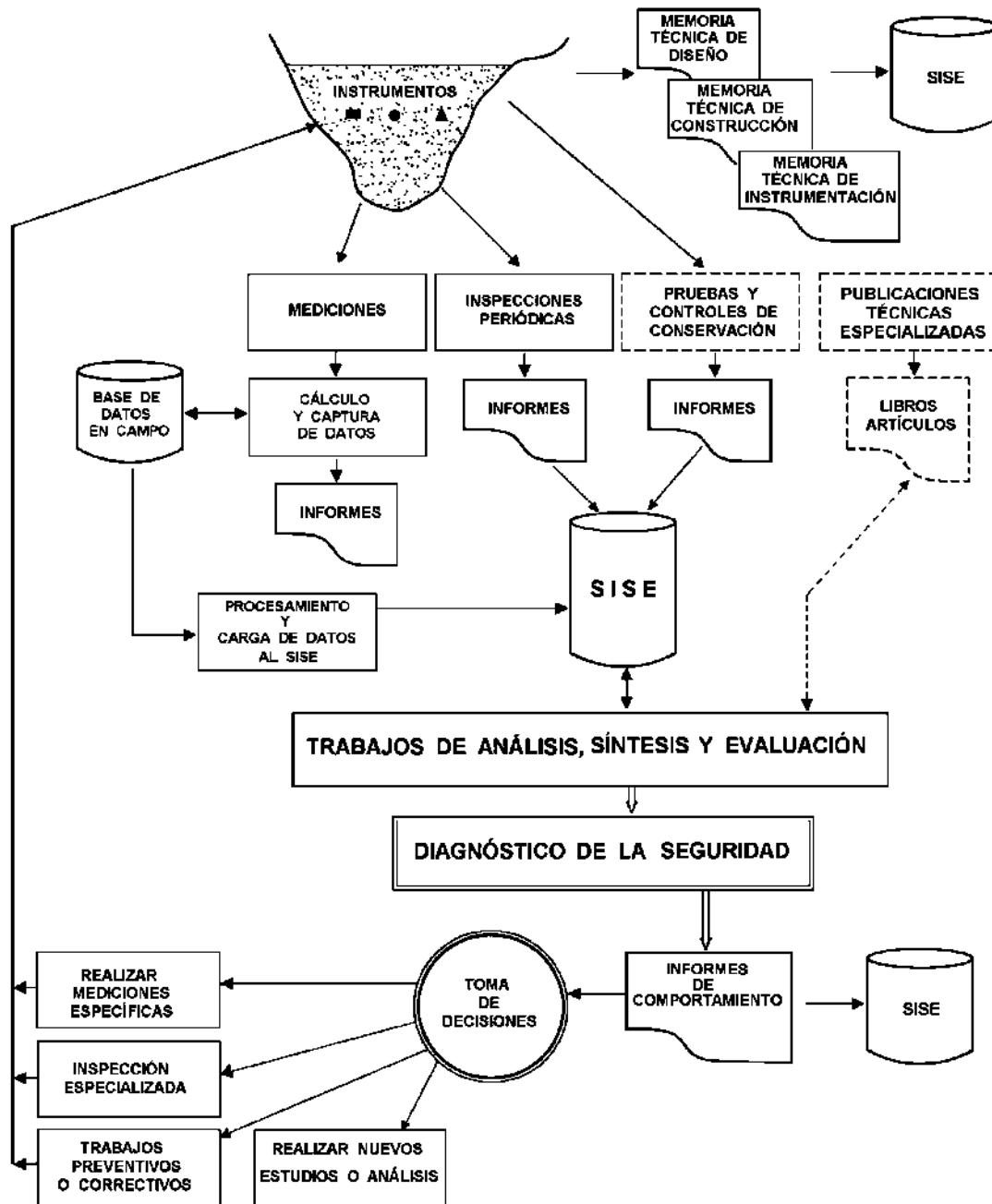


Fig.1. II.4 Control regulador del comportamiento.

La Instrumentación ha evolucionado a Sistemas de Auscultación, al incorporar técnicas especializadas de inspección, que complementan la información cuantitativa de las mediciones con el criterio y la experiencia del ingeniero que realiza la inspección, en un marco de políticas y estrategias de control de las obras.



Los Objetivos Particulares de un Sistema de Auscultación (SdA), se establecen para cada obra, y para cada instrumento, de acuerdo con:

- *Los factores que influyen en el comportamiento del tipo de obra.*
- *La geología de detalle del sitio y los Riesgos geológicos identificados.*
- *La topografía y la geometría de la obra.*
- *Los resultados de los análisis numéricos de las estructuras (Comportamiento "esperado").*
- *Los Riesgos sismotectónicos identificados en el entorno del proyecto.*
- *Los Riesgos hidrometeorológicos identificados para el proyecto.*
- *Las etapas constructivas y propiedades geotécnicas de los materiales de construcción.*
- *Los incidentes ocurridos durante la construcción y operación de la obra.*

Los Objetivos Particulares dan pauta al Diseño de los SdA para:

- *Conocer el valor, distribución espacial y evolución de las variables seleccionadas para evaluar el comportamiento de la obra y su entorno.*
- *Conocer el valor, evolución y cambios relevantes de las variables de carga que actúan sobre la estructura y su cimentación.*
- *Conocer los cambios de geometría, propiedades, etc., que ocurren en la estructura y su entorno por efecto del medio ambiente y del tiempo.*
- *Dar respuesta a las incertidumbres del diseño, verificar o descartar hipótesis, ajustar valores de propiedades y calibrar modelos numéricos.*
- *Hacer el seguimiento de anomalías para ayudar a implantar trabajos preventivos o correctivos, así como para evaluar la eficacia de éstos*

Los SdA en presas han evolucionado de la misma manera en que lo han hecho la geotecnia y la ingeniería de diseño de estas estructuras.

En los años cuarenta el diseño de las cortinas era empírico, predominaban las secciones "homogéneas" de alturas reducidas, no más de 50 m. No existía la instrumentación geotécnica y el comportamiento era evaluado mediante observaciones visuales de grietas, deformaciones y flujo de agua, a través del terraplén y de la

cimentación. Se medían asentamientos en la corona mediante topografía (Marsal, ICOLD 1982). Las incertidumbres estaban centradas en el flujo de agua a través de la cortina y la estabilidad de los taludes.

En el periodo 1940 - 1960 se requieren estructuras cada vez más altas y predominan las cortinas de materiales graduados y núcleo arcilloso, introduciendo el concepto de zonas protección y filtros con el surgimiento de la Mecánica de Suelos, las incógnitas se centraban en el comportamiento del esbelto núcleo, incluyendo el flujo de agua, y en la estabilidad y deformabilidad de la sección compuesta.

En este periodo surgieron los primeros instrumentos para medir movimientos internos de la masa del terraplén con los "Cross Arms" del USBurec, y presión de poro con piezómetros abiertos "Casagrande". Las incógnitas se centraban en el comportamiento del esbelto núcleo, la determinación de los esfuerzos efectivos, deformabilidad de la sección compuesta y el flujo de agua.

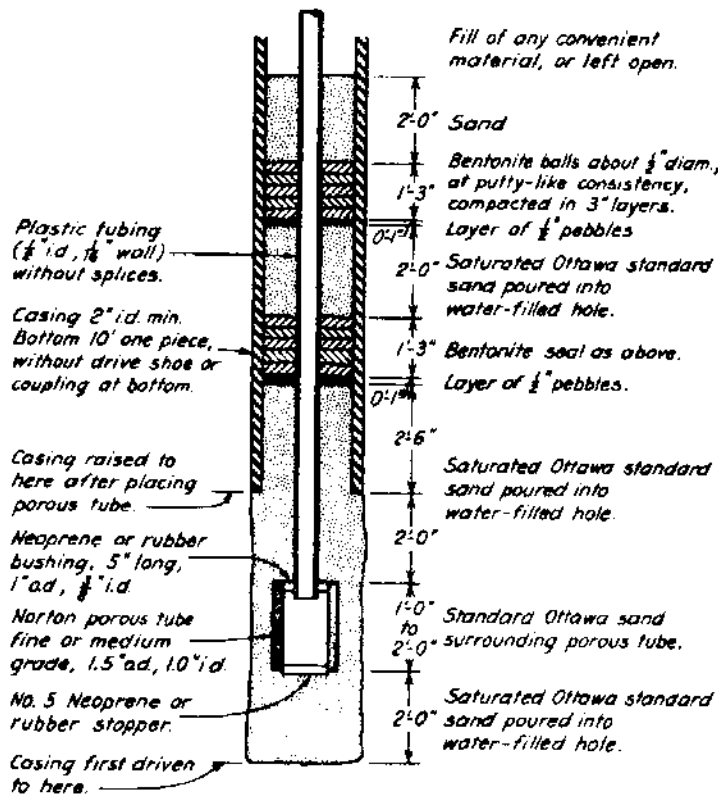


Fig.2. II.4
Piezómetro tipo
Casagrande.



A partir de 1960, con la construcción de las presas El Infiernillo y Malpaso, de más de 140 m de altura, en México se hace un esfuerzo real por monitorear el comportamiento de las cortinas, donde un grupo de ingenieros mexicanos encabezados por Marsal fueron pioneros en el desarrollo de instrumentos para medir deformaciones en el interior de las cortinas, extensómetros radiales, e instalando el recién concebido inclinómetro de Stanley D. Wilson.

En 1964 se desarrolló la celda de presión total y los dispositivos de asentamiento hidráulicos y fueron instalados en la presa La Villita y las posteriores. De manera que se buscaba conocer el estado de esfuerzos dentro de las cortinas y compararlo con los resultados del incipiente Método de Elementos Finitos. Eran los inicios del uso de la informática en la ingeniería geotécnica y fue posible la comparación de resultados medidos con los calculados.



II.5 HIPOTESÍS.

Los embalses constituyen una amenaza potencial a la vida y a la propiedad que sus aguas circundan. La zona de inundación bajo riesgo en el evento de una ruptura catastrófica puede ser extensa, densamente poblada y de gran importancia económica. En tales casos, la falla de la presa puede producir daños y una pérdida inaceptable de vidas.

Las fallas catastróficas de una presa pueden ser a causa de agentes externos o a mala operación, en estos casos los programas de instrumentación y monitoreo de presas nos permiten detectar de manera oportuna una deficiencia o comportamiento inadecuado de las estructuras que la conforman.

La instrumentación de una presa consiste básicamente en un arreglo de instrumentos colocados de manera estratégica en la fundación y cuerpo de la presa con la finalidad de proporcionar advertencias tempranas sobre posibles situaciones que pongan en riesgo la estabilidad de las diferentes estructuras que la conforman.



III. MARCO TEORÍCO.

La construcción de toda obra de Ingeniería civil produce un cambio en el campo de esfuerzos en el terreno, lo cual provoca una redistribución de esfuerzos y deformaciones. Por tanto, toda estructura que se desplanta en el terreno causa una interacción entre el terreno y la estructura.

El Ingeniero en la etapa de análisis y diseño de una obra cuenta con dos aliados; su experiencia y el poderío de los métodos numéricos de análisis. Sin embargo, las diferencias entre la teoría y la realidad son extremadamente complejas.

Por tanto, se requiere otro aliado, aquel que confirme los supuestos y las decisiones, que compruebe que el comportamiento real está en concordancia con las predicciones basadas en los criterios de diseño o que aporte los argumentos para introducir modificaciones o cambios importantes.

La demanda de datos observacionales, cada vez más confiables y precisos, ha dado como resultado el desarrollo de nuevos y mejores instrumentos, así como los procedimientos exigidos para el empleo de dichos instrumentos.

Los avances en el diseño de presas, tanto en los métodos de análisis y diseño, como en los procedimientos de construcción, tienen sus raíces en los datos aportados por la instrumentación instalada en las obras a escala real. A partir de los datos se logra entender la relación causa – efecto en un contexto específico.

Así mismo el desarrollo reciente de la tecnología de los sensores, la tecnología de la información y el análisis numérico permite el desarrollo de un ciclo automatizado de medición y predicción con base en el comportamiento observado. El ciclo consiste en un modelo predictivo, los datos del monitoreo de las obras y las técnicas de análisis inverso.



El diseño de la observación requiere especificar los materiales, aparatos, instrumentos y dispositivos que se necesitan, el personal que intervendrá y en qué consistirá su participación concreta, así como las precauciones que deban tomarse para no correr riesgos que sean previsibles evitar.



III.1 TIPOS DE PRESA.

La necesidad de construir una presa para almacenar agua o controlar los escurrimientos en un cauce o forzar la recarga artificial del acuífero a través de la infiltración profunda, es el primer factor para la selección, ya que esto inducirá que la obra no esté alejada de la población o del centro productivo que origina su construcción, incluso en el caso de la recarga de acuíferos, se trata del territorio de la cuenca en donde acontecen las actividades económicas y sociales que están ligas al agua y la presa. Otro factor de enorme importancia es que el sitio para construir la presa se situará en el cauce que aporta el agua a almacenar, controlar o infiltrar, y demandará tierras para inundación a fin de formar el almacenamiento que ocurrirá, en mayor o menor medida, al colocar la obra de contención atravesada en el cauce e impidiendo y controlando el volumen de escurrimiento en el tiempo.

Para construir la obra de contención de una presa, existen diversos tipos de cortina que pueden satisfacer los requerimientos del proyecto. La selección del tipo de cortina estará en función tanto de la viabilidad técnica y seguridad geotécnica, estructural e hidráulica que presenta cada tipo como la elección con base a la que ofrezca el mayor beneficio costo o mayor tasa interna de retorno, es decir, con base a un análisis financiero y económico (que incluye los aspectos sociales y ambientales) que se realice a una gama de posibles tipos de cortina que pueden ser seleccionados para un sitio dado.

En la siguiente tabla se muestra la metodología para seleccionar el sitio de la presa:

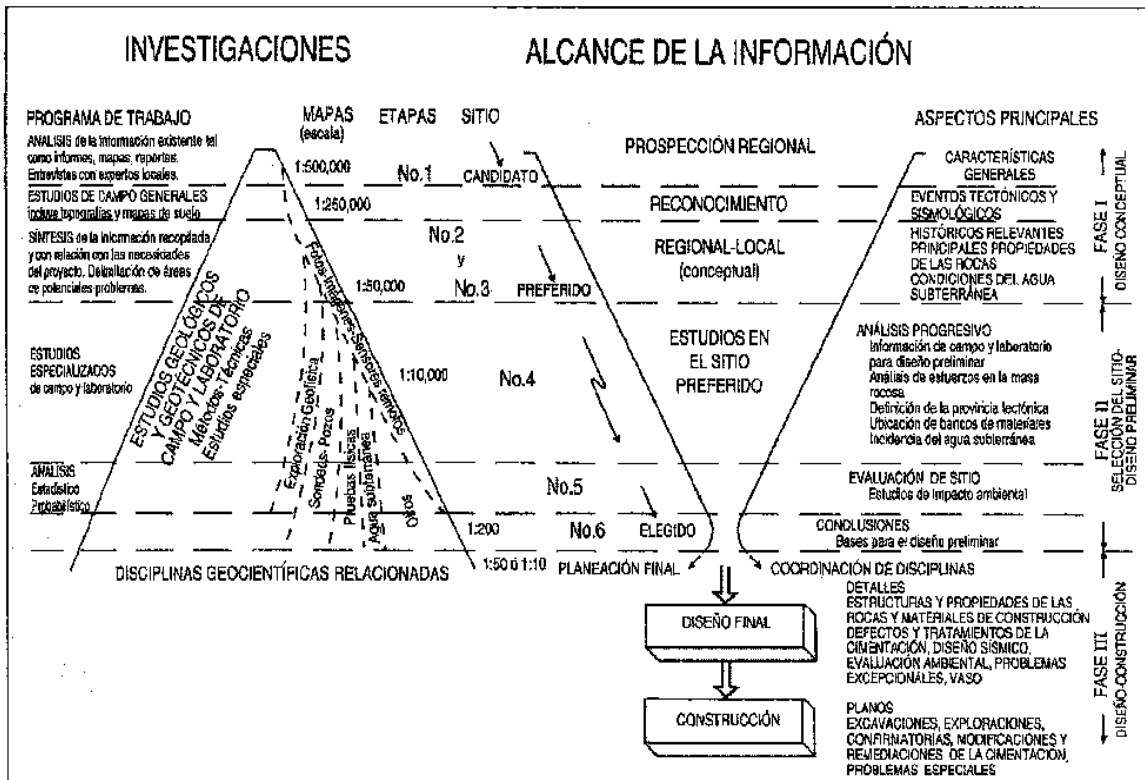
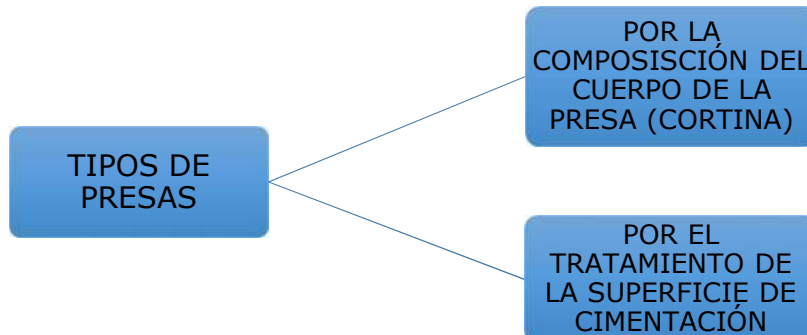


Tabla 1. III.1 Metodología para seleccionar el sitio de la presa.

Como se puede observar se muestra y describe una secuencia de evaluación comparación, progresivamente más detallada, para llevar a los sitios desde "candidatos" hasta "elegidos". Esta metodología se ha utilizado para la selección de sitios de proyectos de grandes presas sobre todo en los Estados Unidos.

Las presas pueden clasificarse en función de sus materiales de construcción que son dos grupos.

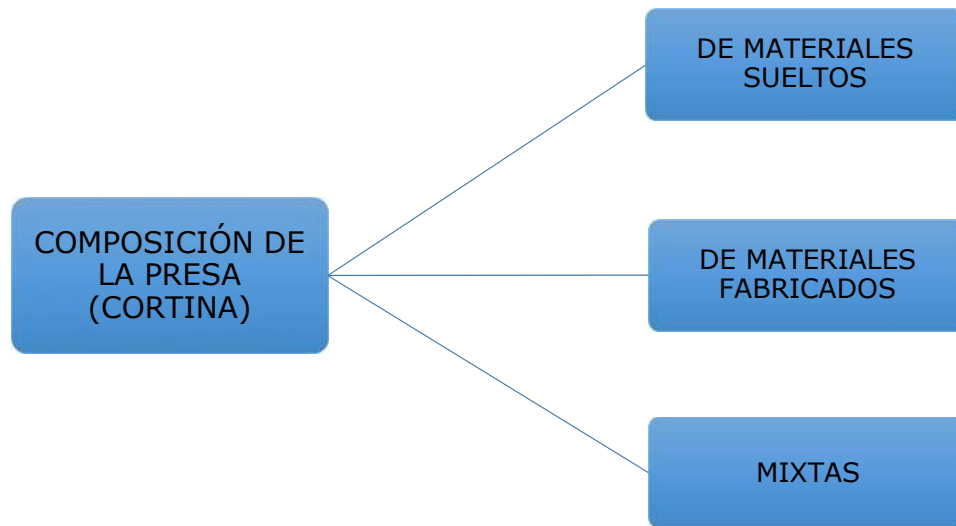
Esquema III.1
Tipos de Presas.





III.1.1 POR LA COMPOSICIÓN DEL CUERPO DE LA PRESA (CORTINA).

La composición del cuerpo de la presa a su vez se divide en tres grupos:

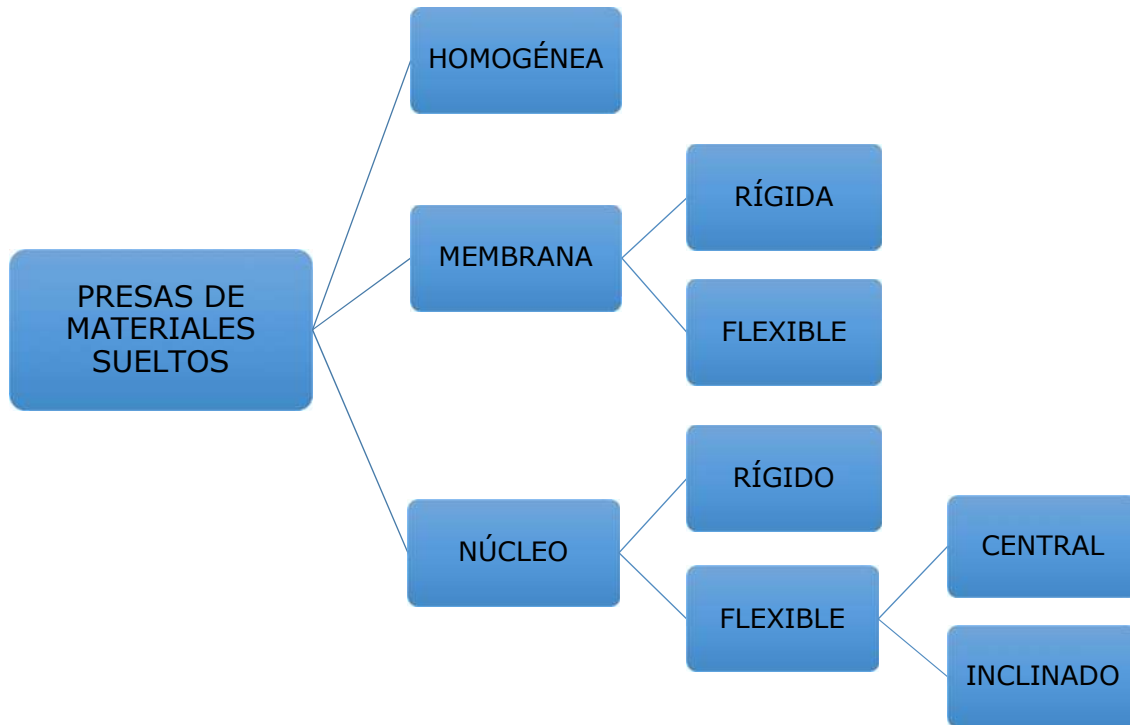


Esquema III.1.1 Composición de la cortina de la presa.

Existen una gran variedad de diseños algunos de ellos siguen los esquemas tradicionales y otros resultan novedosos. En todos los diseños el cuerpo de la cortina debe contar con dos funciones básicas que son impermeabilización y resistencia. La primera tiene por objeto impedir la filtración de agua a través de su cuerpo y la otra cumple con el fin de soportar los empujes del agua y otras cargas externas. La selección del tipo de cortina depende de varios factores de los cuales los más importantes son la disponibilidad de materiales, condiciones del terreno de la cimentación y procedimientos constructivos.

III.1.1.1 LAS PRESAS DE MATERIALES SUELTOS.

Su principal característica es el material utilizado para su construcción; en términos generales el cuerpo de la cortina se puede diseñar de las siguientes formas.



Esquema III.1.1.1 Presas de materiales sueltos.

III.1.1.1.1 SECCIÓN HOMOGÉNEA.

Este tipo de cortina se emplea cuando en el sitio de la presa se dispone de un solo material, generalmente cohesivo. El cuerpo de la cortina funciona como impermeabilizante a la vez. Es adecuada para cortinas de baja a mediana altura debido a que los taludes son tendidos y el volumen del material de construcción es cuantioso. La construcción es sencilla al no existir interferencia entre diferentes etapas de construcción, la trayectoria del flujo del agua es larga por lo que se simplifican procesos

de impermeabilización que se efectuaría en el terreno de la cimentación, así como se facilitan tratamientos de las laderas y contactos con estructuras de concreto.

Si la cortina está cimentada en sobre terrenos de baja permeabilidad y si no se introducen drenes adecuadamente dentro de la cortina, es posible que la línea de saturación sea elevada, afectando así la estabilidad interna de suelos en la salida de flujo de la cimentación o en la cara del talud aguas abajo. Durante la construcción del terraplén cuando se presenta un vaciado rápido del embalse, se genera exceso de presión de poro por la baja permeabilidad que tiene el material, la disipación de dicho exceso de presión de poro es lenta causando reducción en la resistencia al esfuerzo cortante y debilitando la estabilidad del talud.

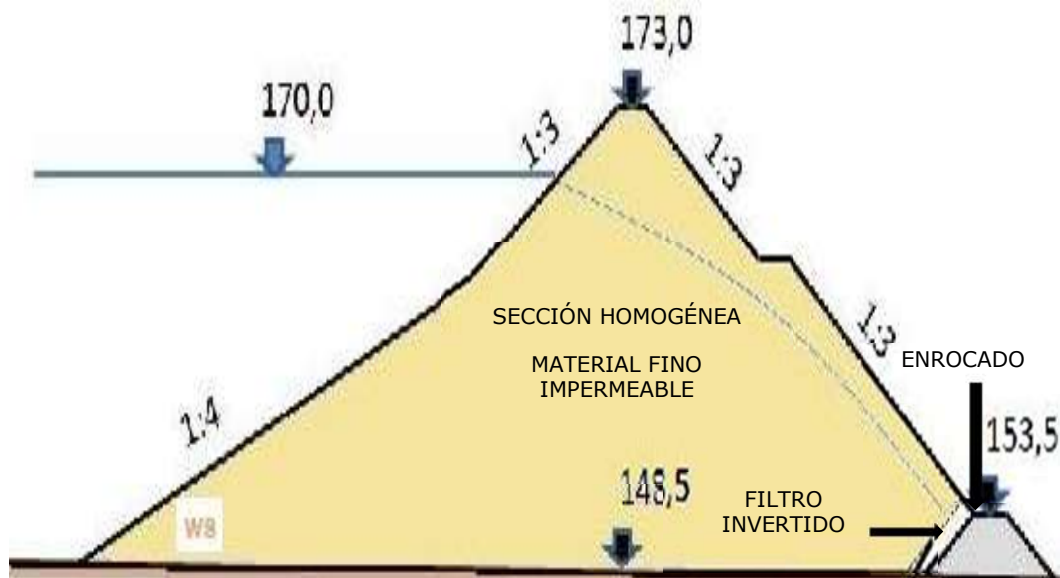


Fig.1. III.1.1.1.1 Sección homogénea.

III.1.1.1.2 CORTINA CON MEMBRANA.

Las cortinas con membrana se construyen principalmente con materiales permeables que sirven como cuerpo resistente, contando con membrana como elemento impermeabilizante. La membrana, que se utiliza aguas arriba de la cortina, puede ser rígida si es de concreto, mampostería o una mezcla de concreto y asfalto. La membrana también puede ser flexible si es de materiales arcilloso. Las cortinas de aluvión o de enrocamiento con cara de concreto es una forma de este tipo de cortinas, las que han recibido un mayor desarrollo en los últimos tiempos.

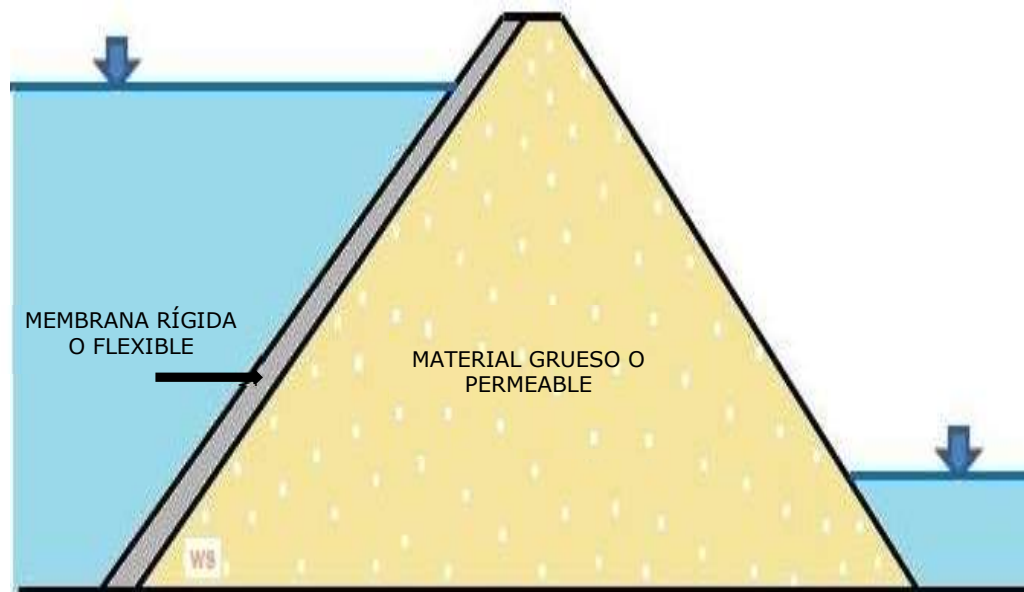


Fig.1. III.1.1.1.2 Cortina con membrana.

III.1.1.1.3 CORTINA CON NÚCLEO.

Las cortinas con núcleo se constituyen principalmente con materiales permeables con cuerpo resistente. La impermeabilización se resuelve por uso de núcleos que son elementos insertados dentro del cuerpo de la cortina.

Con respecto al **núcleo central**, son rígidos si son de mampostería, concreto ciclópeo, concreto reforzado o concreto asfáltico. Al quedarse el núcleo en el centro y protegido simétricamente por los respaldos, los esfuerzos verticales generados por el peso propio del núcleo se transmiten al terreno de la cimentación independiente de los asentamientos que pueden sufrir los respaldos. Por la alta presión de contacto que existe en el núcleo y el terreno de la cimentación, la adherencia entre ambos proporciona una buena resistencia a la filtración a lo largo de su área de contacto.

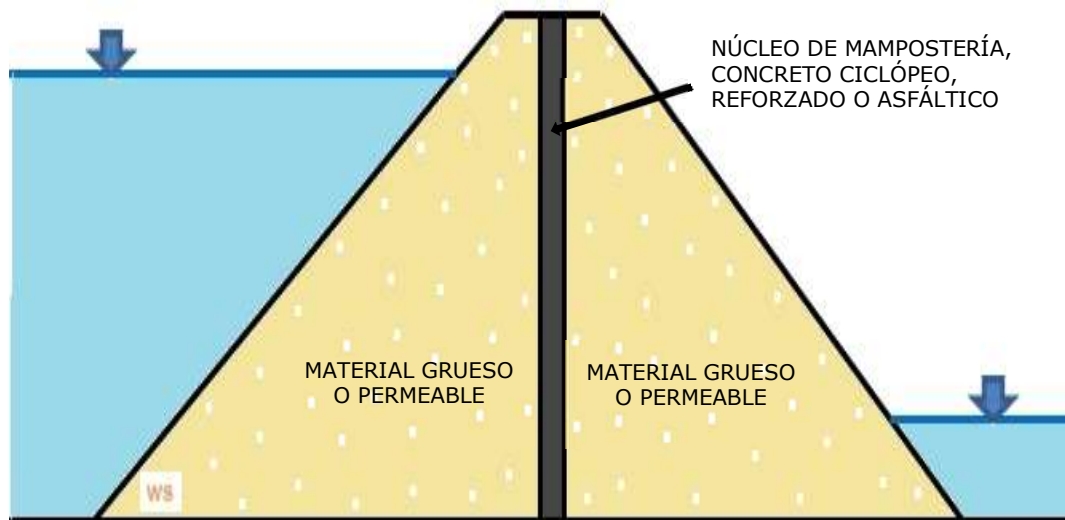


Fig.1. III.1.1.1.3 Cortina con núcleo.

Los **núcleos flexibles** son arcillosos que pueden ser centrales o inclinados, siendo colocados estos al lado aguas arriba. Los respaldos se forman con enrocamientos, gravas y arenas, sosteniendo el núcleo y garantizando la estabilidad de la cortina. El ancho del núcleo debe cumplir con el requisito de impermeabilización y debe estar en contacto con los respaldos a través de filtros. Es conveniente este tipo de cortina si se

dispone de materiales granulares. La construcción es rápida al poder programar simultáneamente las paredes de aguas arriba y aguas abajo.

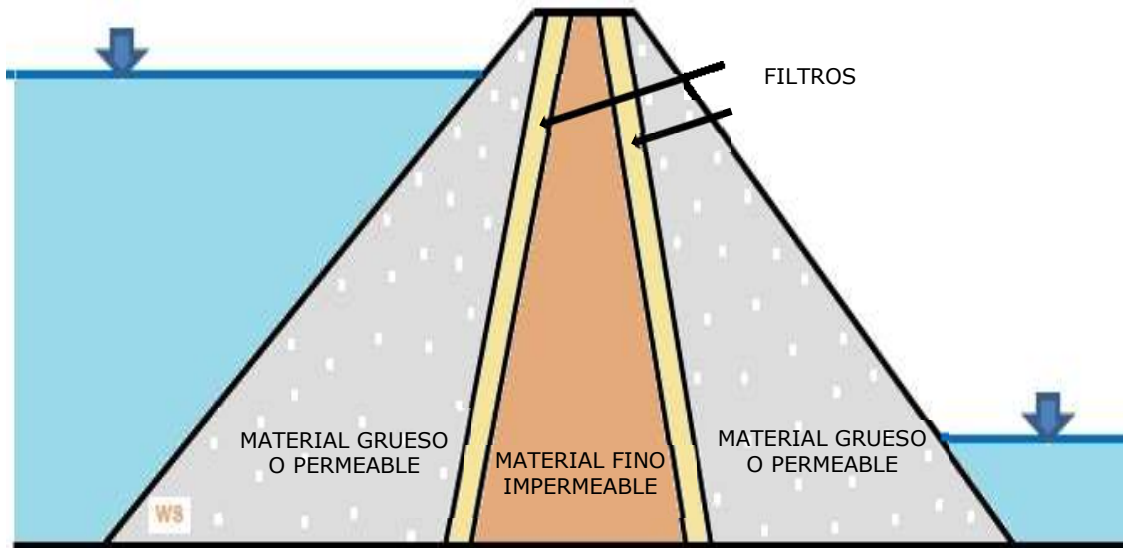


Fig.2. III.1.1.1.3 Cortina con núcleo flexible central.

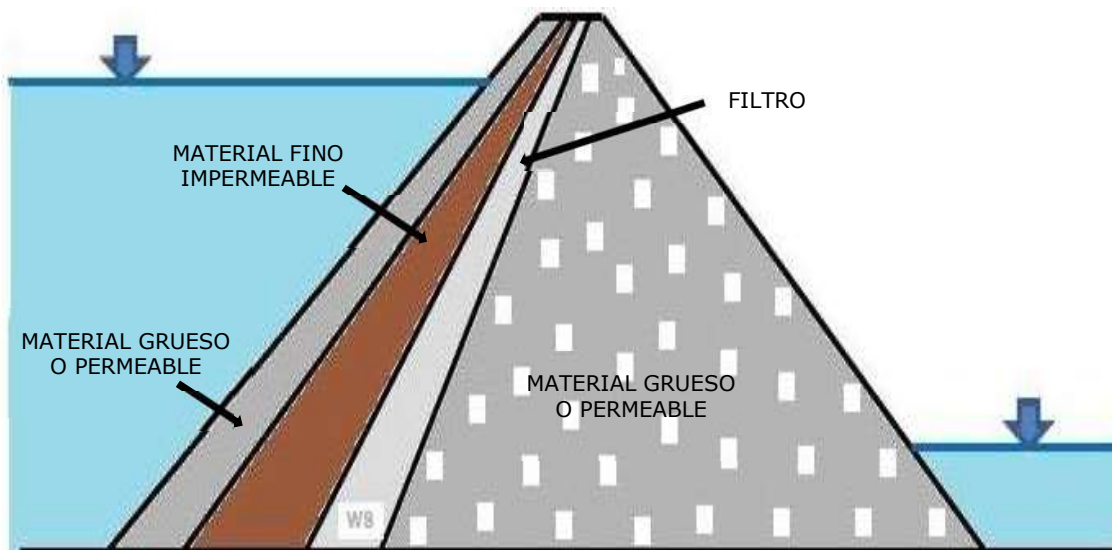
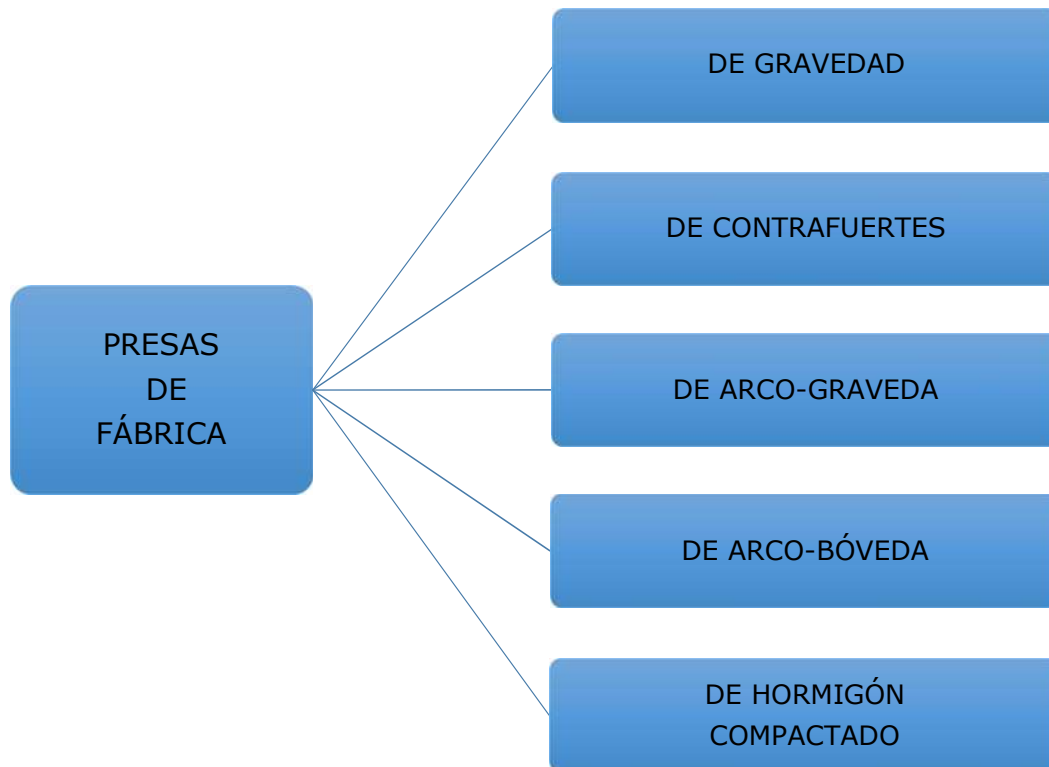


Fig.3 III.1.1.1.3 Cortina con núcleo flexible inclinado.



III.1.1.2 LAS PRESAS DE FÁBRICA.

Las presas de fábrica son todas, actualmente, de hormigón y pueden adoptar distinta geometría dependiendo del terreno de cimentación y morfología de la cerrada, los tipos más importantes son los que se muestran en el siguiente esquema:



Esquema. III.1.1.2 Tipos de presas de fábrica.

III.1.1.2.1 PRESA DE GRAVEDAD.

Su sección transversal es resistente por sí sola sin colaboración mecánica de los estribos del valle. Requieren, en general, mayor volumen de hormigón en comparación de otras presas de hormigón. Precisan un terreno de cimentación resistente, formado por un sustrato rocoso a poca profundidad.

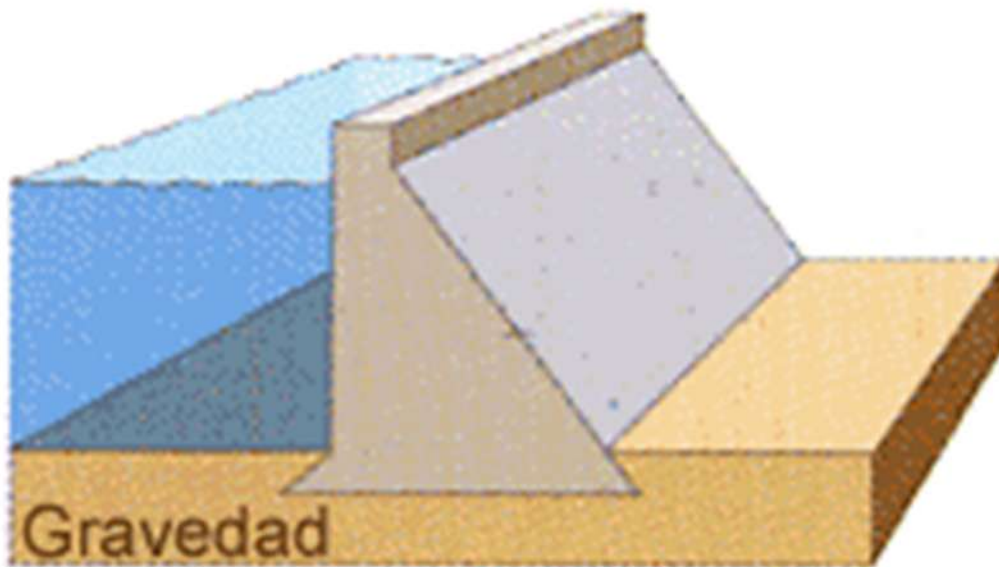


Fig.1. III.1.1.2.1 Presa de gravedad.



Foto 1. III.1.1.2.1
Presa Bhakra, sobre el
río Sutlej, cerca de la
frontera entre Punjab y
Himachal Pradesh,
India.

III.1.1.2.2 PRESA DE CONTRAFUERTES.

Son presas de gravedad aligeradas formadas por elementos estructurales transversales a la sección, o contrafuertes, con objeto de reducir volumen de obra de fábrica y de disminuir subpresiones, entre otros fines. Requieren terreno de cimentación muy resistente, concentrándose las cargas en los apoyos de los citados contrafuertes. Generalmente se sitúan en valles amplios y de poca altura.

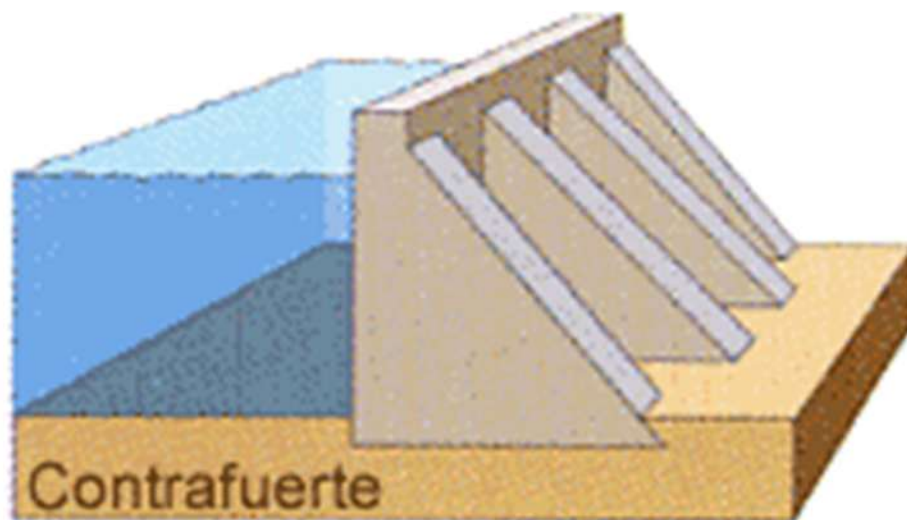


Fig.1. III.1.1.2.2 Presa de contrafuertes.

Foto 1. III.1.1.2.2
Presa Pueblo, sobre río
Arkansas ubicada a 6
millas al oeste de
Pueblo, Colorado (EE.
UU.).



III.1.1.2.3 PRESA DE ARCO-GRAVEDAD.

Para reducir la sección de las presas de gravedad se dispone su planta en arco, con objeto de transferir parte de las cargas a los estribos (apoyos laterales de la presa sobre las márgenes de la cerrada).

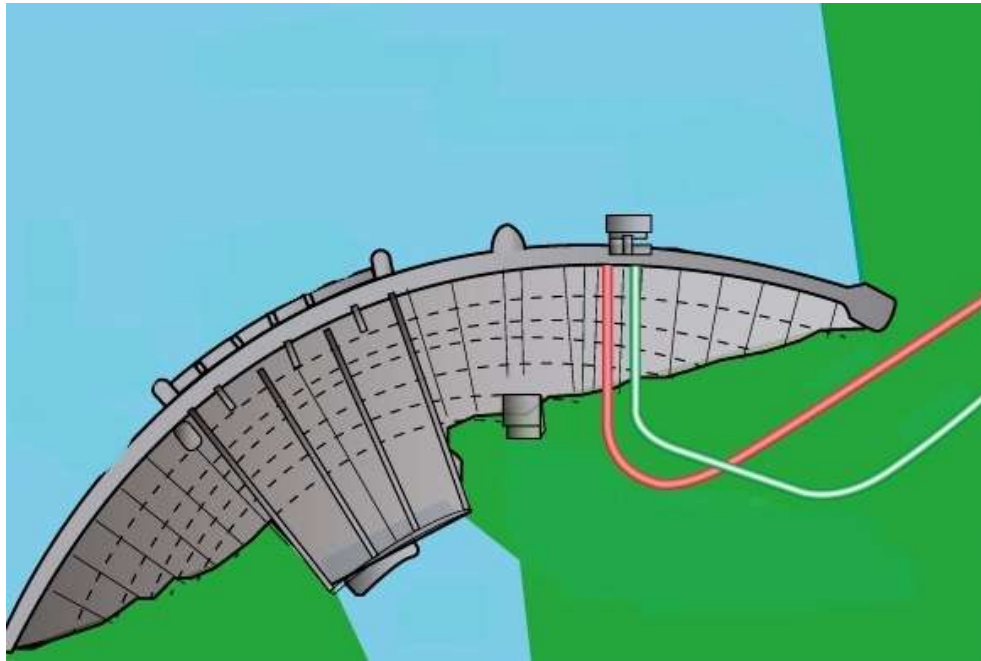


Fig.1. III.1.1.2.3 Presa de arco-gravedad.



Foto 1. III.1.1.2.3
Presa Hoover, ubicada en el río Colorado entre la frontera de los estados de Arizona y Nevada (EE. UU.)

III.1.1.2.4 PRESA ARCO-BÓVEDA.

Constituyen las de mayor complejidad de diseño análisis y construcción, pues se trata de estructuras muy esbeltas, de planta y sección curvas, en que se aprovecha la alta resistencia del terreno de cimentación para disminuir notablemente el volumen de hormigón. Las condiciones de deformación del sustrato rocoso en la cerrada deben ser compatibles con las previsiones de deformación de la presa. Las presas de arco-bóveda se caracterizan por transmitir los empujes a los estribos; no solo precisan de un terreno de cimentación altamente resistente, sino que la orientación y resistencia de las discontinuidades sea la necesaria para asegurar la estabilidad de los estribos. Pueden alcanzar alturas muy elevadas y son características de valles estrechos.

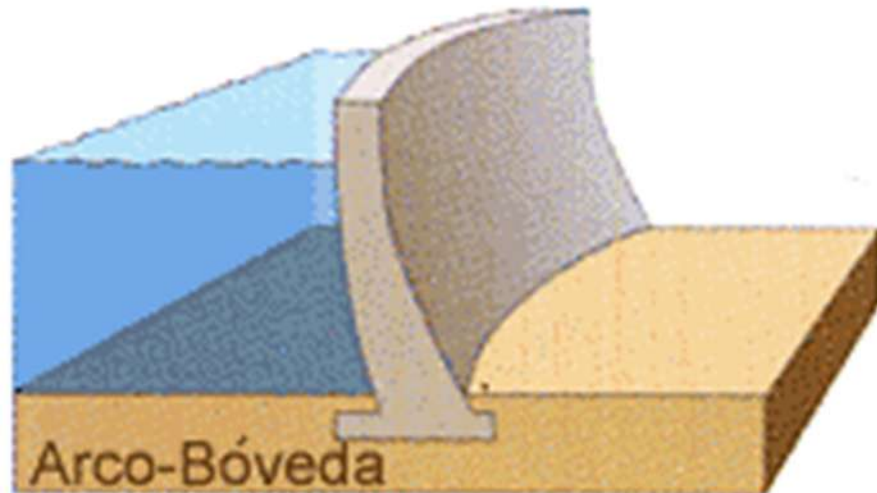


Fig.1. III.1.1.2.4
Presa de arco-
bóveda.



Foto 1. III.1.1.2.4
Presa Zimapán, ubicada en el cañón del Infiernillo en el río Moctezuma, en los límites de los mpios. de Zimapán, Hdo. y Cadereyta, Qro.

III.1.1.2.5 PRESA DE HORMIGÓN COMPACTADO.

En los últimos veinte años se ha desarrollado considerablemente la técnica compactado con rodillos (CCR), que consiste en construir la presa con los equipos y técnicas de los materiales sueltos. El hormigón se coloca en capas de espesor variable alrededor de 30 cm, extendidas con palas y compactadas con rodillos vibradores. Las presas de hormigón compactado se comportan en general, como las de gravedad, aunque se le puede atribuir un efecto arco a través de una geometría curva.



Foto 1. III.1.1.2.5 Presa Longtan ubicada en el río Hongshui en China, altura de 216.5 m, longitud de 849 m y un volumen de 7.67 millones de m³.

III.1.1.3 PRESAS MIXTAS.

Este tipo de presas están compuestas por las presas de materiales graduados y las de fábrica, las cuales se combinan ya sea los taludes de materiales graduados y el vertedor de concreto.



Foto 1. III.1.1.3
Presa contrafuerte y
vertedor de hormigón
de gravedad en el
vertedero.

Foto 2. III.1.1.3
Presa de Materiales
graduados a los lados y
de hormigón de
gravedad en el
vertedero.



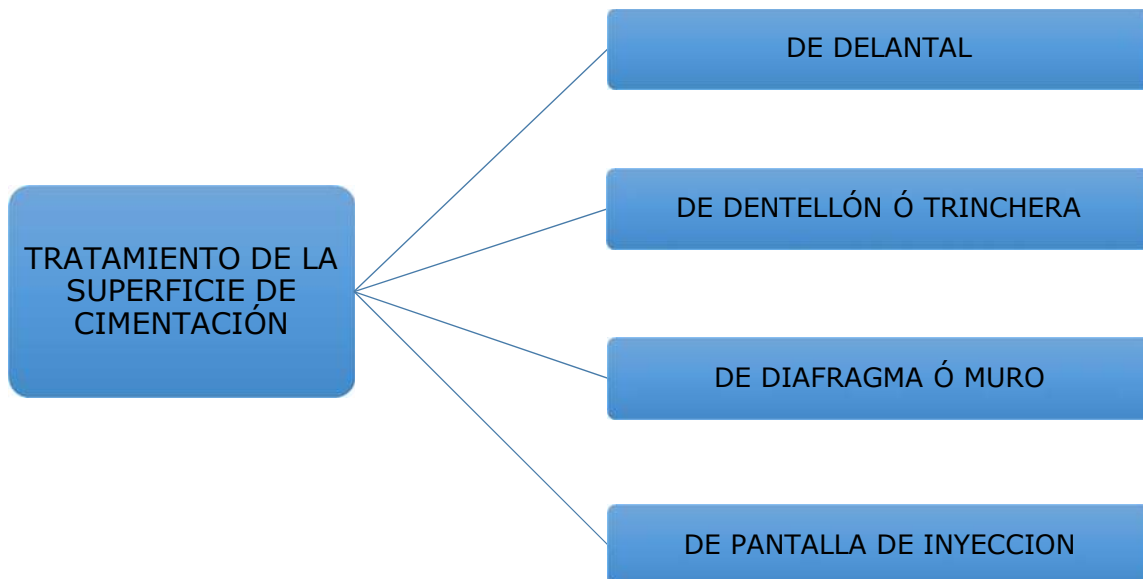


III.1.2 POR EL TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE CIMENTACIÓN.

El tratamiento de la superficie de contacto, consiste en prolongar el apoyo de la presa, habitualmente su núcleo, hasta encontrar un macizo resistente y de baja permeabilidad.

Si en el sitio de la construcción de la presa se halla una cimentación rocosa, el tratamiento del terreno requiere poco trabajo. El trabajo que se hace con mayor frecuencia es de inyecciones si la cimentación es de roca altamente fracturada.

Si el terreno es permeable, es necesario diseñar el tipo de tratamiento que se tiene que emplear para reducir el flujo del agua a través de la cimentación. Se dispone por lo general de cuatro tipos de tratamiento que son:



Esquema III.1.2 Tratamiento de la superficie de cimentación en las presas.

III.1.2.1 DELANTAL.

El delantal es una capa de arcilla que se coloca en el fondo del baso que de hecho es una prolongación del cuerpo impermeable de la cortina. Es adecuado para cortinas de sección homogénea, con núcleo o membrana.

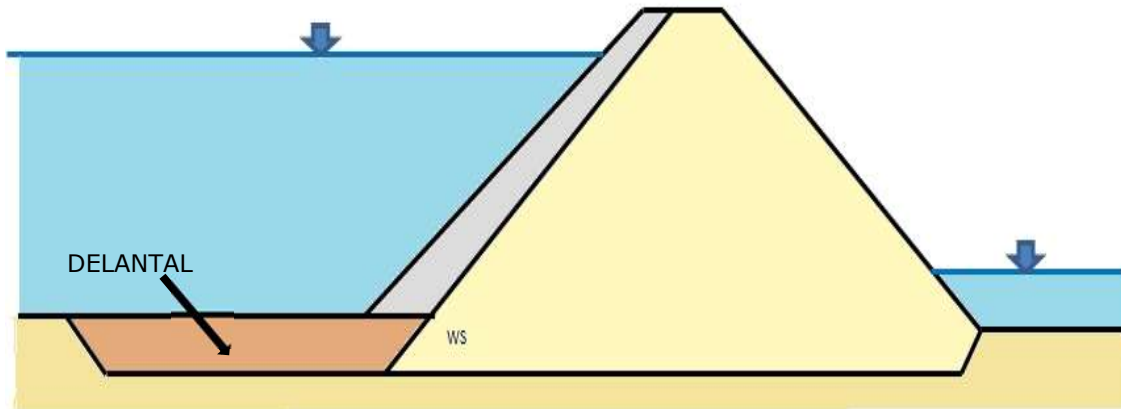


Fig.1. III.1.2.1 Tratamiento de la superficie de cimentación con delantal.

III.1.2.2 DENTELLÓN O TRINCHERA.

El dentellón es de material arcilloso compactado que por lo general es el mismo que se usa para construir secciones homogéneas, núcleo flexible o membrana flexible.

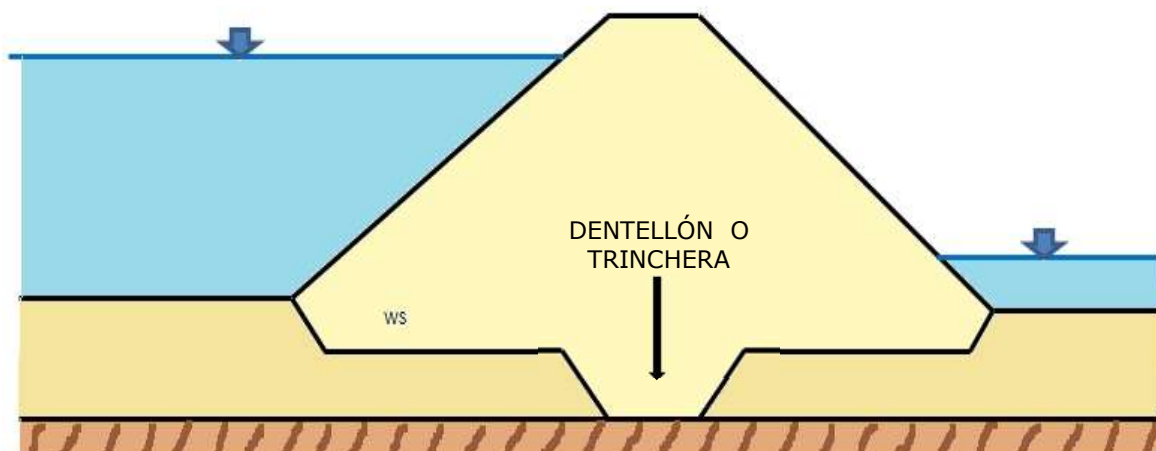


Fig.1. III.1.2.2 Tratamiento de la superficie de cimentación con dentellón o trinchera.

III.1.2.3 DIAFRAGMA O MURO.

El muro es un elemento rígido cuya forma típica es de pilotes, paneles de concreto o combinación de ellos, para interceptar las filtraciones por debajo de la presa; estos muros pueden ser continuos o rellenos de hormigón, arcilla, bentonita-cemento, etc., o bien inyecciones convencionales con mezclas de cementos, resinas, geles, etc.

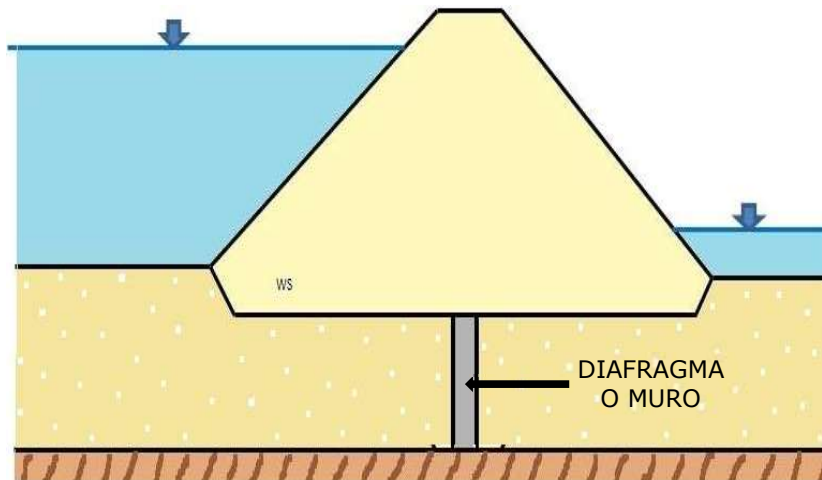


Fig.1. III.1.2.3
Tratamiento de la
superficie de
cimentación con
diafragma o
muro.

III.1.2.4 PANTALLA DE INYECCIONES.

Es un elemento flexible que constituye el procedimiento más empleado en el tratamiento de la cimentación de presas y consiste en introducir fluidos (que solidifican rápidamente) a través de fisuras, huecos o discontinuidades de los macizos rocosos, mediante la perforación de taladros e inyecciones de fluido a cierta presión.

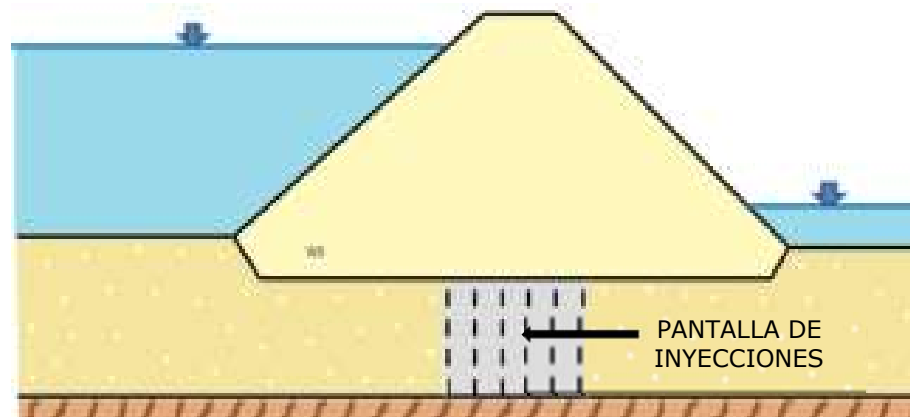


Fig.1. III.1.2.4
Tratamiento de la
superficie de
cimentación con
pantalla de
inyecciones.

Las presas a su vez se pueden construir combinando la estructura de la cortina y el tipo de cimentación.

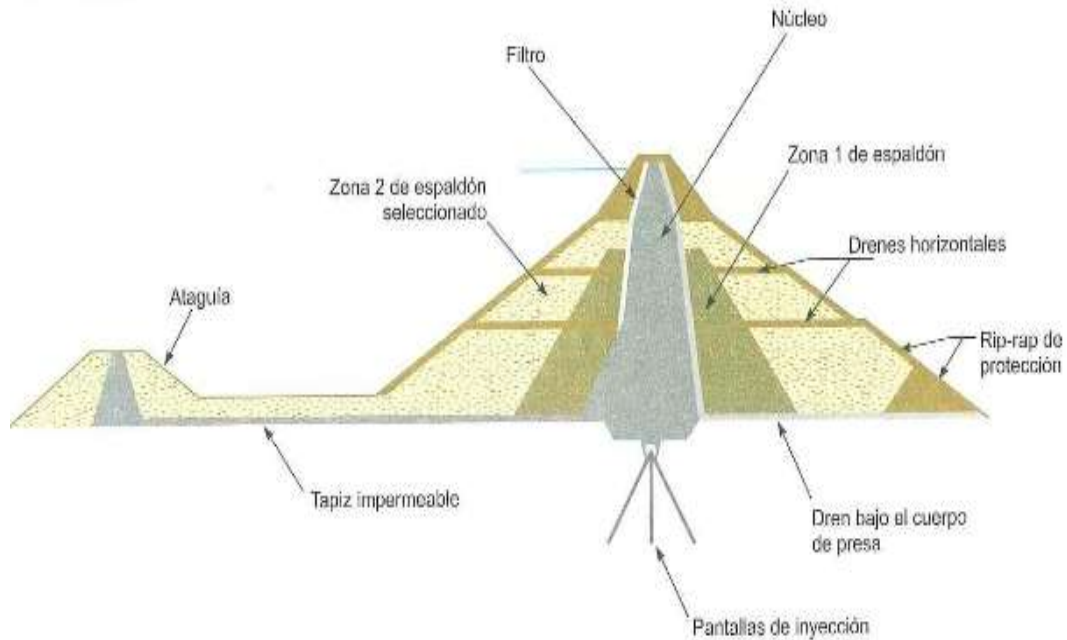


Fig.2. III.1.2.4 Combinación de la estructura de la cortina y el tipo de cimentación.

Cortina de núcleo flexible central y con una cimentación de delantal y pantalla de inyecciones

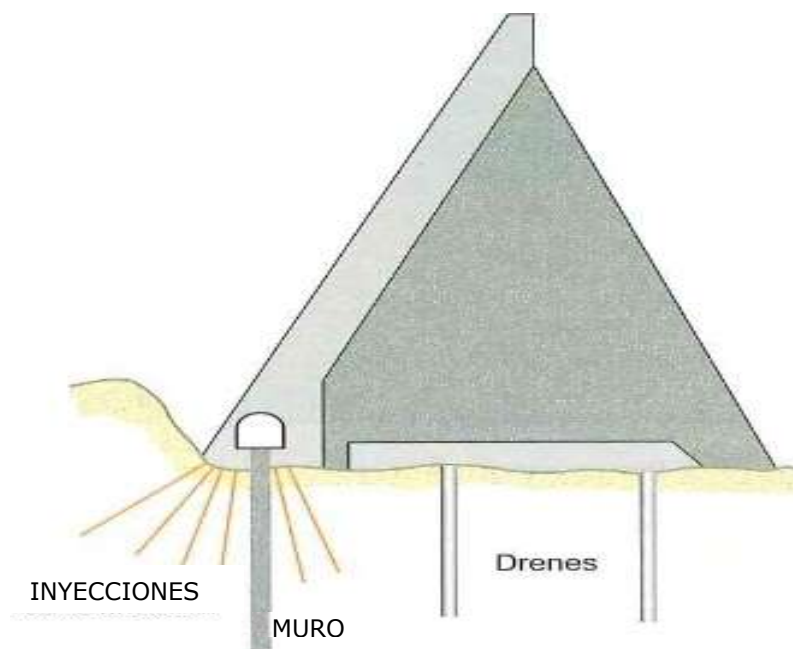


Fig.3. III.1.2.4
Presa contrafuerte con
cimentación de muro e
inyecciones.



III.2 INSTRUMENTACIÓN EN PRESAS.

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha tenido la necesidad de cuantificar las cosas, especialmente si eran necesarios para su supervivencia, y se dieron las interrogantes: ¿qué tan lejos es?, ¿qué tan grande es?, ¿qué tan pesado es?, o ¿cuánto se ha desplazado?, entre otras preguntas. En la actualidad debido a la aparición de nuevas necesidades para cumplir con los requerimientos de la sociedad se han construido grandes obras como, por ejemplo: presas de relaves y PAD de lixiviación para minería, presas de agua, entre otras. Que por su importancia deben ser monitoreadas, en ellas también se deben satisfacer las mismas preguntas básicas, es allí donde la instrumentación geotécnica juega un papel importante proporcionando información útil para mantener márgenes de seguridad en la operación de estas obras.

La ingeniería civil como toda disciplina científica, desarrolla sus principios básicos de diseño en hipótesis que permiten simplificar el análisis de los fenómenos físicos estudiados. En este sentido, nuestra disciplina, la geotecnia, estudia el comportamiento físico mecánico de los suelos y rocas, simplificando su análisis como si estos materiales fuesen medios continuos.

Las presas y sus estructuras se instrumentan, primordialmente, para detectar problemas específicos que puedan ocurrir dada las características de la cimentación, las laderas del sitio y materiales que las constituyen. Dependiendo de las cargas actuantes, las características geométricas de las estructuras suelen cambiar lentamente y, para una observación a simple vista, pueden ser imperceptibles. De ahí la necesidad de emplear instrumentación de diferente tipo que permita un monitoreo continuo; por ejemplo, el desplazamiento que puede medirse a partir de una referencia de origen. Otros parámetros, también importantes que debe medirse en un cuerpo de materiales graduados, es la presión que se genera tanto por el peso propio del material como por el generado por la interacción del agua, sobre todo cuando los niveles de ésta cambian rápidamente.

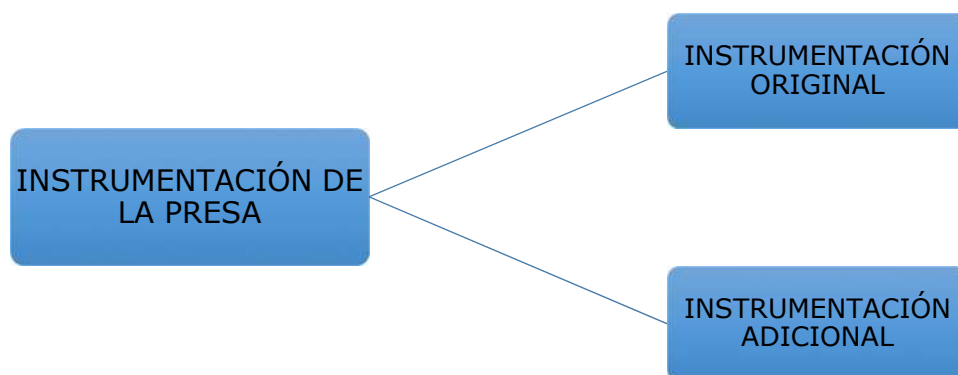


La observación en in-situ permite obtener información para introducir datos nuevos que enriquezcan los modelos matemáticos predictivos. Por otro lado, una observación frecuente y detallada del comportamiento estructural permitirá tomar decisiones oportunas encaminadas a la operación segura de una presa.

Este monitoreo hace posible la interpretación integral de un conjunto histórico de datos que reflejan las condiciones de las estructuras, con lo que se estará en posibilidad de conocer el origen de fallas, fracturas, agrietamientos, cizallamientos, deformaciones verticales o hundimientos y deformaciones laterales o flexionantes.

Por lo anterior, esta observación metódica sirve para conocer el comportamiento estructural durante el proceso de construcción: primer llenado y posteriormente en su operación, desde el punto de vista de geometría, deformaciones, esfuerzos, presiones, caudales, etc.

La instrumentación en una presa se puede clasificar en dos categorías:



Esquema III.2 Instrumentación de presas.



La **Instrumentación original** es la planeada e instalada para monitorear el comportamiento y la seguridad estructural, y la **Instrumentación adicional** es la instalada durante modificaciones de sección y/o altura de la cortina o para investigar problemas específicos.

La revisión de los datos de instrumentación de una presa sirve para obtener información que puede emplearse en el análisis de estabilidad, o bien, para verificar los resultados del análisis mediante la comparación de respuestas calculadas y medidas. Por ejemplo: suele usarse los datos piezométricos en análisis estadísticos de estabilidad de taludes, los datos de movimientos sísmicos para realizar análisis dinámicos de estabilidad o de licuación potencial, etc.

El tipo, número o localización de los instrumentos en el cuerpo de la presa y su cimentación varía considerablemente de un proyecto a otro. En general, se tiene necesidad de aumentar la instrumentación en presas con estratos débiles en su cimentación, o conforme aumenta la altura de la presa. Entre los instrumentos que se usan con más frecuencia están: testigos superficiales y de cimentación, piezómetros abiertos y neumáticos, inclinómetros, testigos hidráulicos, celdas de presión y acelerógrafos.

Con frecuencia, las fallas rápidas, en presas están precedidas por un periodo de movimientos lentos. Esto justifica revisar los datos de instrumentación periódicamente para reconocer un problema de estabilidad en las primeras etapas de su evolución, efectuar los estudios y análisis necesarios e implementar las medidas correctivas requeridas.

Algunos indicadores de inestabilidad estática son:

- *Grietas longitudinales en la corona o taludes.*
- *Los puntos de testigos superficiales indican movimientos.*
- *La instrumentación interna señala presiones de poro excesivas en la cortina y/o cimentación, entre otros.*



III.3 TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN.

El objetivo fundamental de un sistema de instrumentación es conocer de manera confiable y de forma cuantitativa el comportamiento de la presa durante su construcción, su vida útil o cuando se presente un evento extraordinario a la misma. La información obtenida debe permitir comprobar que durante la etapa de construcción se esté alcanzando la calidad supuesta del diseño también, sea el que verdaderamente ocurra. Cuando alguna de las dos condiciones anteriormente mencionadas no se esté cumpliendo, la información obtenida en la instrumentación debe ayudar y ser el fundamento de las medidas de remediación que sean necesarias.

La instrumentación está en función del diseño de la presa, su finalidad, las condiciones de su cimentación y el material utilizado para su construcción. Un programa muy sofisticado de instrumentación no siempre es el más recomendable para alcanzar los objetivos planeados.

Aunque los primeros instrumentos de medición para presas se hicieron como producto de la investigación de centros públicos o privados, en la actualidad esta rama de la Ingeniería se ha comercializado de manera tal que en la actualidad es posible obtener en el mercado la mayor parte, sino es que toda, de los equipos requeridos en un sistema de instrumentación para una presa. En los casos en donde el tipo y las condiciones de medición no son compatibles con los equipos comercialmente disponibles, es necesario que se fabrique uno nuevo o se adapte alguno existente de modo que cubra las necesidades de medición.

Debe de considerarse, sin embargo, que independientemente del equipo seleccionado, la característica principal que debe tener cualquier instrumento de medición es la confiabilidad, es decir que debe proporcionar información veraz con la seguridad de que dicho equipo funciona bien, por lo que la siguiente característica que debe poseer es la máxima simplicidad de funcionamiento.



Los tipos de instrumentos que se utilizan en las presas son:



Esquema III.3 Tipos de instrumentos utilizados en la auscultación de presas.



III.3.1 INSTRUMENTOS PARA MEDIR NIVELES DE PRESIÓN DE AGUA.

Conocer la variación del estado de los esfuerzos en el interior de una masa de suelo, se trate de un relleno artificial o natural, resulta imprescindible para el análisis de su estabilidad estructural.

Particular mente en obras hidráulicas formadas con rellenos artificiales, es importante conocer la variación de las presiones en la tierra y las presiones de poro en las etapas de construcción, en el primer llenado del embalse y en la operación.

Durante le construcción de una cortina de tierra o enrocamiento, se desarrollan presiones de poro en la cimentación, en el corazón impermeable y en las zonas semipermeables a medida que la altura del terraplén se incrementa. La medición de las presiones de poro mediante piezómetros permite, por una parte, tomar decisiones sobre la velocidad de la construcción a fin de controlar dichas presiones a valores límites establecidos, según los criterios de diseño, y por otra, juzgar la efectividad de las obras de drenaje y de control de flujo de agua planeadas.

Las aplicaciones de los piezómetros se pueden ubicar en dos categorías:

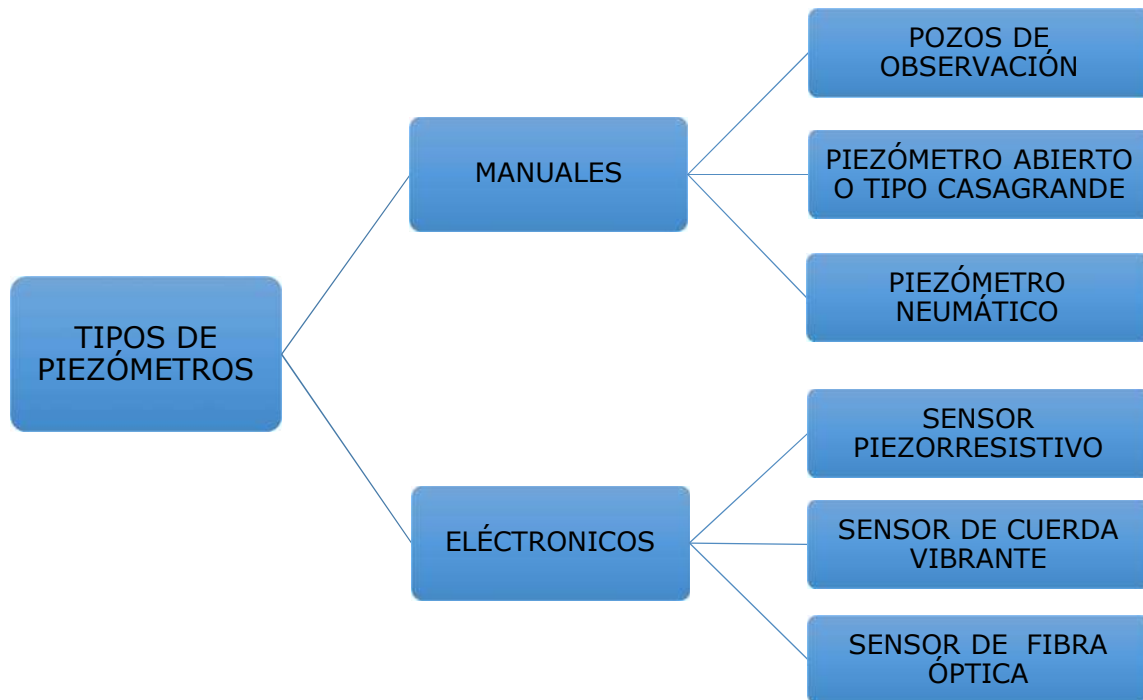
- *Problemas relacionados con el flujo del agua.*
- *Problemas de resistencia al esfuerzo cortante del suelo.*

En la primera categoría, se pueden mencionar las condiciones Hidráulicas iniciales (antes de la construcción), la determinación de la magnitud y distribución de la presión de poro y de sus variaciones con el tiempo (patrón de flujo de agua), efectividad de drenes, pozos de alivio y pantalla impermeables.

La segunda categoría se refiere a los problemas de valoración de la resistencia al esfuerzo cortante: disipación de la presión de poro generada durante la construcción,

disipación de la presión de poro durante la consolidación de la cimentación y materiales de relleno, así como el efecto de un vaciado rápido.

Los instrumentos que se utilizan para medir niveles y presión de agua se denominan piezómetros, los cuales se clasifican como se observa en el esquema.



Esquema III.3.1 Tipos de piezómetros.



III.3.1.1 PIEZÓMETROS MANUALES.

Son aquellos instrumentos en los que las tomas de las lecturas registradas se hacen manual mente ya que no están diseñados para mandar la señal electrónicamente.

III.3.1.1.1 POZO DE OBSERVACIÓN.

Consiste en una sección de tubo ranurada llamado bulbo, unido a otras secciones de tubo que suben hasta la superficie, instalados en un barreno que se rellena con arena. En la superficie se construye un tapón, generalmente con mortero de cemento para evitar que agua superficial entre al barreno y el nivel de agua se determina utilizando una sonda eléctrica. La sonda eléctrica consiste en una barra delgada de plomo unida a la punta de un cable dúplex acotado, que al entrar en contacto con el agua cierra un circuito eléctrico, lo que se detecta desde el exterior por medio de un amperímetro, un foco o un timbre, pudiendo medir la profundidad del agua en el tubo. Los pozos de observación se utilizan para medir los niveles de aguas friáticos del terreno, pero pueden crear una conexión vertical indeseable entre estratos, drenando mantos colgados o conectados acuíferos a presión, por lo que las mediciones pudieran ser poco significativas.

III.3.1.1.2 PIEZÓMETRO ABIERTO.

Un piezómetro abierto es similar a los pozos de absorción, excepto que se forma de una cámara piezométrica sellando el barreno a una cierta altura del bulbo. El sello debe ser efectivo para garantizar que el instrumento sólo responda al nivel o presión de agua en la zona de la cámara piezométrica, esto se logra normalmente utilizando sellos de bentonita y lechadas estables de cemento, el resto del barreno de rellena usualmente con arena en el caso de suelos o con mortero de cemento en el caso de rocas. Aunque este tipo de piezómetro no resulta satisfactorio en suelos con coeficientes de permeabilidad muy bajos debido al tiempo hidrodinámico de retraso, ni en suelos parcialmente saturados debido a la dificultad para evaluar el significado de la carga medida; la simplicidad robustez y confiabilidad del instrumento lo hacen el más utilizado de todos. El piezómetro abierto también conocido como tipo Casagrande, ya que fue

introducido por ese notable investigador, aunque en el diseño original se utilizó una piedra porosa en el bulbo en vez de tubería ranurada.

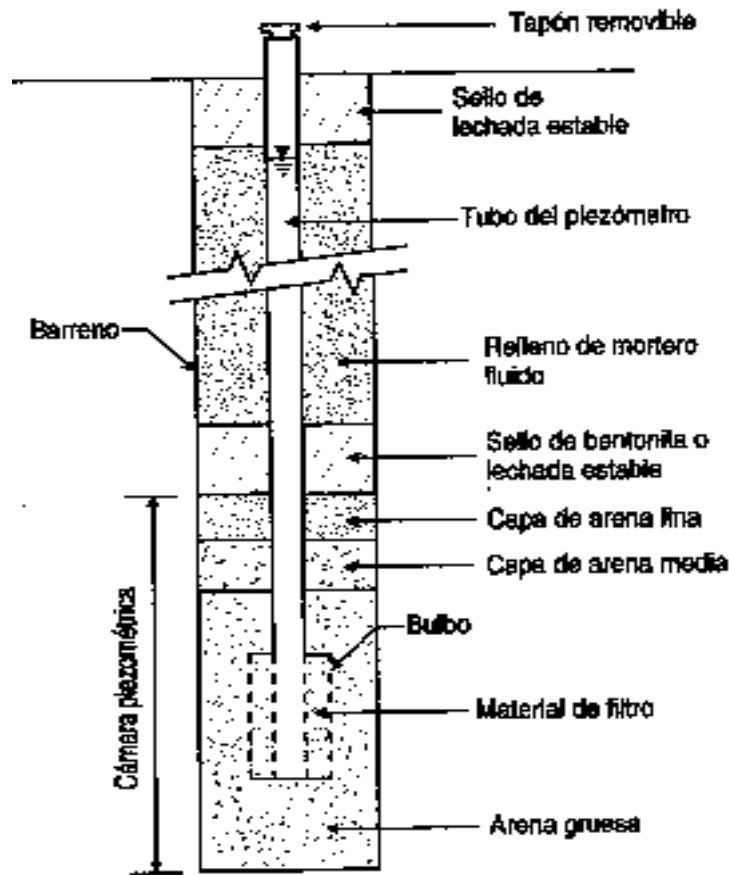


Fig.1. III.3.1.1.2
Componentes de
un piezómetro
abierto.

III.3.1.1.3 PIEZÓMETRO NEUMÁTICO.

Los piezómetros neumáticos particularmente son muy útiles cuando se instalan en suelos de baja permeabilidad, ya que tienen la ventaja de responder con pequeños volúmenes de agua desplazados en el interior de la celda piezométrica; por ello se denominan de respuesta rápida. Este tipo de piezómetros permite medir la distribución de presiones de poro a lo largo de una vertical, si se coloca una serie de estos piezómetros a diferentes elevaciones, de igual manera puede conocerse la distribución

de presiones a lo largo de una horizontal si se coloca una serie de piezómetros distribuidos a una misma elevación.

El piezómetro neumático consta principalmente de tres partes: un cilindro metálico (piezómetro) que consiste en un diafragma y una piedra porosa, dos mangueras de aire y un dispositivo de medición para inyectar aire a presión. El cilindro metálico, en uno de sus extremos, contiene un disco poroso que protege a un diafragma flexible; en el otro extremo del cilindro se insertan dos ductos o mangueras flexibles de 0.64 cm ($\frac{1}{4}$ in) de diámetro, de las que el extremo de una de ellas está separada del diafragma y se conecta con una fuente de gas con presión y un manómetro.

La única parte en movimiento del piezómetro neumático es el diafragma flexible que se encuentra en contacto directo con el agua subterránea después del filtro; la presión de poro actúa sobre uno de los lados del diafragma, y la presión del gas inyectado desde el exterior, sobre el lado opuesto. Para obtener el valor de la presión de poro, por el ducto de entrada se inyecta gas a presión a través de una manguera conectada a un indicador de una fuente presurizada. La presión de inyección se incrementa hasta exceder la presión de poro; este exceso de presión desplaza el diafragma hacia el filtro (disco poroso), lo cual libera la entrada del tubo de ventilación o salida, y expulsa el exceso de presión inyectada. Al detectarse el flujo de gas de regreso, se cierra la válvula de inyección; el gas continúa saliendo y la presión de inyección actuante sobre el diafragma disminuye hasta que la presión de poro cierra la entrada del tubo de ventilación y el gas deja de escapar. En ese momento se alcanza el equilibrio entre la presión del gas del interior y la presión de poro, cuyo valor lo indica el manómetro como lectura de la presión de poro de la zona piezométrica.



Foto 1. III.3.1.1.3
Tipos de piezómetros
neumáticos (cortesía de
RST Instrument).

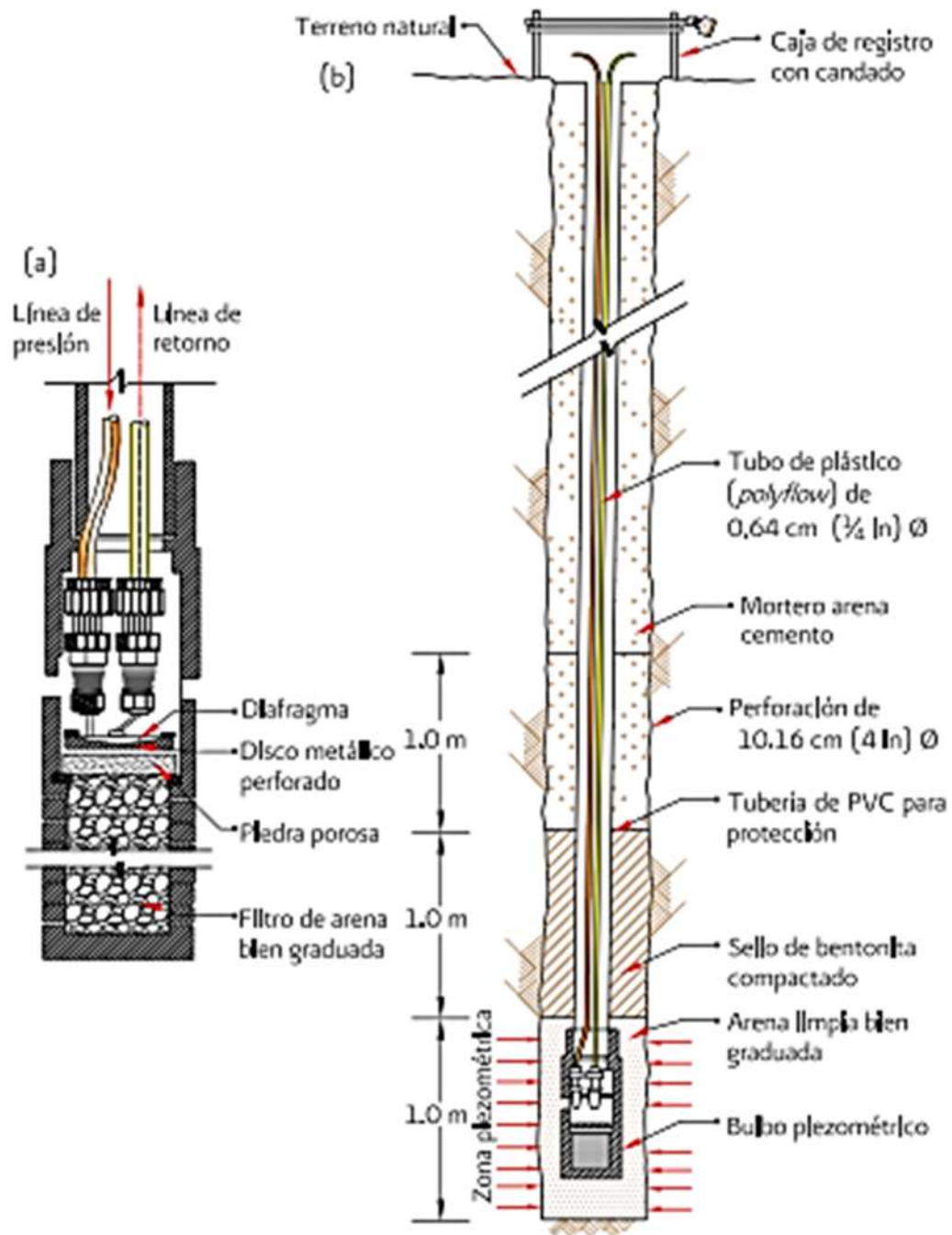


Fig.1. III.3.1.1.3 Piezómetro Neumático: **a)** Arreglo de los componentes del bulbo del piezómetro y **b)** Instalación y sellado del piezómetro neumático en el barreno.



III.3.1.2 PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS.

El principio de operación de un piezómetro eléctrico se basa en un diafragma que se flexiona bajo la acción de la presión de poro que actúa en uno de sus lados después de pasar por una piedra porosa. La deflexión es proporcional a la presión aplicada y se mide por medio de diversos sensores o transductores eléctricos. Los sensores convierten la presión de agua en una señal eléctrica que se transmite mediante un cable hasta el sitio de medición. Los piezómetros eléctricos se pueden emplear en los mismos casos en los que se utilizan piezómetros abiertos tipo Casagrande, así como, en pozos de observación, e incluso para registrar el nivel de agua en canales vertedores de galerías de filtración o para conocer el nivel de agua de un río o de un embalse.

III.3.1.2.1 SENSOR PIEZORRESISTIVO.

Contiene un diafragma delgado de cerámica con resistores (strain gauges). Al deformarse el diafragma con la presión del agua, se modifica la resistencia de los sensores en forma directamente proporcional a la presión aplicada. De manera electrónica, se convierte esta señal de salida en una señal de corriente eléctrica en un rango de 4 mA a 20 mA (miliamperes).

La respuesta del sensor piezorresistivo a cambios de presión es muy rápida, ya que no requiere cambios volumétricos importantes, y muestra una gran precisión, aún para rangos de presión pequeños. Se puede usar para efectuar mediciones dinámicas y conectarse a un sistema automático de captura de datos.

Este tipo de sensor tiene menor estabilidad con el paso del tiempo, por lo que se recomienda su uso cuando el objetivo de la medición es a corto plazo, por ejemplo, durante la etapa de construcción de una obra. Además, presenta pérdidas en la señal eléctrica conforme aumenta la longitud del cable, por tanto, debe calibrarse en fábrica el sistema completo (sensor-cable).

Foto 1. III.3.1.2.1
Vista del sensor
piezorresistivo



III.3.1.2.2 SENSOR DE CUERDA VIBRANTE.

Son aparatos que utilizan un transductor de cuerda vibrante en los que un extremo está sujeto a una membrana metálica. La presión del agua causa un cambio en la deflexión de la membrana, lo que provoca a su vez un cambio en la tensión de la cuerda que puede ser medido al medir su frecuencia de vibración. Este tipo de instrumento está bien adaptado para la obtención de datos confiables de gran precisión a corto y mediano plazo, pero requieren de protección adecuada contra voltajes transitorios.



Foto 1. III.3.1.2.2
Piezómetros de cuerda vibrante existentes en el mercado.

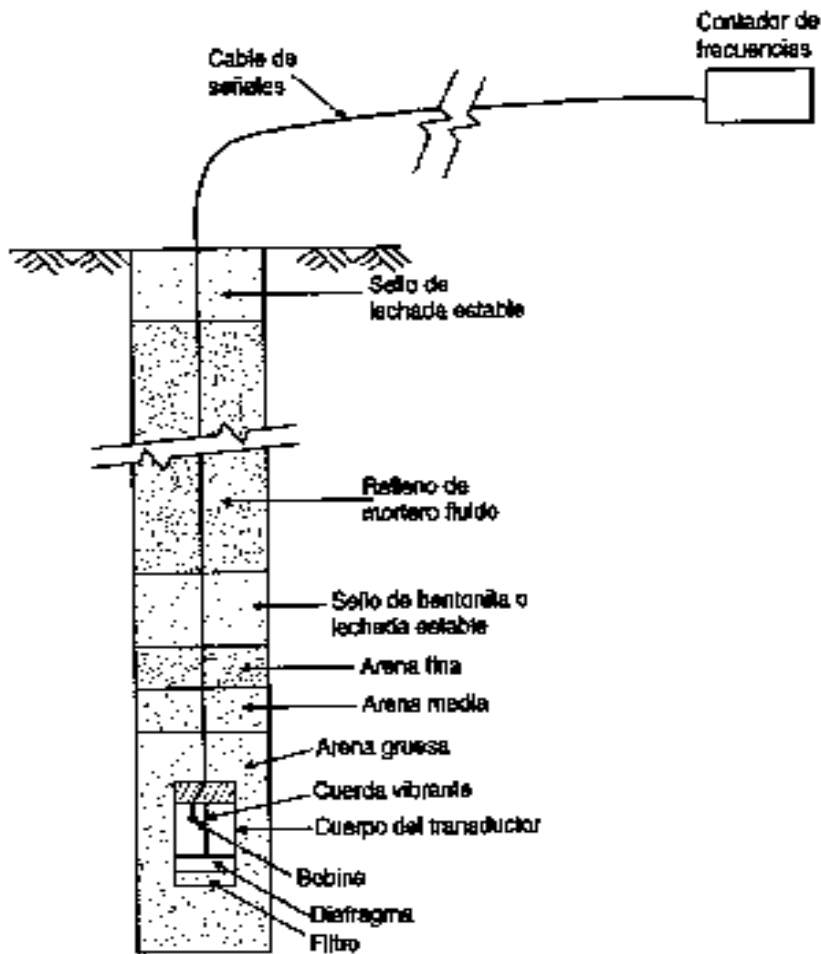


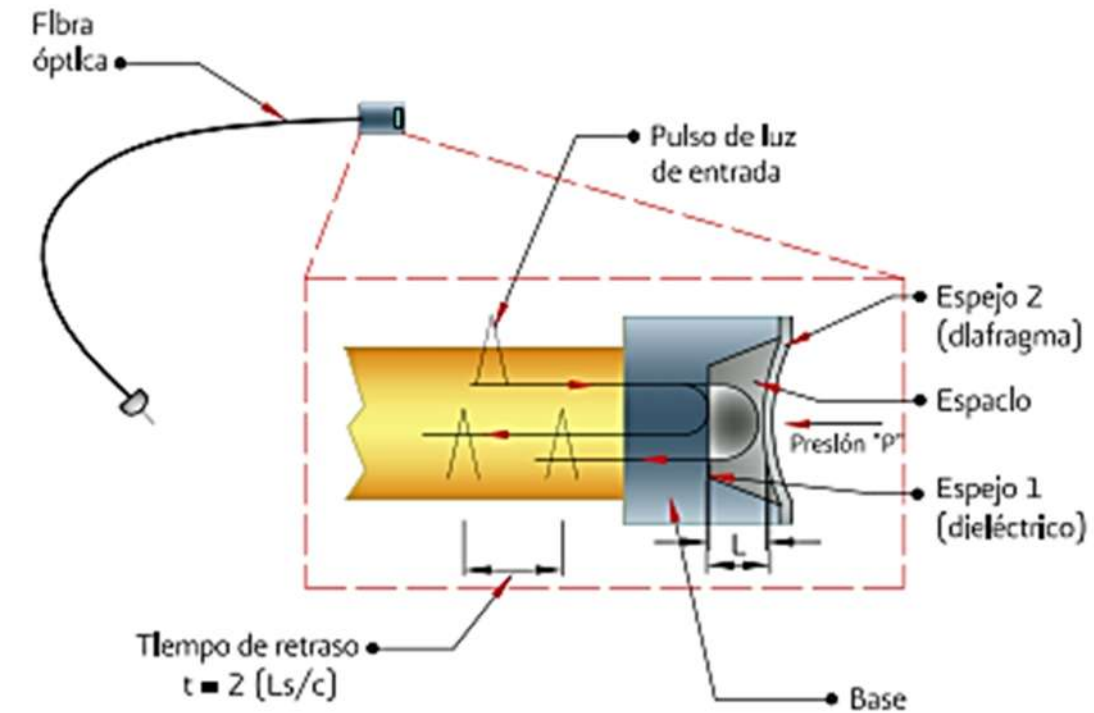
Fig.1. III.3.1.2.2
Piezómetro eléctrico con
transductor de cuerda
vibrante.

III.3.1.2.3 SENSOR DE FIBRA ÓPTICA.

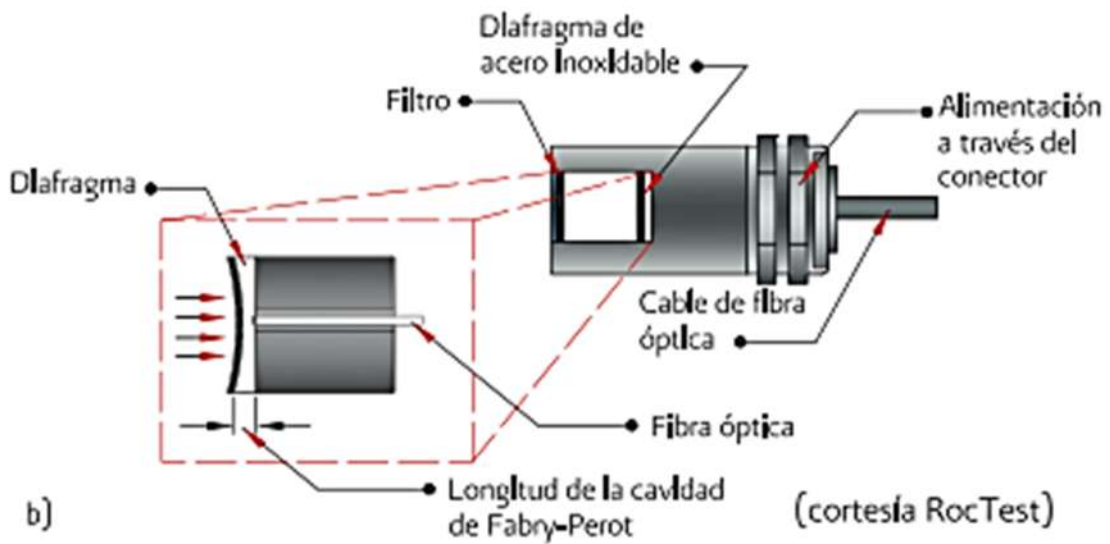
Esta clase de sensores se diseñan para medir la presión que ejerce el agua a una membrana sin contacto directo, y registran las deformaciones de un elemento mecánico óptico en miniatura (MOMs, por sus siglas en inglés).

Las dimensiones del sensor son muy pequeñas (5 mm), por lo que facilita su instalación en tuberías delgadas. Es inmune a interferencias magnéticas, señales de radio y a descargas eléctricas. Tiene una alta resolución y estabilidad, así como baja

influencia de cambios térmicos. Los costos de esta tecnología son más elevados que los anteriormente descritos, particularmente el cable y el equipo de medición.



a) Esquema de funcionamiento



b)

Fig.1. III.3.1.2.3 Sensor de fibra óptica.



III.3.2 INSTRUMENTOS PARA MEDIR INFILTRACIONES.

La medición de infiltraciones es uno de los aspectos más importantes para evaluar el comportamiento global de una presa, por lo que es muy importante ubicar el sitio en donde afloran, cuantificar el flujo y conocer su evolución con el tiempo, observar la coloración y posible arrastre de partículas finas.

III.3.2.1 CRONOMETRO Y BURETA.

Cuando el caudal es pequeño (menor de 10 l/min.), como ocurre usualmente en barreno de drenaje dentro de una galería, un método adecuado para medir es utilizando un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo en que se llena. El gasto se obtiene dividiendo el volumen recolectado entre el tiempo en que se recolectó.

III.3.2.2 DISPOSITIVO DE AFORO O VERTEDORES.

Son 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. Cuando el caudal es mayor de 10 l/min., es factible el uso de este tipo de dispositivos, siendo el más usado el vertedor de placa con escotadura triangular y para gastos superiores a los 250 l/min., el vertedor de placa rectangular.

Los vertedores operan mejor si la descarga se hace libremente a la atmosfera, si está sumergido o parcialmente sumergido, se presentarán presiones negativas que afectan la descarga y producen errores en las mediciones de flujo. Cada uno de los vertedores usados tiene características que los hacen propios para condiciones de operación particulares. En general los vertedores de rectangulares sin contracciones o los triangulares proporcionan más precisión en las mediciones.

Para conocer el caudal, se mide la altura del tirante sobre el vértice de la escotadura triangular o sobre el borde inferior en caso de la rectangular, a una distancia

de dos o tres veces la altura de la escotadura, para evitar la contracción de la vena líquida. Existen también otro tipo de dispositivos con una forma especial de sección para medir el flujo en canales abiertos denominado canal Parshall que tiene como ventaja el operar con pérdidas de carga relativamente pequeñas y ser relativamente insensible a la velocidad de aproximación, sin embargo, su costo es mayor en comparación con los vertedores tradicionales (triangular o rectangular) y requieren de mucha precisión en su fabricación para un desempeño satisfactorio.

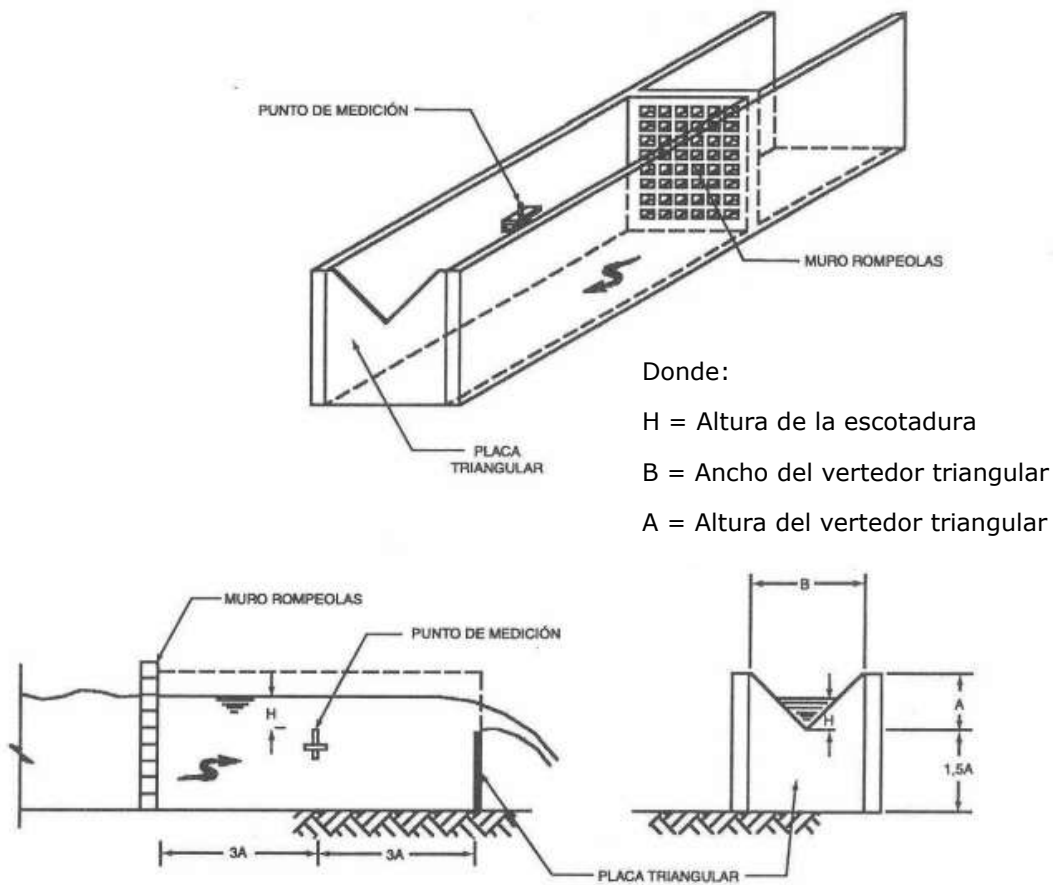


Fig.1. III.3.2.2 Dispositivo de aforo de placa triangular.



III.3.3 INSTRUMENTOS PARA MEDIR DESPLAZAMIENTOS.

La medición de movimientos del terreno, cimentaciones y estructuras térreas, están destinadas a conocer con precisión de desplazamientos horizontales, cambios de posición o de dimensión, distorsiones y giros que pueden dar lugar a inestabilidad, pérdida de bordo libre, formación de grietas, concentración de esfuerzos y otros comportamientos inestables. Los desplazamientos pueden medirse superficialmente por medio de aparatos referencias y procedimientos topográficos e internamente medir sondas que se introducen en tuberías especiales (inclinómetros). Para todas las mediciones de deformación es fundamental establecer una base fija de referencia para poder conocer los movimientos absolutos.

Los procedimientos topográficos fundamentales para medir la magnitud y velocidad de desplazamientos laterales y verticales en la superficie. En estos procedimientos la presión está controlada por la calidad de la técnica de medición, la precisión de los aparatos y las características de las referencias o puntos de medición.

Con el avance de la tecnología, en la actualidad se cuenta con una gran gama de herramientas que hacen posible la medición y el cálculo de manera más rápida, eficiente y precisa de los movimientos superficiales de una obra hidráulica. Se puede mencionar la existencia de equipos más precisos y completos, como lo son las estaciones totales que permiten la obtención de ángulos y distancias reducidas al horizonte de manera más rápida, así como la determinación en tiempo real de las coordenadas de los puntos observados, los teodolitos electrónicos, distanciómetros, por mencionar algunos.

Enlazado a ello, se encuentran los sistemas de posición global por satélite (GPS por sus siglas en inglés) que permiten conocer de manera precisa la ubicación en coordenadas UTM (x , y , z) de los bancos de referencia (BR) a los cuales se encuentran enlazados los puntos observados, tanto los utilizados para los trabajos geodésicos, como los de los sistemas de información geográficos o los navegadores.



Para realizar la planeación de la ubicación de los testigos y BR relacionados con la presa se utilizan las fotografías aéreas y las ortofotos, éstas últimas combinan las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.

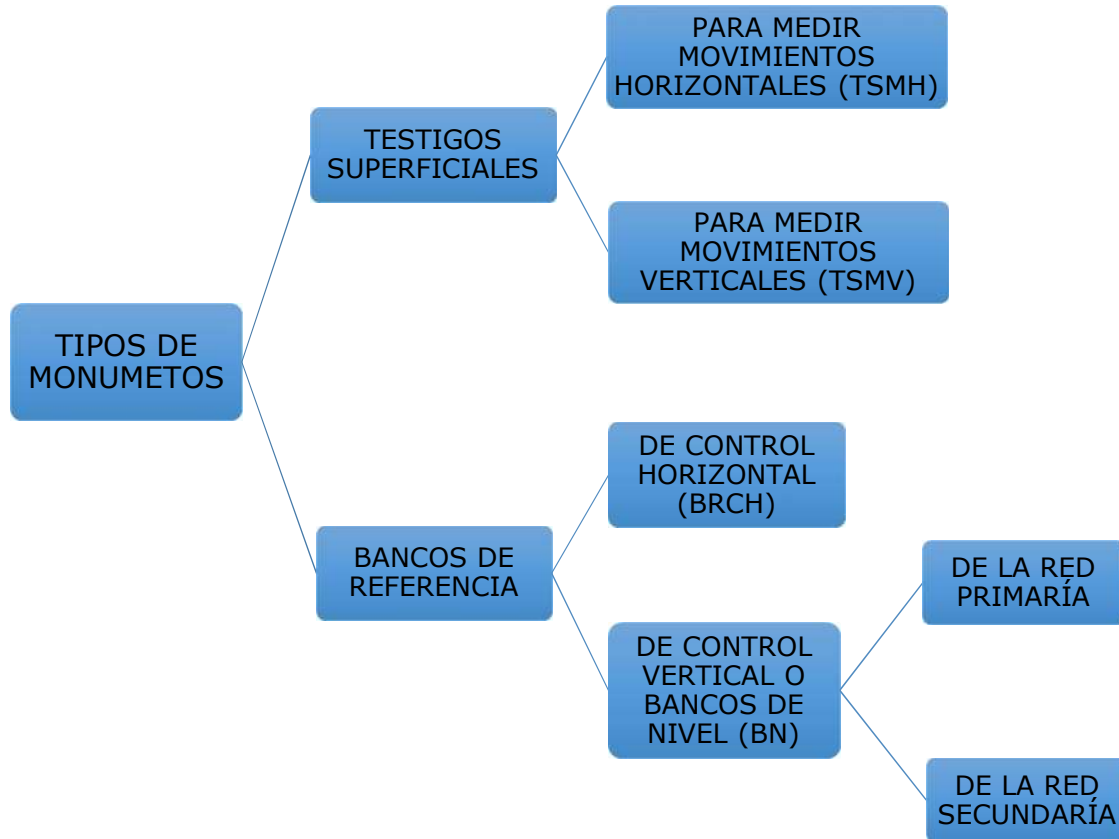
En cuanto a gabinete, se cuenta con una variedad de programas que ayudan a procesar en menor tiempo los datos obtenidos y así conocer los movimientos que tiene la obra. De esta forma se pueden mencionar a Civil Cad, Topo Cal, CICOPRE, Auto Cad, entre otros. Uno de los métodos de medición que más se utilizan para conocer los movimientos de una obra hidráulica, lo constituye la instrumentación superficial y es, probablemente, de los métodos más sencillos, económicos y confiables que se dispone.

III.3.3.1 METODO TOPOGRÁFICO.

La instrumentación superficial consiste en utilizar los procedimientos topográficos para conocer los movimientos que se manifiestan en la superficie de la obra. Los valores obtenidos se comparan con los puntos fijos (BR) localizados fuera de la influencia de la obra misma. El levantamiento que se realiza incluye cuatro tipos de mediciones:

- *Medición de desplazamientos horizontales.*
- *Medición de desplazamientos verticales.*
- *Medición de distancias entre testigos.*
- *Medición mediante triangulación para el apoyo del control topográfico de la obra.*

Para conocer los movimientos que soporta una cortina o terraplén, durante y posteriormente a su construcción, es necesario instalar un grupo de monumentos que sirven para realizar mediciones y así determinar tales movimientos, los cuales se dividen en:



Esquema III.3.3.1 Tipos de monumentos superficiales.

III.3.3.1.1 TESTIGOS SUPERFICIALES.

Son monumentos que se construyen sobre la cortina y los taludes de la presa, de está son afectadas por los movimientos tanto horizontales como verticales a que está sujeta la obra. De los cuales hay dos tipos de testigos superficiales:

III.3.3.1.1.1 TESTIGO SUPERFICIAL PARA MEDIR MOVIMIENTOS HORIZONTALES (TSMH).

Se distribuyen longitudinalmente a lo largo de la corona y los taludes, forman una o varias líneas en función de la altura de la cortina. Este se construye de concreto simple, el cual en la parte superior y al centro se aloja un aditamento llamado "perno de centraje forzoso", además se utiliza un tornillo con cabeza de gota que sirve de base al estadal para la nivelación. Se debe de colocar un tapón de protección con cuerda, que solo se puede remover con una llave especial.

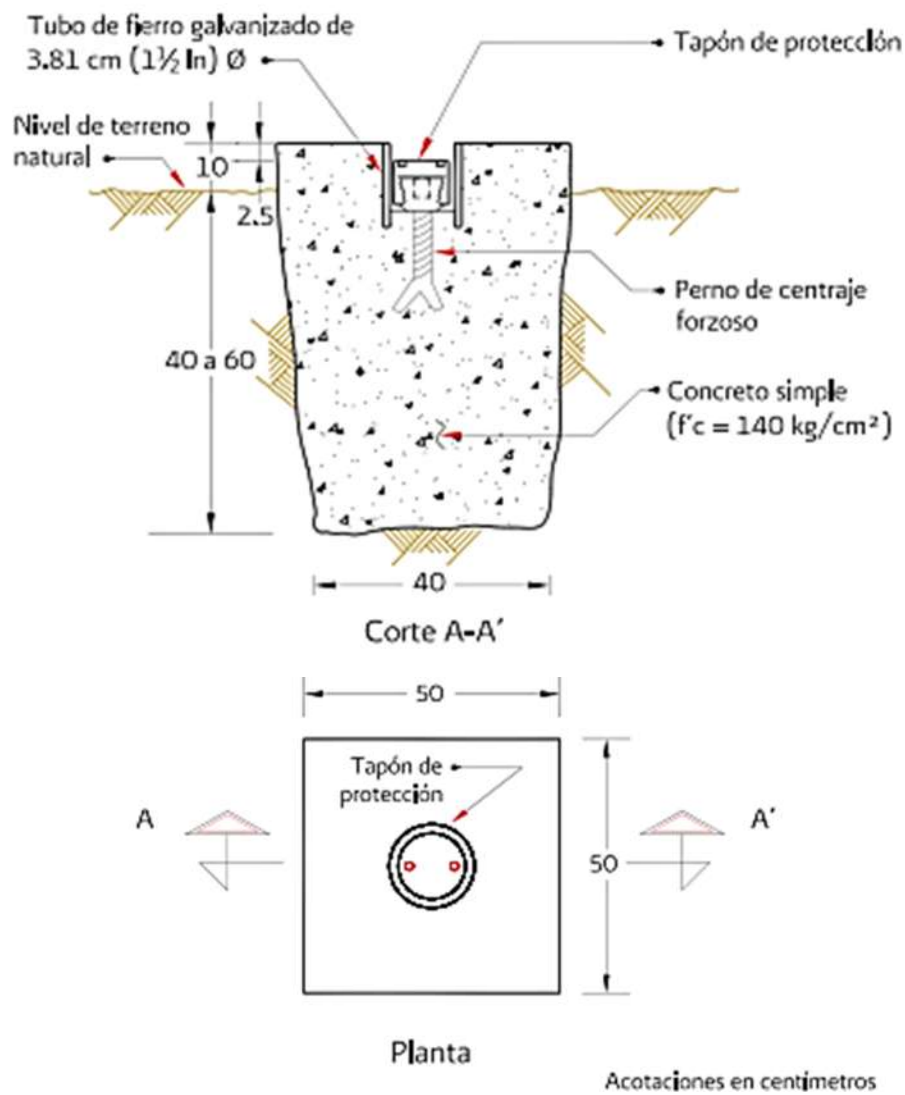


Fig.1. III.3.3.1.1.1 Testigo superficial para medir movimientos horizontales (TSMH).

III.3.3.1.1.2 TESTIGO SUPERFICIAL PARA MEDIR MOVIMIENTOS VERTICALES (TSMV).

Se localizan en la corona y los taludes, en líneas longitudinales y transversales, y tienen la función de medir asentamientos o expansiones de la cortina. Se construyen de concreto simple con forma de pirámide truncada la cual en su parte central aloja una barra de acero, la cual sobresale del concreto 2 o 3 cm, a la cual se le coloca una tapa de protección.

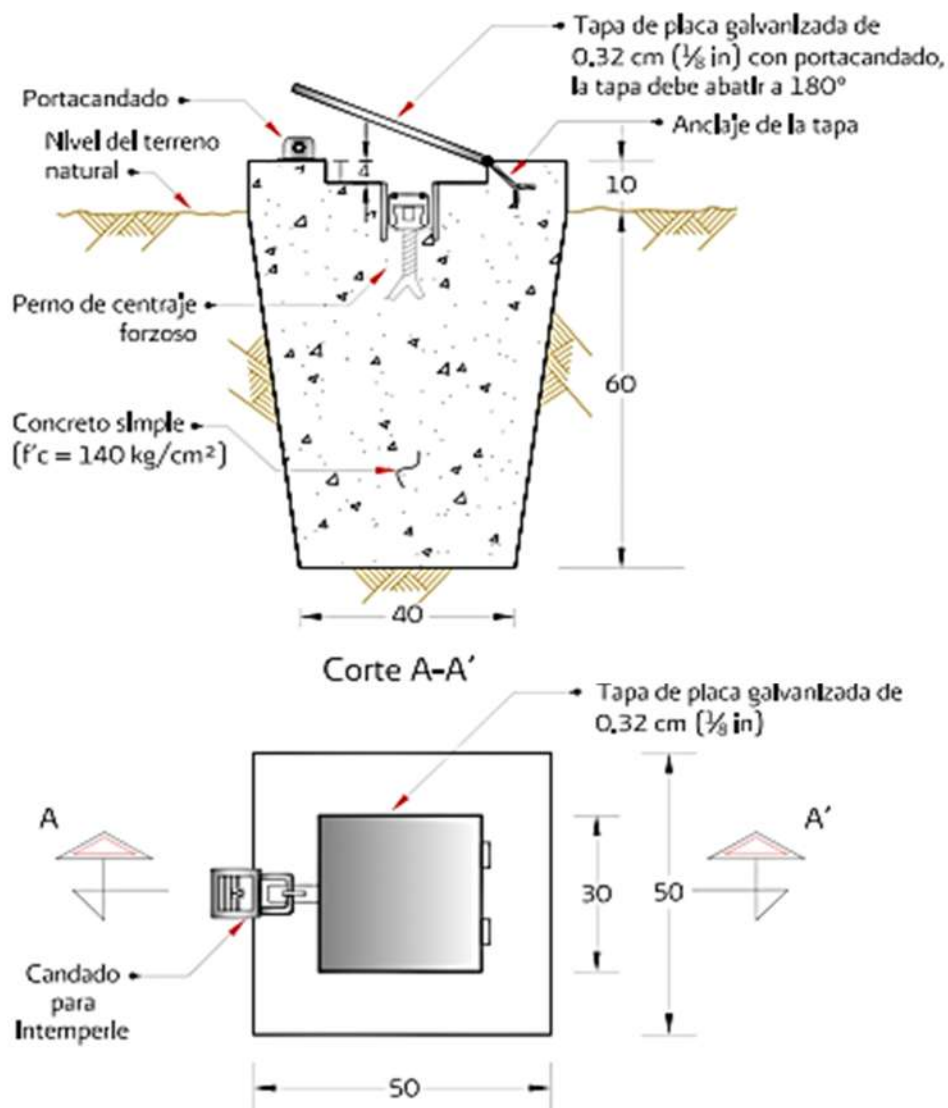


Fig.1. III.3.3.1.1.2 Testigo superficial para medir movimientos verticales (TSMV).

III.3.3.1.2 BANCOS DE REFERENCIA.

Son monumentos ubicados en las laderas, fuera de la influencia de la presa en lugares estables y firmes. Se utilizan como puntos de control ya que a partir de ellos se realizan las mediciones hacia los testigos superficiales.

III.3.3.1.2.1 BANCOS DE REFERENCIA DE CONTROL HORIZONTAL (BRCH).

A partir de los bancos de referencia para control horizontal (BRCH) o también conocidos como monumento de centraje forzoso, se efectúan las mediciones TSMH para conocer los movimientos horizontales.

Es una columna de 1.3 m de altura sobre el nivel del terreno natural con el fin de que, al colocar el teodolito o la estación total sobre él, quede el ocular a la altura de los ojos del operador. En la parte superior al centro de la columna debe colocarse una pieza metálica para centraje forzoso que corresponde con el equipo que se utilizara. Para garantizar la verticalidad del perno, durante la instalación del testigo puede utilizarse un dispositivo, consistente en una base nivelante, similar a la de un nivel o teodolito, montada sobre una placa que se coloca al perno y que está unida al sistema nivelante. Estos monumentos se enlazan con la Red Geodésica Horizontal.

Foto 1. III.3.3.1.2.1
Tipo de monumento de centraje forzoso y bases y tapas.



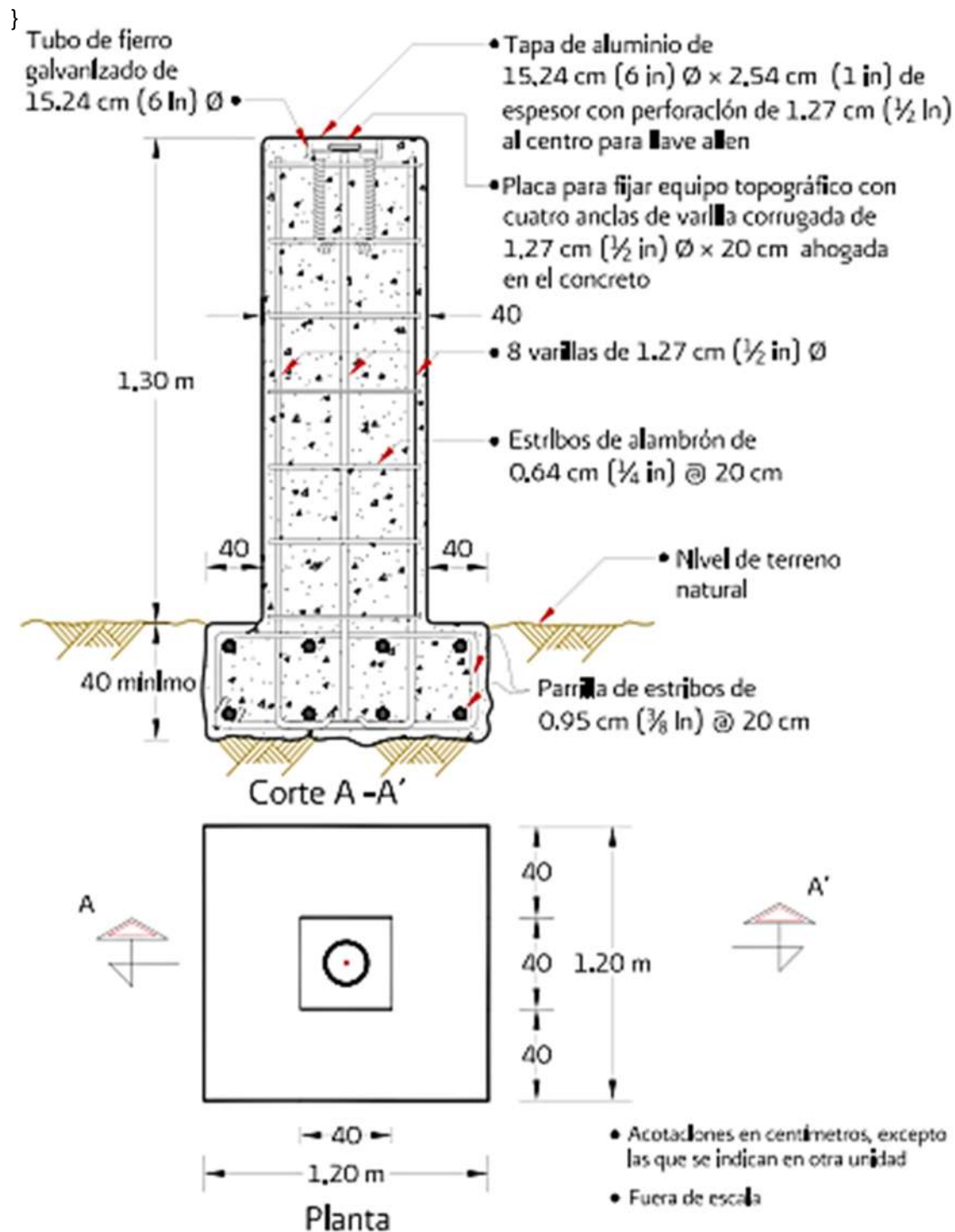


Fig.1. III.3.3.1.2.1 Banco de referencia de control horizontal (BRCH).

III.3.3.1.2.2 BANCOS DE REFERENCIA DE CONTROL VERTICAL (BRCV) O BANCOS DE NIVEL (BN).

A partir de los bancos de referencia de control vertical (BRCV) o bancos de nivel (BN) se realizan las mediciones hacia los TSMV para conocer los movimientos verticales. Estos tipos de monumentos presentan dos tipos diferente:

III.3.3.1.2.2.1 BANCOS DE NIVEL DE LA RED PRIMARIA.

Los cuales se enlazan a la Red Geodésica Vertical; se localiza alejado y fuera de la influencia de la obra y su número depende de las necesidades del proyecto de instrumentación. Se construye de concreto armado, al centro de éste va hincada una varilla con punta de bala que deberá sobresalir de 2 a 3 cm respecto del nivel de concreto. Cada monumento se debe de identificar claramente con sus coordenadas (X, Y) y la elevación (Z) correspondiente.

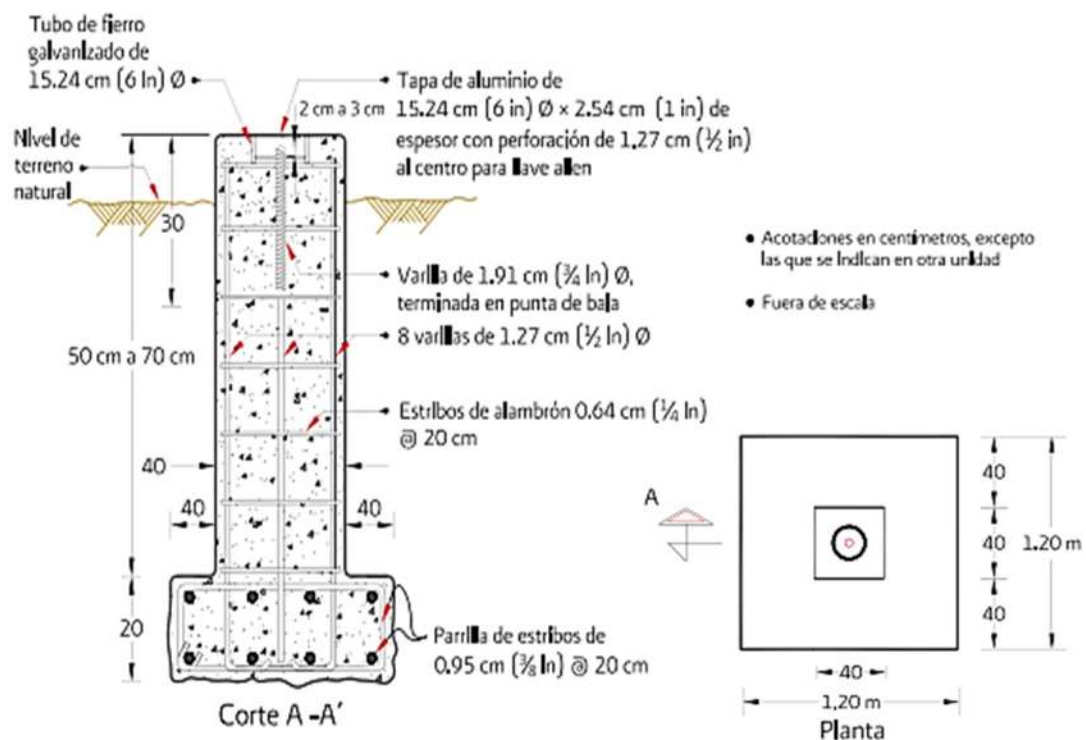


Fig.1. III.3.3.1.2.2.1 Bancos de nivel de la red primaria.

III.3.3.1.2.2.2 BANCOS DE NIVEL DE LA RED SECUNDARIA.

Se enlaza a la Red Primaria, es menos robusto con forma de pirámide truncada, se construye de concreto simple, en la parte central se aloja una varilla corrugada. La varilla deberá de sobresalir del nivel de concreto de 2 a 3 cm y terminar en punta de bala.

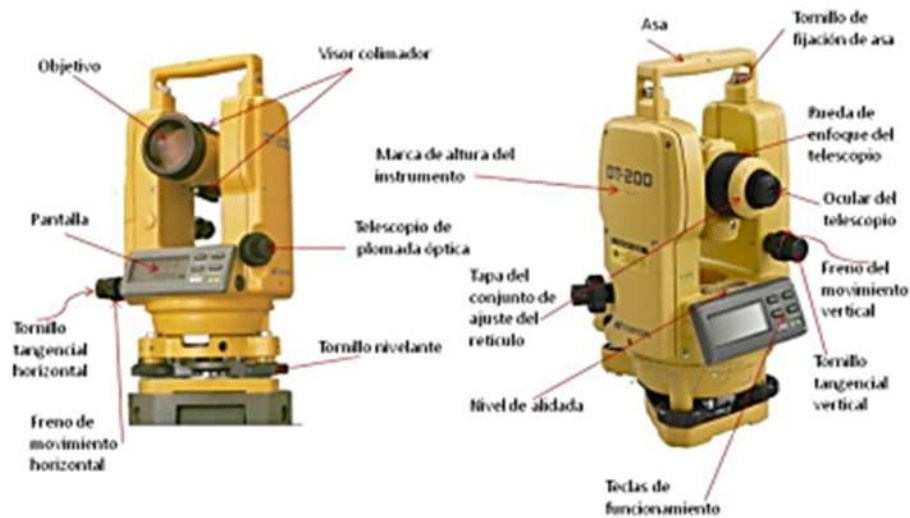


Foto 1. III.3.3.1.2.2.2 Partes del teodolito estadimétrico modelo DT200.



Foto 2. III.3.3.1.2.2.2 Partes de la estación total modelo R300.

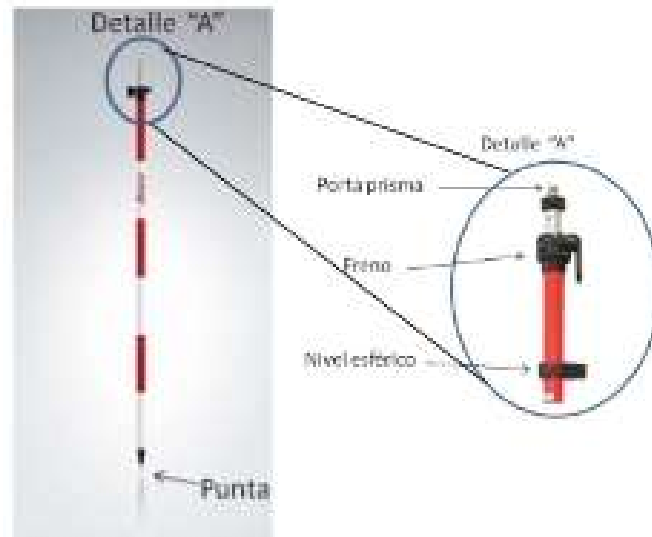


Foto 3. III.3.3.1.2.2.2 Bastón.



Tipos de prismas :

Tipos de adaptadores para prismas

Foto 4. III.3.3.1.2.2.2 Prismas con base y adaptadores.



III.3.3.2 INCLINÓMETROS.

Son instrumentos muy versátiles y útiles para medir desplazamientos tanto verticales como horizontales de una masa de suelo o roca, y también para monitorear la estabilidad de terraplenes y taludes. El inclinómetro mide el cambio de pendiente de un ademe guía colocado dentro de un sondeo o en un relleno, mediante el paso de una sonda guía o fija en su interior.

Se colocan generalmente alineados en secciones longitudinales paralelos a la corona y en secciones transversales aguas abajo, en laderas y taludes, en los vertederos, obras de toma, de excedencia y de desvío.

La tubería guía utilizada para el sistema de inclinómetros se fabrican de plástico, aleación de aluminio o fibra de vidrio. Está provista de cuatro ranuras internas longitudinales diametral mente opuestas (en ángulos de 90°). La tubería guía se deforma debido a los movimientos del suelo, por tanto, está sujeta a esfuerzos de tensión o de compresión. Esto implica que excesiva flexión, sobretodo en suelos blandos, puede impedir que pase la sonda; en tal caso se debe instalar la tubería en barrenos con mayor diámetro rodeada de lechada blanda.

Las **tuberías de plástico** se fabrican de ABS (Acrylonitile/butadiense/styrene) es el material más común empleado para la fabricación de los inclinómetros. Otro tipo de plástico es el PVC (poly-vinylchloride) más frágil especialmente a bajas temperaturas.

Los acoplamientos para los tramos del tubo guía son rígidos, se fabrican del mismo material que la tubería guía y vienen preparados para que la ranura se auto alineen. Para evitar filtraciones al interior, están provistos de arosellos, o se deben impermeabilizar o cubrirlos con una cinta gris reforzada o con algún epóxico. Se debe tener la precaución de no exponer los tubos guía a los rayos solares porque pueden provocarles torsión o que se incremente su longitud, por lo que se recomienda almacenarlos en la sombra.

Foto 1.
III.3.3.2
Tubo guía de
plástico



Las **tuberías de aluminio** se fabrican con ranuras mediante extrusión, los acoplamientos son ligeramente de mayor diámetro y rígidos. Son susceptibles a la corrosión por el agua y los materiales cementantes, por lo que se deben de proteger por ambas caras con pintura protectora; no obstante, se puede presentar en los extremos o en hoyos de los remaches.

La sonda que se utiliza para medir las deformaciones en el inclinómetro, consiste en un cilindro de acero inoxidable (carcasa) a prueba de agua, en donde se aloja el sensor o dispositivo para medir la inclinación con respecto a la vertical, las dimensiones de la carcasa pueden variar según la marca y el modelo.

El cable conductor está fabricado de conductores eléctricos individuales de cobre, aislados entre sí, que son trenzados en parejas, atados y protegidos del exterior con revestimiento tipo Mylar (película de poliéster). El número total de conductores en cada cable se determina por el número de sensores, el cable conductor está blindado contra radiaciones electromagnéticas proveniente de equipo eléctrico, líneas de transmisión de corriente eléctrica, transformadores, etc. El cable conductor es flexible, pero con alta resistencia la tensión si se agrega un revestimiento con acero o kevlar.

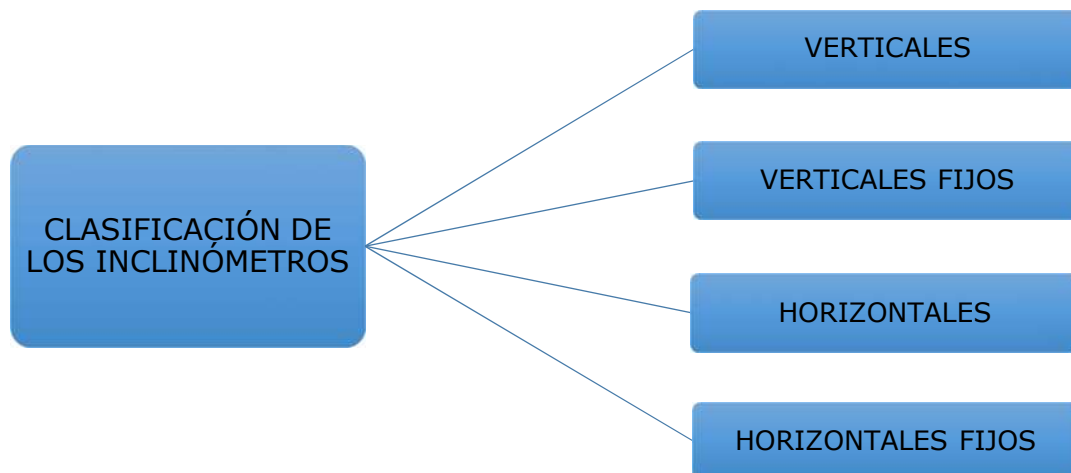
Para efectuar el procesamiento de las lecturas del inclinómetro, lo más práctico es utilizar el software desarrollado por el fabricante, esto ofrece una combinación de

rapidez y eficiencia, evitar los errores de transferencia de datos; además, de datos procesados se pueden presentar en una variedad de formatos.

Foto 2. III.3.3.2
Carrete de cable
eléctrico graduado
y sonda para
inclinómetro.



Los inclinómetros se clasifican de la siguiente manera:



Esquema III.3.3 Clasificación de los Inclinómetros.

Dentro de la clasificación, los dos últimos se emplean en terraplenes donde se requiere tener acceso por ambos extremos de la tubería guía, o mediante una polea y un cable es posible deslizar la sonda. Sin embargo, para distancias largas o deformaciones importantes se dificulta la medición por lo que se emplea otro tipo de instrumento, como son las celdas de asentamiento o deformación.

III.3.3.2.1 INCLINÓMETRO VERTICAL.

En los inclinómetros verticales, una vez instalada la tubería se baja la sonda hasta el fondo y se hace una lectura de la inclinación. Después se sube la sonda en intervalos fijos, usualmente iguales, y se mide la inclinación en cada punto hasta llegar a la superficie. La integración de las inclinaciones de todos los puntos define la geometría de la tubería, mientras que la diferencia entre el sondeo actual y el inclinado o el considerado base define el cambio en la geometría de la tubería, y, por consiguiente, los desplazamientos.

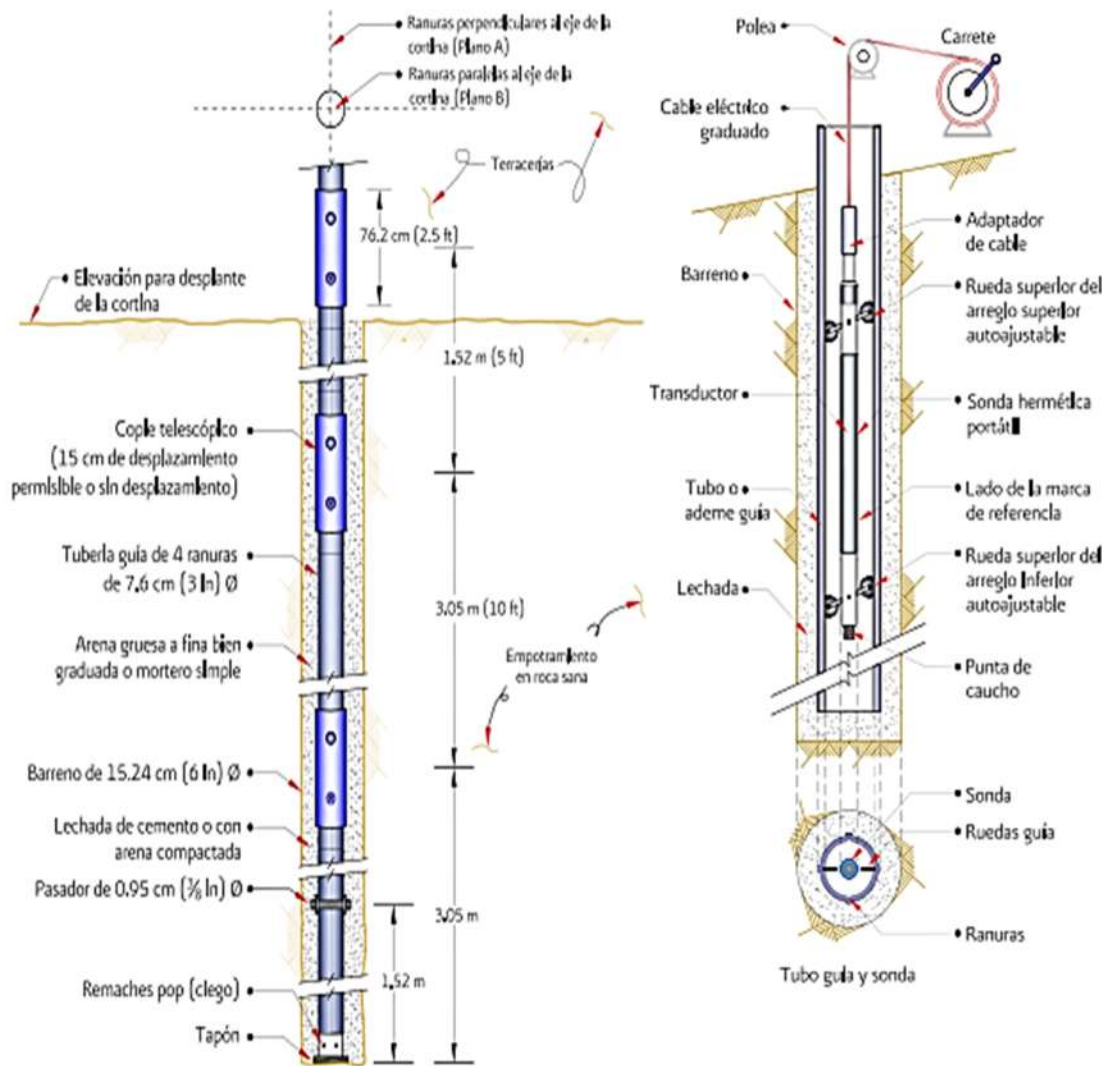


Fig.1. III.3.3.2.1 Detalle del anclaje de la tubería guía y componentes del inclinómetro vertical.

III.3.3.2 INCLINÓMETRO VERTICAL FIJO.

Los inclinómetros verticales fijos consisten en una serie de sondas colocadas dentro del ademe guía a diferentes profundidades mediante una barra. Los inclinómetros fijos reducen considerablemente el trabajo de campo, disminuyen los errores y tienen la gran ventaja en la automatización. Los datos obtenidos se pueden recuperar en forma remota y el sistema se puede programar para la detección de alertas.

Los inclinómetros fijos usan sensores MEMS, uniaxiales o biaxiales, presentan una buena estabilidad a la temperatura, debido a que las sondas y los cables permanecen dentro del tubo guía. El procesamiento de datos y los tubos guía son similares a los inclinómetros verticales, no obstante, en los inclinómetros fijos las sondas se pueden extraer para efectuar reparaciones, se pueden usar eficientemente en combinación con las sondas móviles para satisfacer necesidades específicas del proyecto de instrumentación.

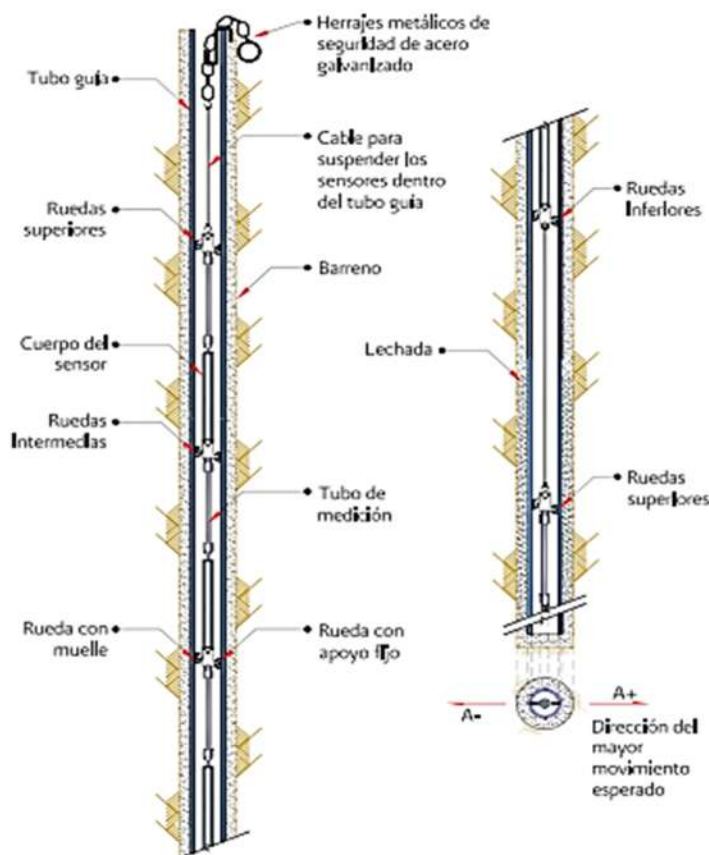


Fig.1. III.3.3.2
Sensor en serie y sondas para inclinómetro vertical fijo.



III.3.3.2.3 INCLINÓMETRO HORIZONTAL.

Los inclinómetros horizontales van colocados dentro de una zanja en posición horizontal, para registrar la inclinación respecto a la horizontal y determinar los asentamientos o expansiones del suelo. Las lecturas se toman de la misma manera que en el inclinómetro vertical.

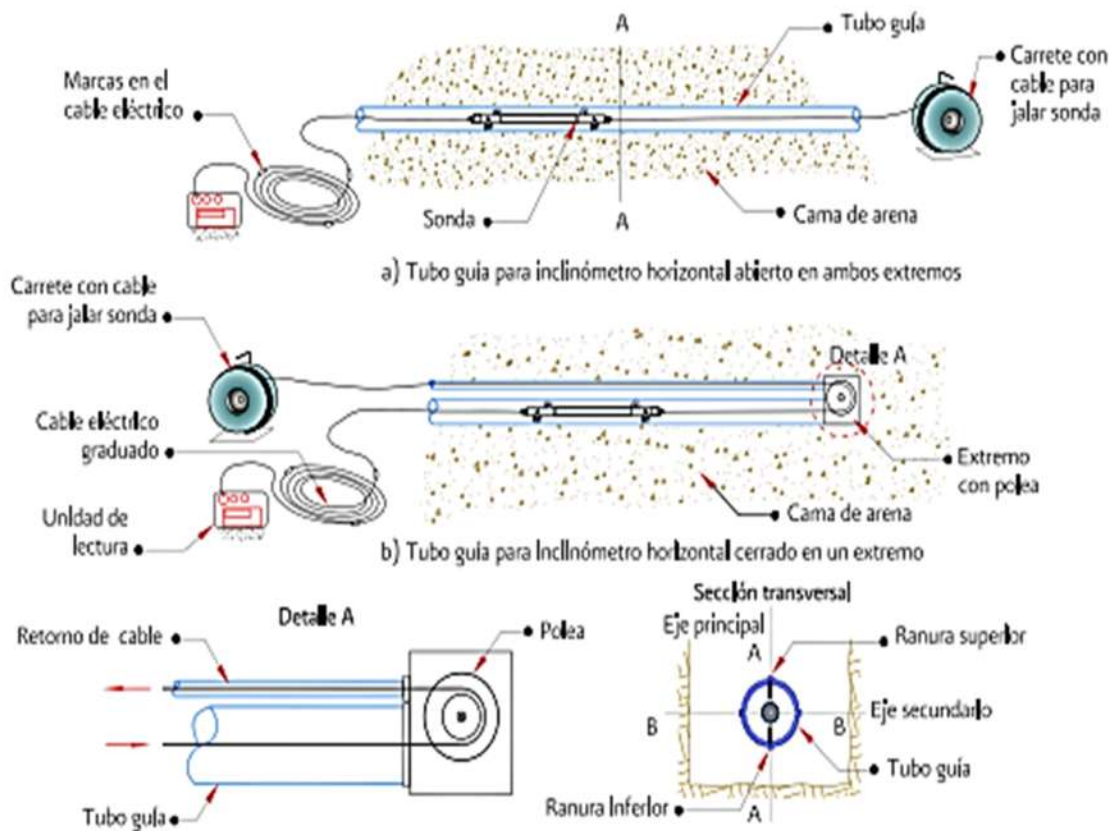


Fig.1. III.3.3.2.3 Componentes del inclinómetro horizontal.

III.3.3.2.4 INCLINÓMETRO HORIZONTAL FIJO.

Los inclinómetros horizontales se componen de uno o varios sensores dispuestos en serie en una ubicación definida y colocados en forma horizontal dentro de un tubo guía alineando las ranuras respecto a la vertical, que a su vez se instala dentro de una zanja para registra la inclinación con respecto a la horizontal con objeto de determinar asentamientos o expansiones del suelo circundante.

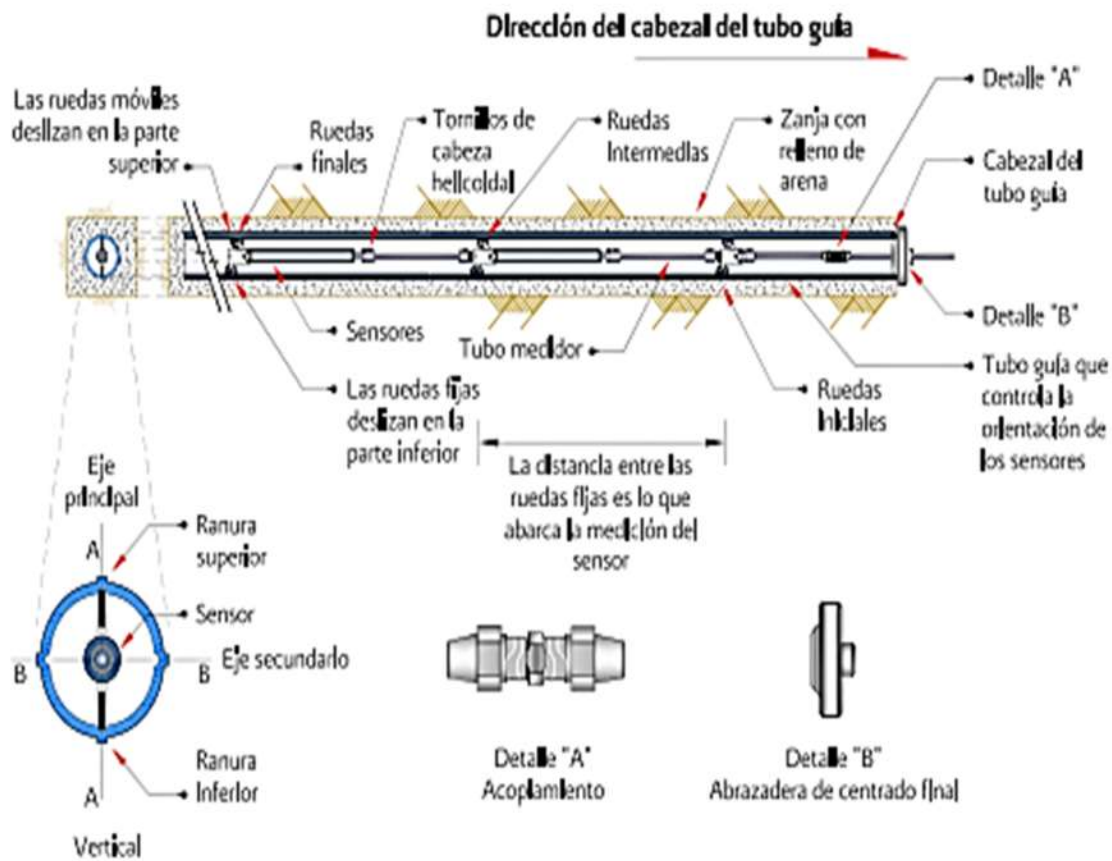
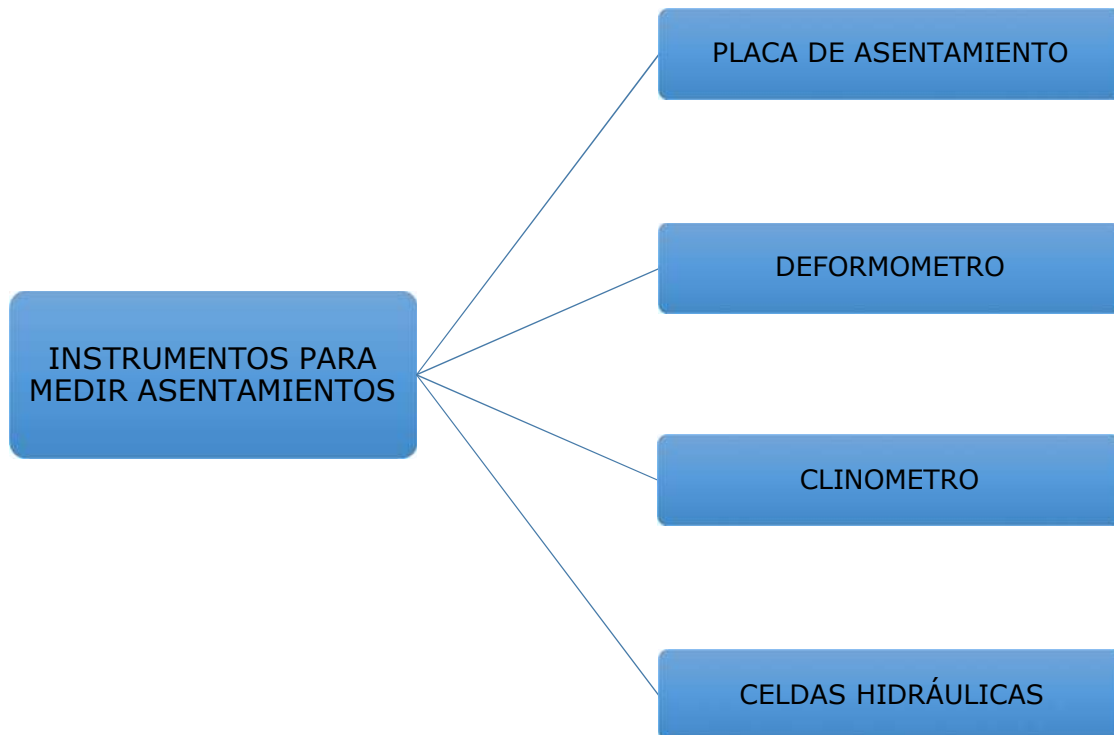


Fig.1. III.3.3.2.4 Componentes del inclinómetro horizontal fijo.



III.3.4 INSTRUMENTOS PARA MEDIR ASENTAMIENTOS.

Una variable de gran importancia en la geotecnia son los asentamientos o bufamientos (desplazamientos verticales) de una estructura terrea o cimentación, los instrumentos para medir los asentamientos son:



Esquema III.3.4 Instrumentos para medir asentamientos.

III.3.4.1 PLACA DE ASENTAMIENTO.

Consiste en una placa metálica con una barra o tubo fijo en el centro y aislada del material del terraplén con un tubo telescópico o una tubería flexible de polietileno corrugado de mayor diámetro. La placa se coloca a la elevación en que se desea medir el asentamiento y se agrega secciones de barra o tubos a medida que se eleva la

construcción. El asentamiento de la placa se determina por nivelación topográfica de la parte superior de la barra o tubo ligado a ella.

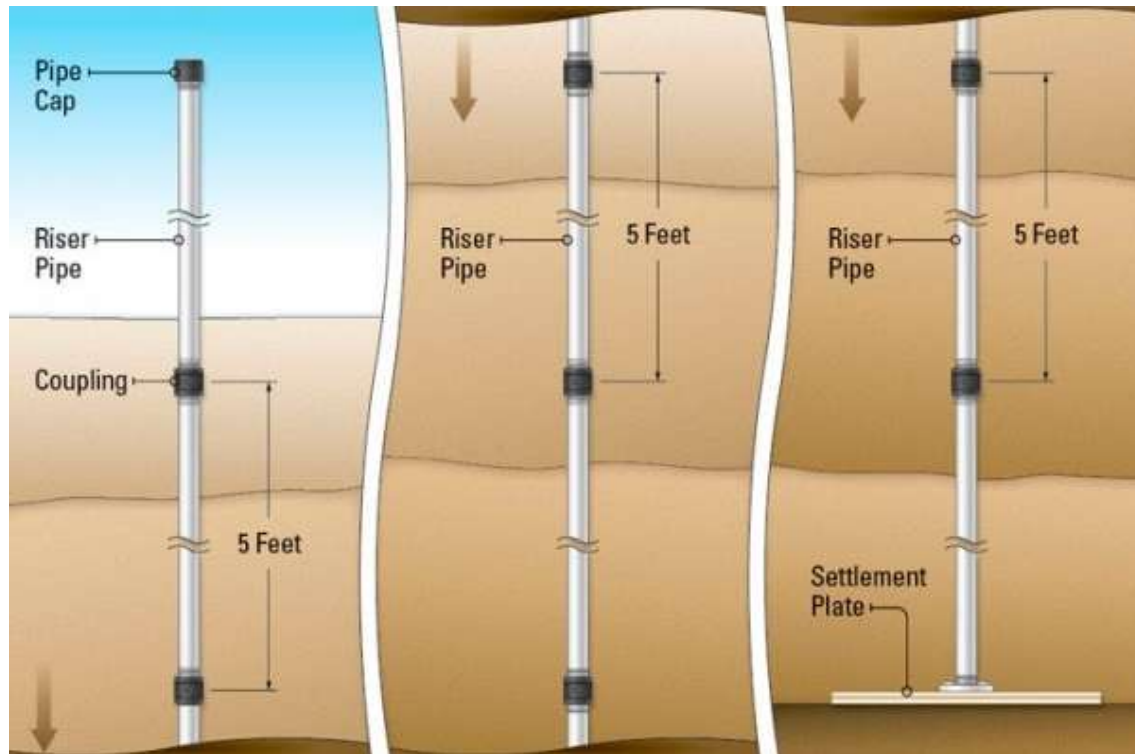


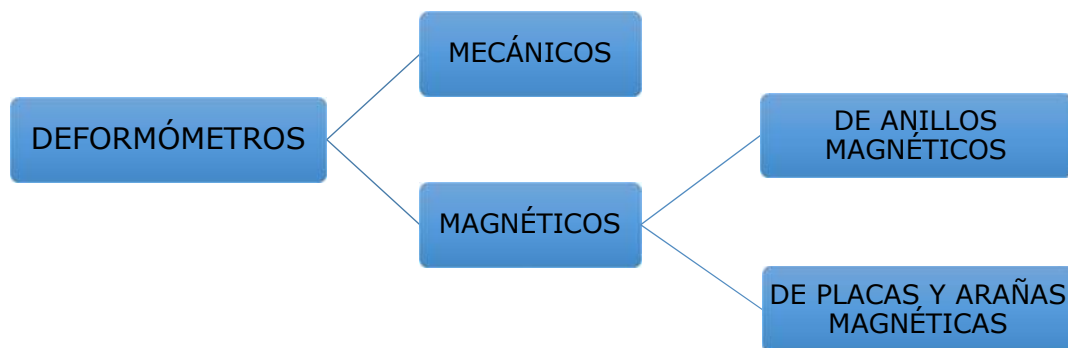
Fig.1. III.3.4.1 Sistema de placas de asentamiento.

Foto 1. III.3.4.1
acoplamiento de
acero galvanizado



III.3.4.2 DEFORMÓMETRO.

Los deformómetros son instrumentos para medir deformación entre varios puntos de referencia a lo largo de un eje mediante una sonda (provista con algún tipo de transmisor) que se desliza dentro de un tubo de acceso, el cual se coloca en forma vertical dentro de un terraplén o en un cimiento y sirve para evaluar los asentamiento o expansiones. Los deformómetros se dividen en dos:



Esquema III.3.4.2 Tipos de deformómetros.

III.3.4.2.1 DEFORMÓMETRO MECÁNICO.

En el deformómetro mecánico, los puntos de medición se identifican mecánicamente con el paso de la sonda de medición diseñada por la U.S. Bureau Reclamation, conocida como sonda USBR.

Cuando se usa la sonda USBR, la tubería guía del inclinómetro se usa como de acceso, para que deslice la sonda a través de las ranuras, instaladas en forma telescópica. A la tubería guía se le fija un perfil de acero de manera transversal a cada tramo del tubo ya que así se asegura que los tubos transversales sigan el movimiento del suelo. La sonda consiste en un cilindro metálico con dos aletas retráctiles a los lados, las cuales se mantienen abiertas mientras desciende la sonda y permite detectar la parte

inferior de cada tramo de tubo, al atorarse en dicha parte, también se puede usar un gancho ligado a una cinta magnética.

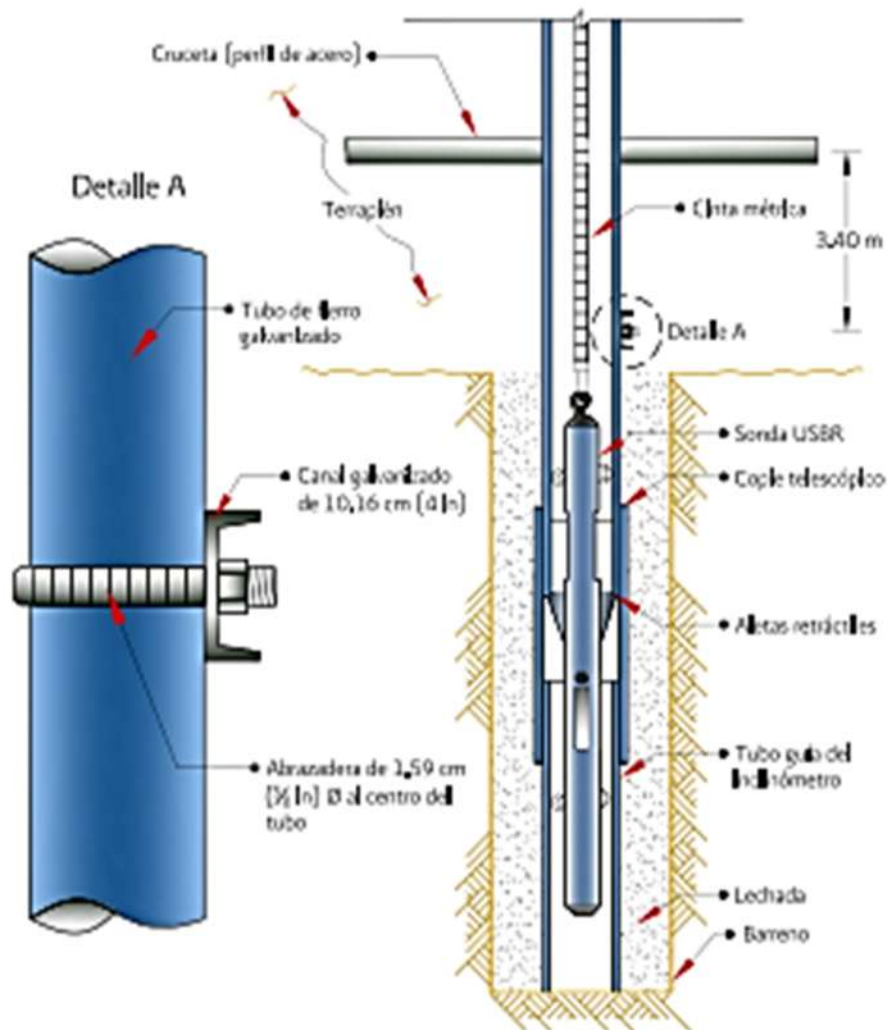


Fig.1. III.3.4.2.1 Deformómetro mecánico con sonda USBR.

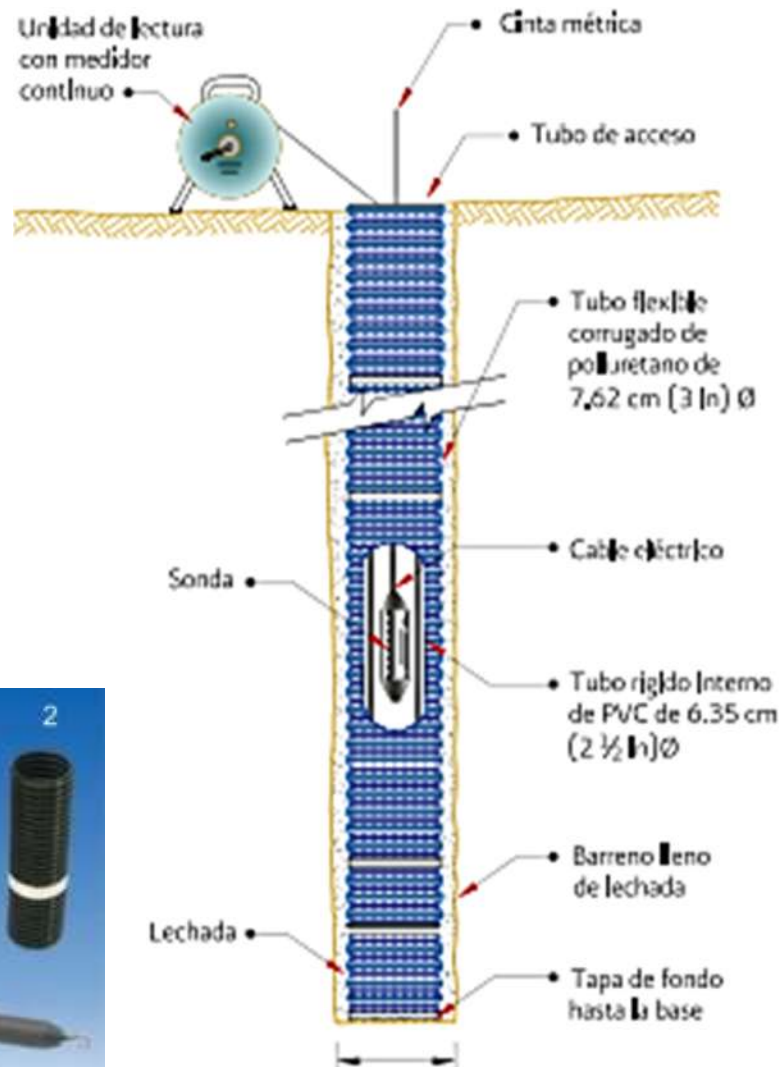
III.3.4.2.2 DEFORMÓMETRO MAGNETICO.

III.3.4.2.2.1 DEFORMÓMETRO CON ANILLOS MAGNETICO.

Este sistema es una modalidad híbrida de deformómetro es en realidad un deformómetro mecánico-eléctrico. La sonda se desliza dentro de la tubería y detecta los anillos magnéticos (sensores), se hace sonar un timbre hasta que el sonido sea más agudo y se toma la lectura y la profundidad se mide con una cinta graduada.

Fig.1. III.3.4.2.2.1
Partes de un
deformómetro de
anillos magnéticos.

- 1.-Carrete eléctrico graduado.
- 2.-Tubo corrugado con anillos de acero inoxidable.
- 3.-Sonda.



III.3.4.2.2 DEFORMÓMETRO DE PLACAS y ARAÑAS MAGNÉTICAS.

Los deformómetros de placas y araña, comúnmente denominados deformómetros magnéticos, se diseñaron para medir asentamientos y expansiones de suelos blandos debido a cargas producidas por la construcción.

Arañas Magnéticas su nombre se debe a su forma constan de tres hojas metálicas superiores y tres inferiores, las seis hojas son retractiles y se mantienen retraídas con un par de hilos de nylon, en cada ancla se tiene un contador neumático, de manera que al ubicarse en su posición de proyecto se activa el contador y se liberan las hojas.

Placas magnéticas. Empleadas en terraplenes son de aluminio y de forma cuadrada para un mejor acoplamiento en el terreno, en el centro se adapta un anillo magnético por donde atravesará el tubo de acceso.

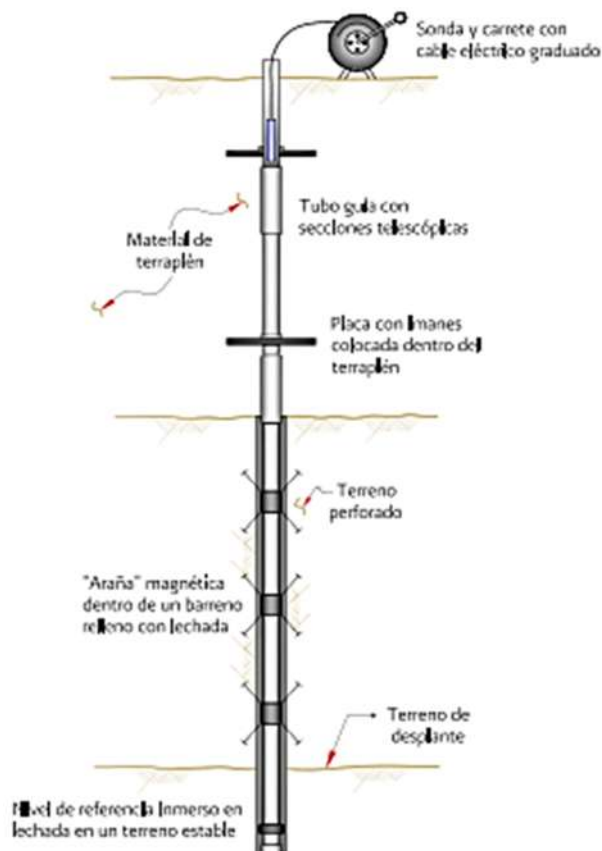


Fig.1. III.3.4.2.2.2

Partes de un tubo de acceso para deformómetro con placas y patas de araña magnéticas.

- 1.- Carrete eléctrico graduado.
- 2.- Araña magnética.
- 3.- Placa con imanes.



III.3.4.2.3 CLINÓMETRO.

El clinómetro es un equipo mecánico o eléctrico que se diseña para medir con precisión los cambios en la inclinación o rotación de un punto ubicado en tierra o en una estructura. Funciona bajo el principio gravitacional, o sea, que registra los movimientos de inclinación con respecto a un eje vertical. Su aplicación es monitorear la inclinación en muros de retención, en zonas de deslizamiento o de hundimiento o en elementos con movimiento rotacional producto de un movimiento sísmico, incluyendo la condición de que se encuentren sumergidos.

Los clinómetros se fabrican uniaxiales o biaxiales; los uniaxiales miden la rotación en un plano vertical y los biaxiales miden la rotación en dos planos verticales ortogonales. Los clinómetros se instalan sobre miembros estructurales o superficies. El sensor para clinómetros puede ser del tipo mecánico, eléctrico, de servo-acelerómetro, de cuerda vibrante o MEMS. Se pueden instalar en barrenos, tanto en cortinas de concreto como en terraplenes.

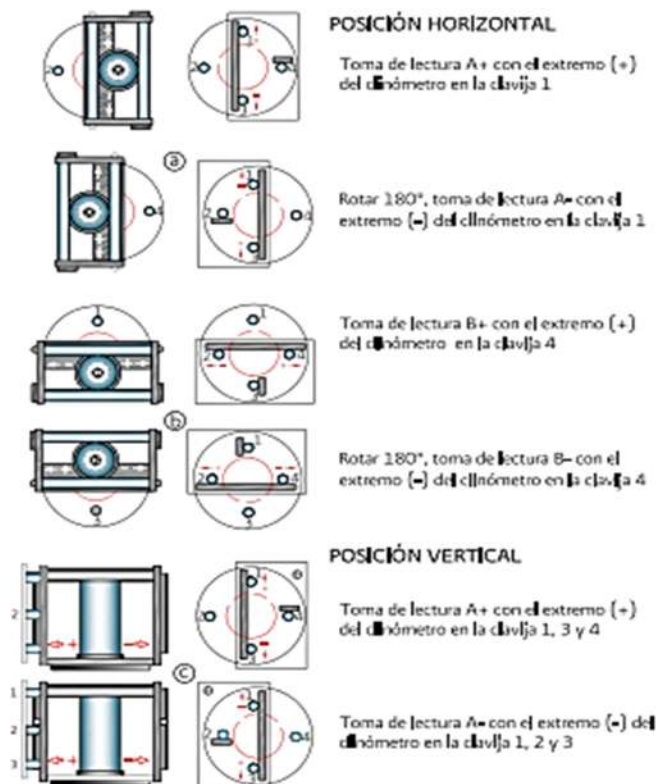


Fig.1. III.3.4.2.3

Diversas posiciones del clinómetro portátil para tomar lecturas e instalación de un clinómetro.



III.3.4.2.4 CELDAS HIDRÁULICAS.

Las celdas de asentamiento es un instrumento muy sencillo y útil, que está diseñado para medir deformaciones verticales (asentamientos o expansiones) en un punto de interés al interior de un terraplén. Las lecturas se realizan desde una caseta y es particularmente útil donde el acceso es difícil. Además, su instalación no interfiere con el proceso de construcción. Las celdas de asentamiento consisten de tres componentes principales:

- *Un transductor de presión.*
- *Un conjunto de tubos y cables de conexión.*
- *Un depósito de líquido (50% de agua y 50% anticongelante)*

El transductor de presión unido al tubo lleno de líquido quedando ambos embebidos en el relleno; el otro extremo del tubo termina en un depósito de líquido. El depósito del líquido debe colocarse con una elevación mayor que el punto de medición. El tubo actúa como una columna de líquido y el transductor mide la presión en el fondo creada por la columna de agua. Al asentarse la base donde está asentado el transductor, se incrementa la altura de la columna de agua. El asentamiento se calcula midiendo el cambio de presión y transformándolo en métodos de carga de hidráulica, mediante la diferencia se conoce el asentamiento.



Foto 1. III.3.4.2.4 Celda de asentamientos.

Foto 2. III.3.4.2.4
Caseta para tomar lecturas.

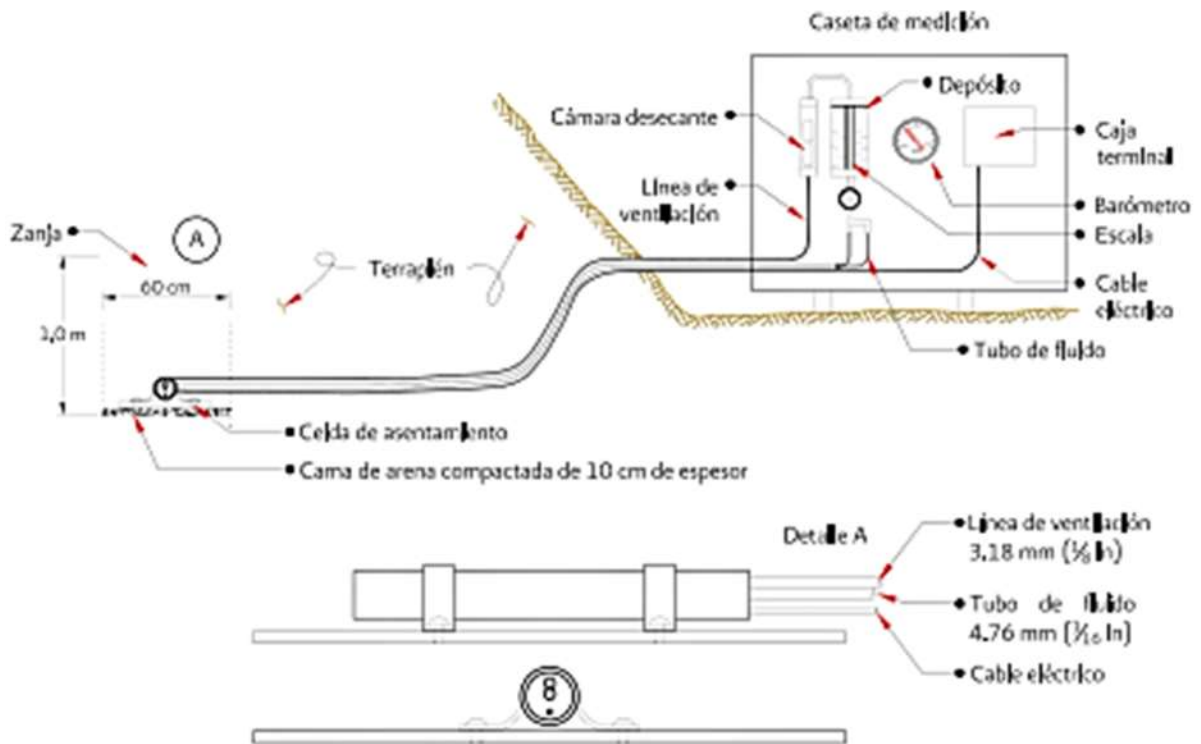


Fig.1. III.3.4.2.4 Componentes de la celda de asentamientos.



III.3.5 INSTRUMENTOS PARA MEDIR ESFUERZOS.

Las Celdas de presión se utilizan en la instrumentación de una masa de suelo para medir los esfuerzos totales en su interior, las cuales se instalan durante la construcción de terraplenes que conforman la cortina de tierra o enrocamiento.

La medición de los esfuerzos cortantes de una masa de suelo, debido a los procesos de construcción o excavación, es una necesidad de gran importancia para la ingeniería de presas para calcular los esfuerzos efectivos y como consecuencia conocer el esfuerzo cortante en el punto de medición.

Las mediciones de los esfuerzos totales difícil, ya que la precisión de los valores medidos depende de las características de los instrumentos, del método de instalación y de las propiedades de los materiales donde se colocan. Las mediciones de los esfuerzos totales presentan problemas que surgen de la interacción suelo-instrumento debidos a la naturaleza diferente de los materiales de suelo e instrumento, y a la alteración del campo de esfuerzo en el interior de una masa de suelo.

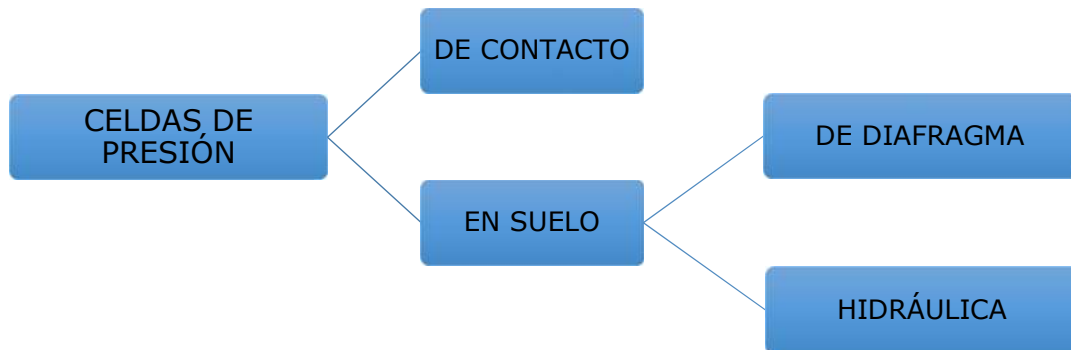
A menos que las características esfuerzo-deformación de la celda sea idénticos a la del suelo, la presión aplicada en la celda siempre será en función de la interacción suelo-celda. Una celda más rígida que el suelo circundante tendrá a detectar una mayor presión que la aplicada, mientras que una celda menos rígida que el suelo circundante tenderá a medir una menor presión que la aplicada.

Las celdas de presión constan de cuatro pares básicas:

- *Una capsula plana llena de líquido.*
- *Un sensor.*
- *Un cable eléctrico.*
- *Una unidad de lectura*



Las celdas de presión se dividen en dos categorías dependiendo de la función de su aplicación:



Esquema III.3.5 Tipos de celdas de presión.

III.3.5.1 CELDAS DE PRESIÓN DE CONTACTO.

Las celdas de presión de contacto se usan para medir las presiones de tierra que actúan sobre estructuras enterradas.

III.3.5.2 CELDAS DE PRESIÓN EN SUELO.

Las celdas de presión en suelo se instalan en el interior de una masa de suelo o relleno. En este tipo de celdas de presión se tienen dos tipos.

III.3.5.2.1 CELDAS DE PRESIÓN DE DIAFRAGMA.

Están constituidas por una membrana circular rígida apoyada sobre un anillo perimetral, la membrana circular se deforma debido a la presión externa, la deformación se detecta mediante un transductor de resistencia eléctrica adherido sobre la cara interna de la membrana circular, o por un transductor de cuerda vibrante, cuerda soportada por postes adheridos también a la cara interna de la membrana.

Foto 1. III.3.5.2.1
Celda de presión de diafragma.



III.5.5.2.2 CELDAS DE PRESIÓN HIDRÁULICA.

Es una capsula plana (lenteja) que consiste en dos placas de acero, circulares o rectangulares, que se unen con soldadura en la periferia; la cavidad interna entre sus caras se llena con un fluido no compresible y se conecta a un transductor mediante un tramo de tubo de acero inoxidable. En las cortinas de tierra y enrocamiento se recomienda utilizar las celdas tipo hidráulicas, ya que son de alta sensibilidad. En el mercado existen diversos modelos de celdas y el transductor puede ser neumático, de resistencia eléctrica, de cuerda vibrante, piezocerámicos o de fibra óptica.

Foto 1. III.3.5.2.2
Celda de presión hidráulica.



Las celdas de presión se pueden instalar de manera individual o en grupo. Cuando se trata de **celdas individuales** generalmente se colocan en posición horizontal para medir los esfuerzos verticales.

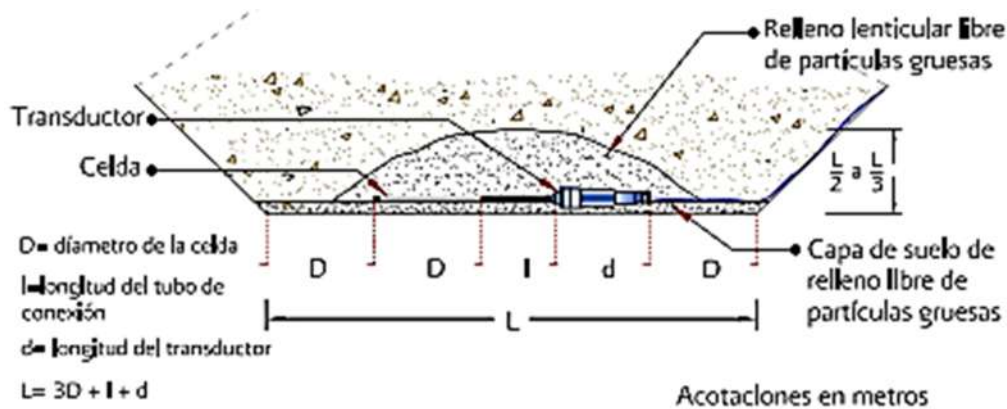


Fig. 1. III.3.5.2.2 Celda de presión hidráulica individual.

Quando es de interés medir la presión en diferentes direcciones en una zona determinada del relleno, se instala un **grupo de celdas** con una distribución específica y a una misma elevación en posición horizontal (esfuerzos verticales), vertical (esfuerzos horizontales) y en posición inclinada, respecto a la horizontal.

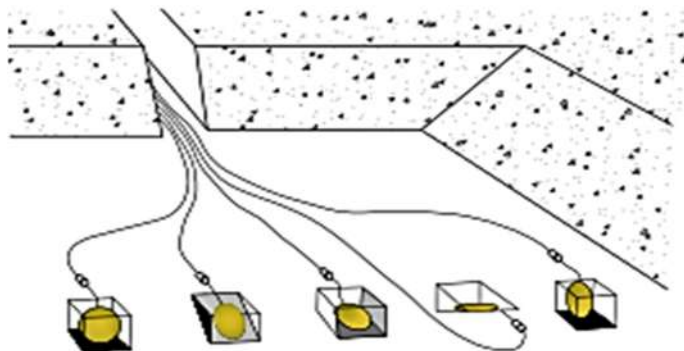
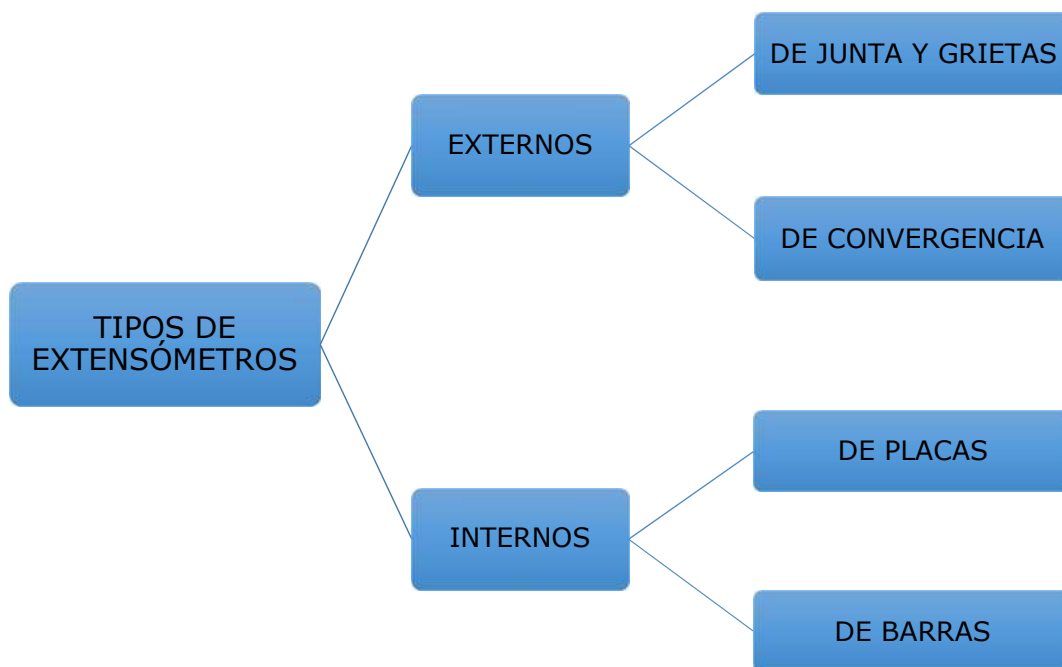


Fig. 2. III.3.5.2.2 Celdas de presión hidráulica en grupo.

III.3.6 INSTRUMENTOS PARA MEDIR DEFORMACIONES.

Los instrumentos que se utilizan para medir las deformaciones son los métodos topográficos (descritos anteriormente) y los extensómetros. Los extensómetros son instrumentos para medir el cambio de distancia entre dos puntos, cuya separación inicial se conoce; se colocan en todo tipo de estructura para determinar la magnitud de las deformaciones lineales, ya sean horizontales, verticales o con cualquier ángulo que se necesite.



Esquema III.3.6 Tipos de extensómetros.

Son externos cuando se instalan sobre una superficie al aire, e internos cuando se instalan en el interior de una masa de suelo o roca. A su vez tanto los externos como los internos, se pueden subdividir en mecánicos y eléctricos. Los primeros requieren de la lectura directa de datos mediante micrómetros, indicadores de caratula, cinta, etc.; mientras que los segundos están provistos con algún tipo de transductor como el potenciómetro lineal, el transformador diferencial variable lineal (TDVL), el transformador diferencial de corriente directa (TDCD), el de reluctancia variable (RV) o el de cuerda vibrante (CV).

III.3.6.1 EXTENSÓMETRO EXTERNOS.

III.3.6.1.1 EXTENSÓMETRO EXTERNO DE JUNTA Y GRIETA.

Este equipo se emplea para obtener el cambio de distancia entre dos puntos sobre una superficie rocosa en las laderas, en juntas constructivas o en una estructura de concreto. El sistema básico de un sistema de convergencia es:

- **Dos puntos de referencia o anclas**, que se instalan de manera permanente en el interior de un barreno, los cuales son pernos fabricados de acero (varilla), se fijan en el interior del barreno ya sea con lechada, epóxico o taquetes expansivos. Los cabezales presentan un mecanismo articulado.
- **El cuerpo del extensómetro**, que se instala de manera temporal o permanente entre dos puntos de referencia. Se compone de un cable o barra que se desliza conforme al desplazamiento. En caso de ser eléctrico contiene el transductor.
- **Una unidad de lectura**, que contiene un micrómetro o un dispositivo portátil de lectura.

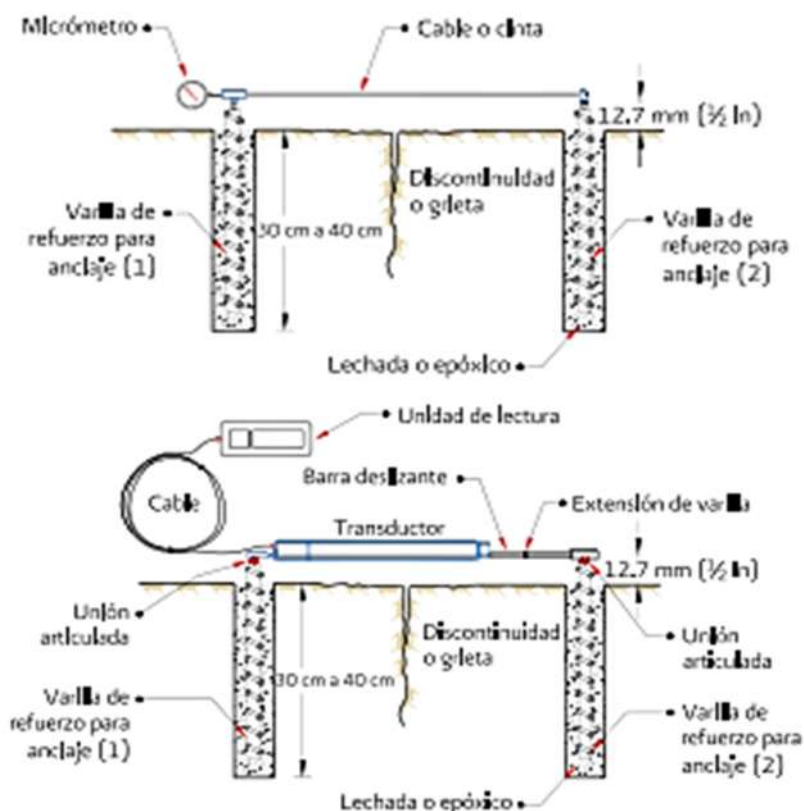


Fig.1.
III.3.6.1.1
Extensómetro
mecánico y
extensómetro
eléctrico.

III.3.6.1.2 EXTENSÓMETRO EXTERNO DE CONVERGENCIA.

Se utiliza para medir el cambio de distancia entre dos puntos en zonas cerradas, como túneles, excavaciones o galerías. Dentro de esta clasificación se tiene:

- **Medidor con cinta o cable**, consiste en una cinta o cable enrollado en un carrete, que se sujeta mediante ganchos de seguridad a dos anclas con armella, cuya distancia se desea medir, un mecanismo para ejercer tensión sobre la cinta metálica perforada y una unidad de lectura. El cable o la cinta se fabrican de acero invar, acero inoxidable o fibra de vidrio. Las perforaciones de la cinta se encuentran esparcidas y sirven para tensa la cinta, dicha tensión se puede lograr manualmente o con un motor eléctrico.
- **Medidor con tubo o barra**, consiste en un tubo rígido o barra telescópica de material invar, aluminio o acero galvanizado, provisto de placas en sus extremos; se emplea un micrómetro para las mediciones. Se utiliza en túneles y puede colocarse vertical, horizontal o inclinado. Su precisión puede verse disminuida por la longitud del tubo o barra empleada y por las deformaciones ocasionadas en los puntos de contacto. Al medidor se le puede adaptar un transductor eléctrico.
- **Medidor ultrasónico**, se compone de un transductor y un equipo de lectura. El transductor emite una onda acústica hacia la superficie de interés, el tiempo en que tarda en viajar, reflejarse y retornar al equipo se cuantifica para determinar la distancia.

Las unidades de lectura pueden ser con indicador de carátula, de lectura digital o con unidad portátil para cuando se dispone de un transductor.

Foto 1. III.3.6.1.2
Extensómetros de
convergencia de
cinta o cable.



III.3.6.2 EXTENSÓMETRO INTERNOS.

III.3.6.2.1 EXTENSÓMETRO INTERNOS DE PLACA.

Los extensómetros internos de placa se colocan en terraplenes (rellenos) para monitorear deformaciones horizontales entre dos puntos como grietas en una masa de suelo. El extensómetro interno eléctrico utiliza una varilla de acero inoxidable, protegida por una tubería de PVC telescópica. En un extremo de la barra se localiza un sensor que puede ser de cuerda vibrante que mide el desplazamiento del suelo mediante el cambio de posición de las placas de referencia, a través de la lectura inicial y las lecturas subsecuentes para conocer la magnitud y la velocidad de los movimientos. El sistema básico que compone a un extensómetro interno, consta de:

- **Dos placas de referencia**, fabricadas de acero, las cuales se instalan de manera permanente en el interior de una masa de suelo y pueden ser de forma circular o cuadrada.
- **El cuerpo del extensómetro**, que se instala permanente entre las dos placas de referencia, contiene el tubo telescópico, transductor y varillas de acero.
- **Una unidad de lectura**, que consiste en un dispositivo eléctrico de lectura.

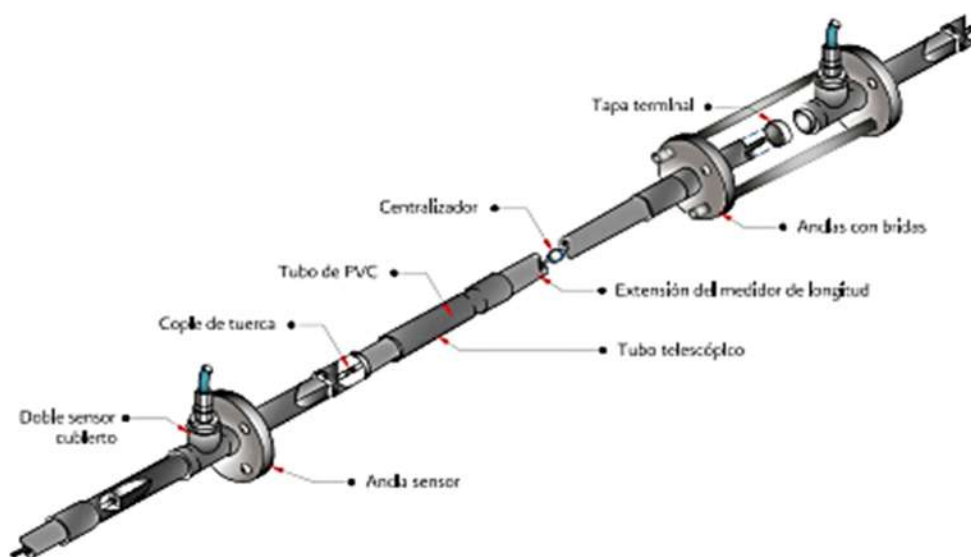


Fig.1. III.3.6.2.1 Extensómetro interno de placa.



III.3.6.2.2 EXTENSÓMETRO INTERNOS DE BARRA.

Los extensómetros internos de barras se instalan sobre un barreno realizado en suelo o roca donde se tenga la presencia de discontinuidades, pero que mediante barras ancladas en un extremo y libres en el extremo de la cabeza donde se tiene un punto de referencia, se puede determinar su movimiento relativo axial, empleando un instrumento ya sea mecánico o eléctrico, comprobando que pasen todos los componentes del extensómetro. En cada barreno se pueden colocar de una a ocho barras la dificultad de instalación crece al aumentar el número de anclas en un mismo barreno. Cada barra se fija al barreno en el extremo interior mediante un ancla, el otro extremo de la barra se fija al cabezal de referencia, el cual a su vez se fija firmemente en la boca del barreno.

El sistema básico que compone a un extensómetro de barras consta de un ancla, una barra de acero inoxidable, un cabezal de referencia y una unidad de lectura, las cuales en seguida se describen:

- **Se tienen diferentes tipos de anclas.**

Anclas hidráulicas. Son apropiadas para su uso en suelo se fabrican de dos tipos de tubo expandible y de punta borros. Las anclas de **tubo expandible** consisten en un tubo metálico aplanado con sus extremos sellados y una conexión para inyectar aceite a presión para expandir el ancla hasta que el metal haga contacto con la pared del barreno. Las anclas de **punta Borros** son apropiadas para uso de suelos blandos, consisten en tres puntas de acero en un tubo de acero, con las puntas saliendo por ranuras. El extremo superior tiene una rosca de mano izquierda y el tubo de acero está soldado a la parte superior de las puntas.

Anclas de cuña expandible. Consiste en una pieza cilíndrica provista de una cubierta con hendidura con tuerca tipo cuña. Al rotar la barra en el extensómetro, ocasiona que la tuerca cuña se mueva axialmente respecto a la cubierta expandiéndose y quedando sujeta dentro de las paredes del barreno. Para evitar que inicialmente que la cubierta rote, hay que



introducir el ancla de manera que exista fricción en el material circundante.

Anclas elásticas. Se conocen también como anclas-C, se instalan empujándolas dentro de la perforación hasta la profundidad requerida, se libera el pasador en forma de U que permite que los anillos se abran para fijarse contra la pared del barreno. Estos anclajes son útiles en roca dura y competente.

Anclas de lechada. Se utilizan preferentemente en barrenos inclinados en roca, no se recomienda su uso en suelos, las barras deben de protegerse con tubos de plástico para aislarlas de la lechada, los extensómetros se arman en la superficie y se introducen dentro del barreno, se pueden colocar hasta seis anclas en el barreno.

- **Tipos de barras.** Las barras se fabrican de acero dulce, acero inoxidable, de acero invar, fibra de vidrio o fibra de carbón, no se recomienda exceder una longitud de 90m. Para unirlos se emplean coples roscados. También se fabrican en rollos de fibra de vidrio que no requieren enderezarse para su instalación, las barras se deben de proteger con tubos de plástico rellenos de aceite.
- **Cabezal de referencia.** Se fabrican para medidores mecánicos cuando se tiene fácil acceso al barreno y de tipo eléctrico, cuando el acceso es difícil o cuando se requiere lectura remota. Para la toma de lecturas está provisto de perforaciones que deberán contar con la identificación de la barra correspondiente.
- **Unidad de lectura.** Las unidades de lectura pueden ser mecánicas o eléctricas. **Los mecánicos** son unidades de lectura manual, con indicador de carátula o micrómetro de profundidad. Los micrómetros son más resistentes que los indicadores de carátula, sin embargo estos últimos son preferibles por tener una aproximación de 0.03mm (0.0001in). Las unidades de lectura **eléctricas** requieren un sensor como los potenciómetros lineales, los transformadores diferenciales de variable línea o los transductores de cuerda vibrante, son de costo más económico y más resistentes se deben de considerar como primera selección, siempre y cuando no se requieran automáticos o de monitoreo remoto.

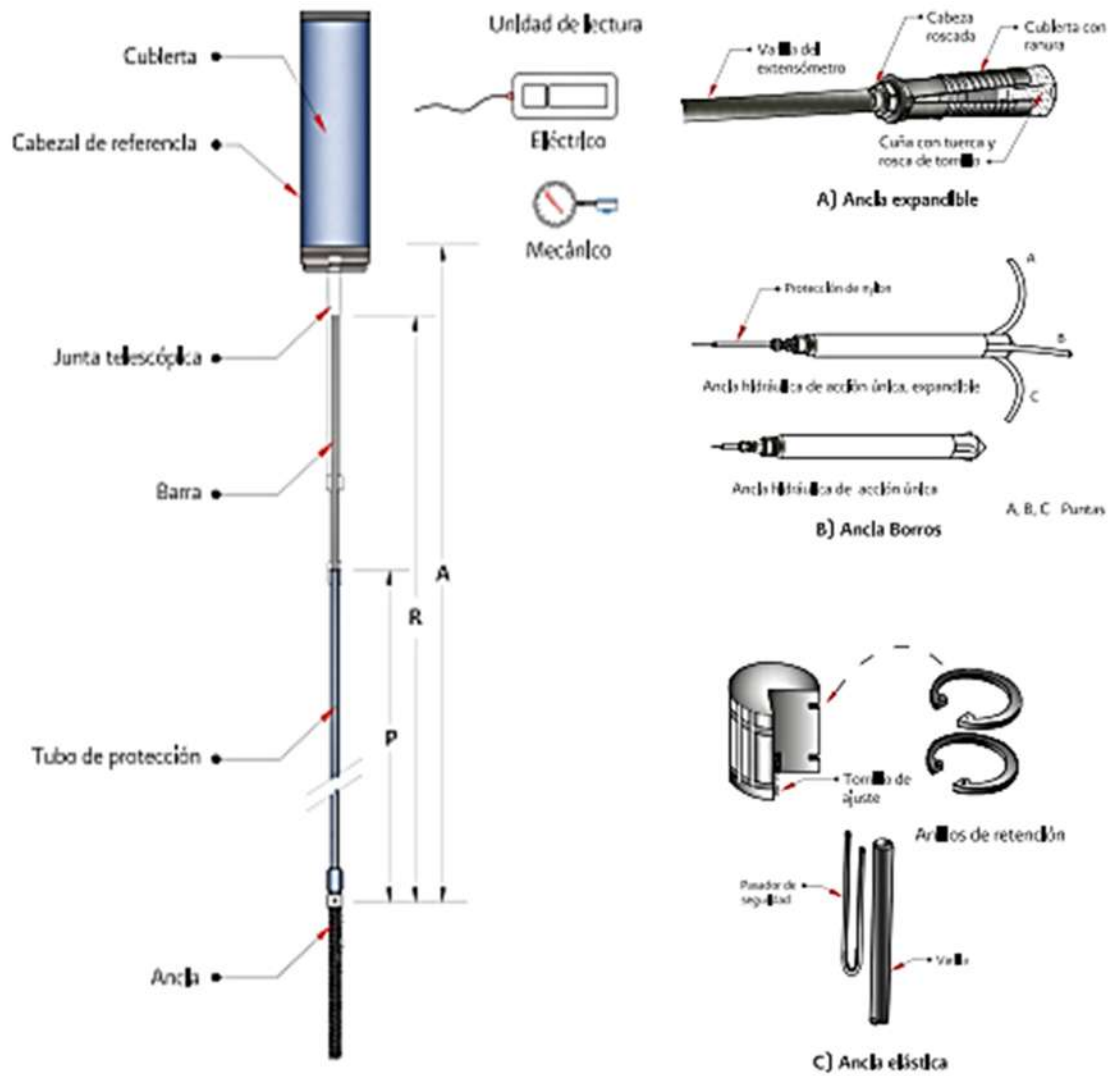
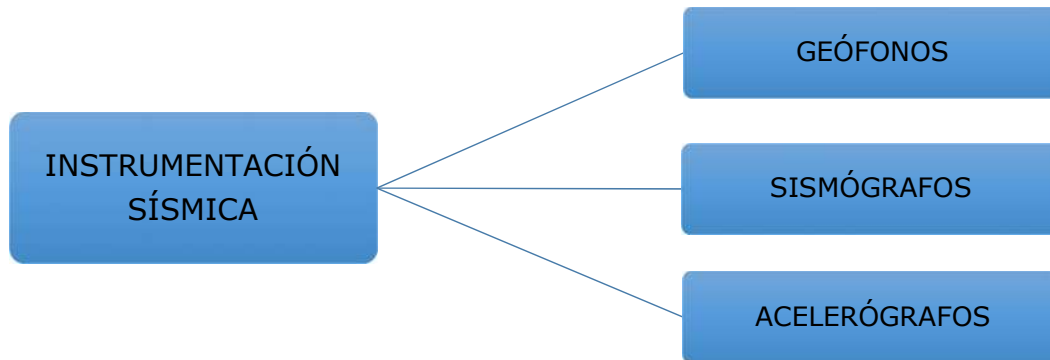


Fig.1. III.3.6.2.2 Componentes de un extensómetro interno de barras y tipos de anclas para extensómetro internos de barras.

III.3.7 INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA.

En el diseño de una instrumentación para medir vibraciones se debe tener en cuenta los siguientes factores: el sistema debe ser capaz de registrar los movimientos del terreno, cubrir todo el rango de frecuencia de las vibraciones que se espera encontrar y tener el control preciso del tiempo.



Esquema III.3.7 Tipos de instrumentos sísmicos.

III.3.7.1 GEÓFONOS.

Se utilizan en prospecciones geofísicas (micro sísmica), y en general, para medir vibraciones producidas por el hombre (funcionamiento de maquinaria, hincado de pilotes, trabajos de demolición, uso de explosivos, excavaciones, tráfico de vehículos, etc.) Consiste en un sensor construido con un cristal piezoeléctrico montado en un cantiléver con una frecuencia natural de aproximadamente 1000 Hz. La señal del sensor se amplifica y alimenta de registro para obtener una gráfica tiempo-aceleración y una salida para detección acústica.

Foto 1. III.3.7.1
Geófono



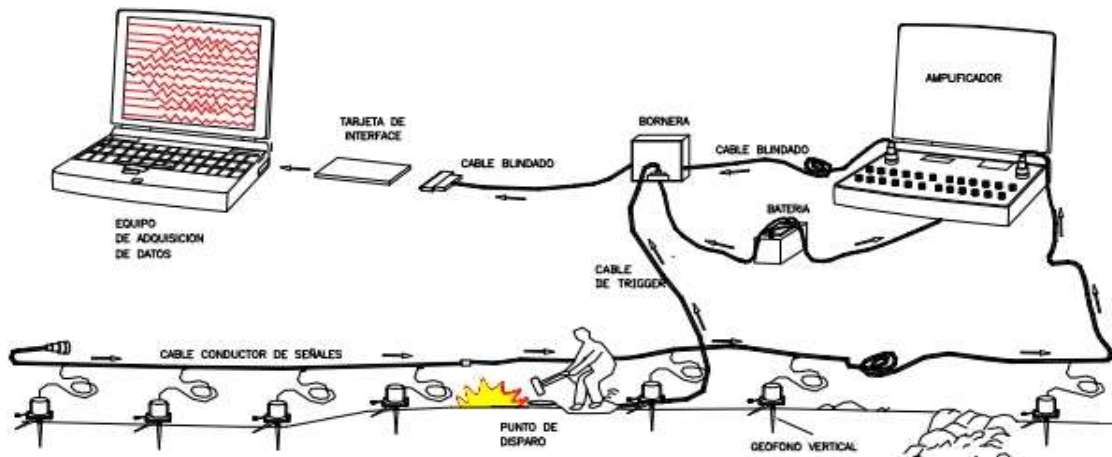
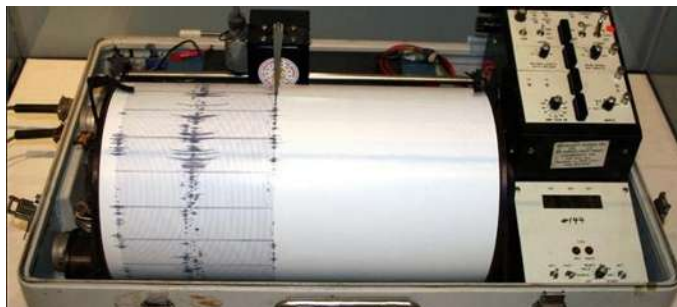


Fig.1. III.3.7.1 Diagrama del equipo de ensayo de refracción sísmica.

III.3.7.2 SISMÓGRAFOS.

En general, un sismógrafo es todo aparato que escribe un registro permanente y continuo de los movimientos del terreno. El registro (sismograma) se realiza con trazas sobre papel satinado. Los componentes básicos del sismógrafo incluyen: un marco de base, de uno a tres sensores, un reloj de precisión y el sistema de registro. Los sensores usuales son sistemas de masa-resorte-amortiguador, cuyas constantes físicas (periodo natural, rango, amplificación, amortiguamiento) son conocidas para poder calibrar el aparato y calcular los movimientos del terreno a partir del sismograma. Estos instrumentos usualmente son portátiles y alimentados por baterías. Los sismógrafos se utilizan para registrar niveles de actividad sísmica desde muy baja (micro sismicidad) hasta moderadamente alta.

Foto 1.
III.3.7.2
Sismógrafo



III.3.7.3 ACELERÓGRAFOS.

Para niveles altos de actividad sísmica, se utilizan sismógrafos que registran la aceleración del terreno, por lo que se denomina acelerógrafos. Los sensores generalmente son del tipo balanza de fuerza y se utilizan tres, colocados con arreglo ortogonal, donde uno es vertical. El sistema de registro puede ser en cinta magnética o memoria de estado sólido. Los aparatos comunes permiten registrar movimientos sísmicos hasta de 1 g y normalmente son activados a 0.1 g. El sistema de control del tiempo puede ser un radio transmisor acoplado y sintonizado con una señal de tiempo universal o un reloj electrónico de precisión interno que se ajusta cada vez que se da mantenimiento al instrumento. La fuente de alimentación consiste en baterías recargables conectadas con celdas solares. Además, el aparato debe de contar con un sistema de disparo que activará el registro a un predeterminado nivel de movimiento de entrada, de manera que se tenga el instrumento completamente operacional y registrando en menos de 0.1 segundo, Aunque este es un tiempo corto, se pierde el registro del inicio del sismo, por lo que en algunos aparatos modernos ya se ha incluido la opción de "memoria de pre-evento", que permite registrar el acelerograma completo desde el inicio. Usualmente los acelerógrafos permiten registrar tantos eventos como dure la película, cinta magnética o capacidad de memoria del aparato.

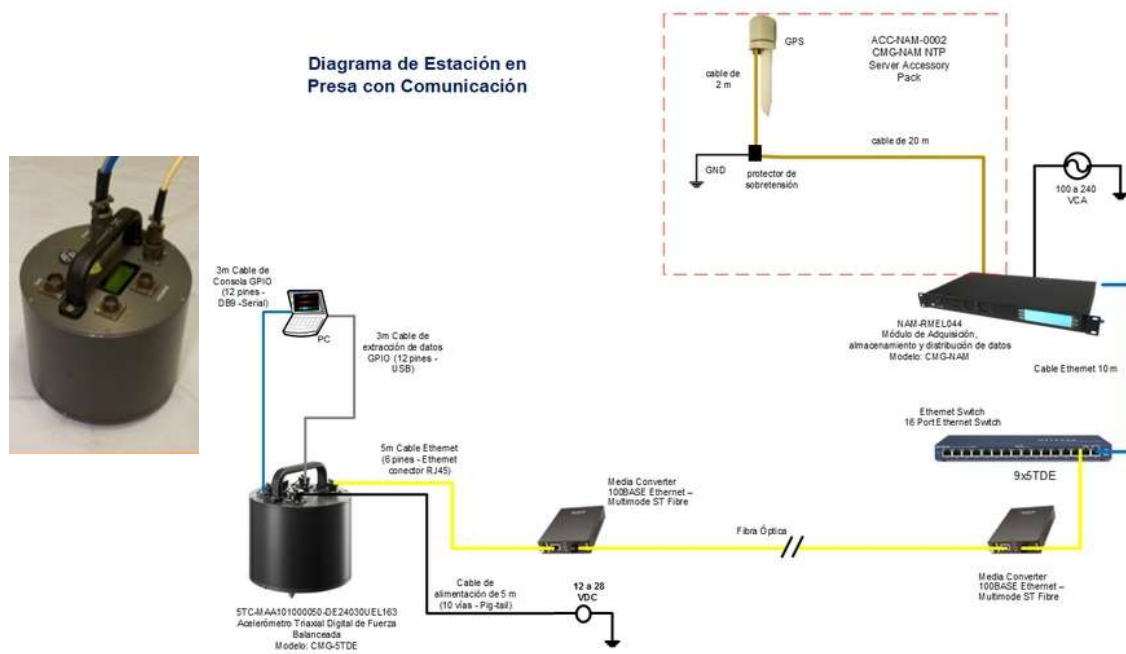


Fig.1. III.3.7.3 Acelerógrafo y su diagrama de funcionamiento.

IV. TRABAJOS DE INSTRUMENTACIÓN EN LA PRESA FRANCISCO J. MÚGICA.

La presa Francisco J. Múgica se encuentra en los límites de los municipios de Múgica y La Huacanca, en Michoacán, sobre el cauce del río el Marqués. Es una obra de usos múltiples, cuyo principal objetivo es el riego agrícola. Para optimizar su uso posee una planta de generación de energía eléctrica para aprovechar los caudales agrícola y ecológico. A mediano plazo se contempla el desarrollo piscícola y turístico. La presa forma parte del Distrito de Riego 97, uno de los más extensos y antiguos del país (1938), que abastece de agua a unas 87,000 hectáreas. Esta obra junto con el canal de conducción de 35.5 kilómetros de longitud, solucionando el subministro de agua en 12,200 hectáreas, beneficiando a cuatro ejidos de riego del Municipio de Múgica y Parácuaro.

IV.1 GEOLOGÍA REGIONAL.

El área de estudio se encuentra ubicada al oriente del poblado de Nueva Italia Michoacán.



Fig.1. IV.1 Imagen satelital de la ubicación del proyecto hidroagrícola Presa Francisco J. Múgica.

Las figuras 2 y 3 muestra la ubicación del área de estudio en la carta geológica minera Colima E13-3, así como su columna estratigráfica correspondiente.

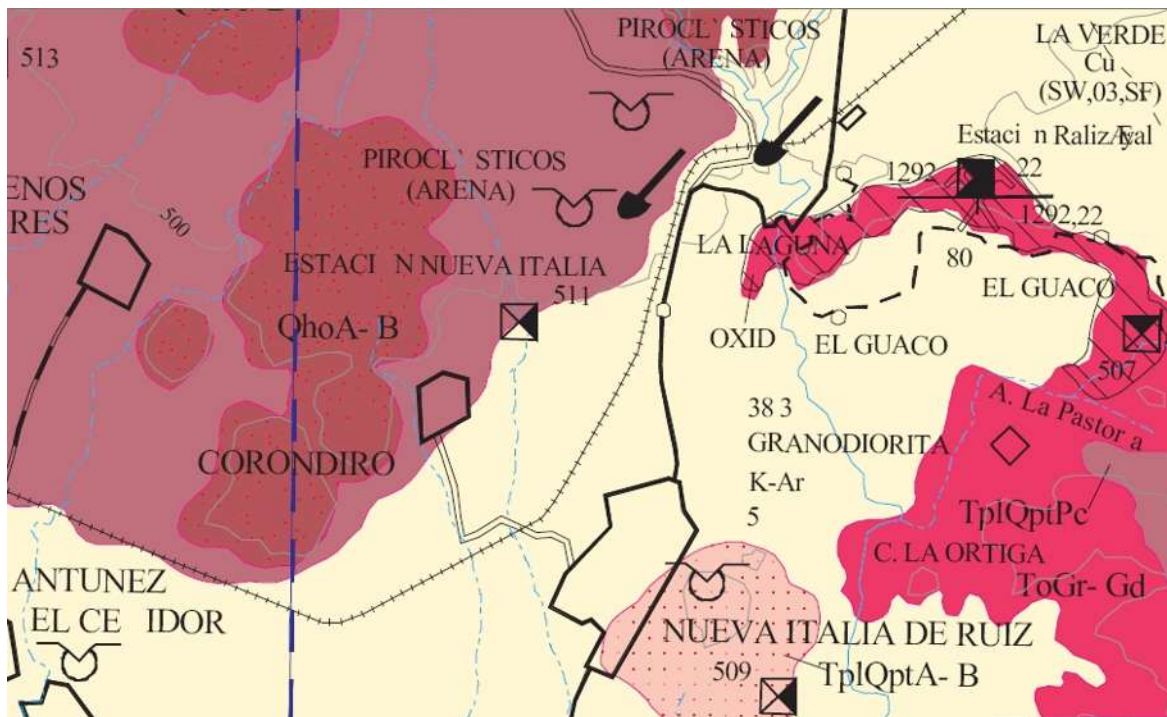


Fig.2. IV.1 Ubicación del área de estudio en la carta geológico-minera de colima E-13-3.

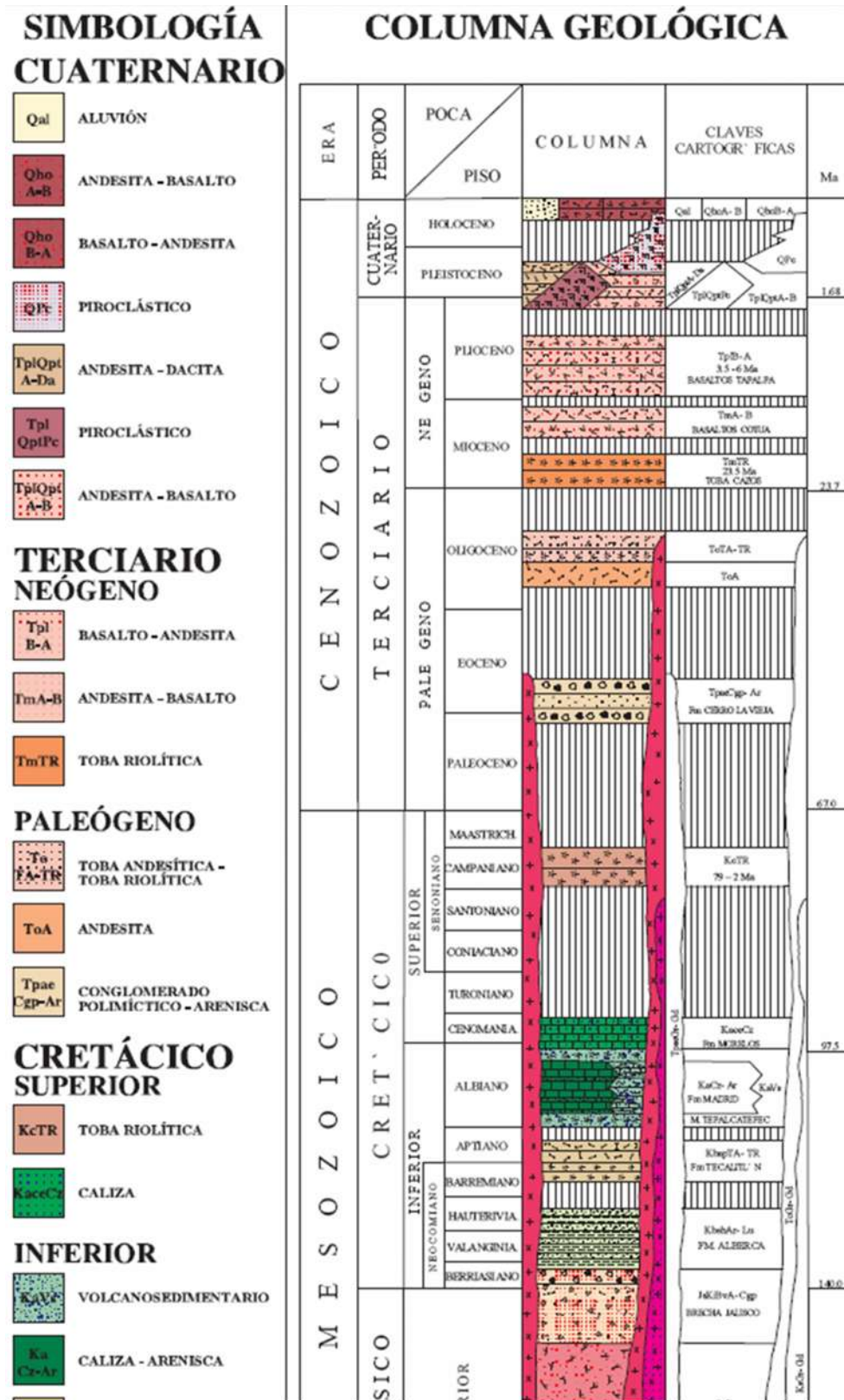


Fig.3. IV.1 Columna Estratigráfica.



La carta Colima se ubica en la porción occidental del estado de Jalisco, abarcando parte de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán, entre las coordenadas $19^{\circ} 00'$ a $20^{\circ} 00'$ de latitud norte y $102^{\circ} 00'$ a $104^{\circ} 00'$ de longitud oeste, cubriendo una superficie de 23,040 Km².

El sur occidente de México está conformado por una serie de bloques corticales limitado por estructuras geológicas mayores (Mooser, 1972). La carta Colima está ubicada en la frontera de los bloques Jalisco, Michoacán y Norteamérica, todos ellos cubiertos parcialmente por la Faja Volcánica Mexicana. En el extremo occidental, el semigraben de Colima separa el bloque Jalisco del bloque Michoacán; en tanto que hacia el norte el semigraben de Chapala limita Norteamérica de Michoacán; finalmente hacia el NE, el sistema Chapala-Oaxaca representa el límite del bloque de Michoacán (Harrison y Johnson, 1992).

Las rocas más antiguas corresponden a la cuarcita Tamazula (JsC) que consta de cuarcita micácea con cuarzo anhedral formando bandas paralelas, alternando con franjas de muscovita-biotita; su edad tentativa de acuerdo a relaciones estratigráficas es Jurásico superior. Del jurásico superior al cretácico inferior se tiene la Brecha Jalisco (JsKiBvA-Cgp) cuyo significado geológico aún sigue siendo un enigma.

La cubierta sedimentaria, en general constituida por una secuencia volcano-sedimentaria cubierta por calizas, evidentemente representa una fracción de un arco volcánico del Cretácico inferior. La unidad más antigua de la secuencia volcano-sedimentaria es la Formación Alberca (KbehAr-Lu) que descansa discordantemente sobre la brecha Jalisco, se trata de una unidad de areniscas calcáreas, lutitas negras, tobas de color claro y calizas negras arcillosas dispuestas en estratos delgados. Se reconoció un miembro superior sin macrofauna, constituido por calizas y lutitas negras, tobas color blanco y verde, escasos derrames andesíticos y areniscas de grano fino a medio de color café oscuro, de uno inferior constituido por lutitas negras, calizas arcillosas, tobas y areniscas con abundante macrofauna.

Intercalada entre la secuencia volcano-sedimentaria se tiene una secuencia piroclástica (incluye brechas, aglomerados e ignimbritas y eventuales lavas andesíticas)



cuya composición varía de andesítica a riolítica denominada Formación Tecalitlán (KbapTA-TR) y que representa la evidencia de un arco volcánico Cretácico inferior. La secuencia volcano-sedimentaria (KaVs) incluye las Formaciones Tepalcatepec (Pimentel 1980), Encino y Vallecitos (Pantoja y Estrada, 1983), por ello es obvio que su definición varía en función de la localidad tipo de cada formación. Así, en la región de Tepalcatepec la secuencia volcano-sedimentaria está constituida por calizas con rudistas y microfauna bentónica en capas gruesas a masivas, alternando con capas gruesas de tobas andesíticas y brechas volcánicas. En tanto que en El Encino se trata de una serie de rocas volcanoclásticas marinas que consisten de conglomerados, tobas epiclásticas gris verdosa granulométricamente representadas por areniscas, limolitas y lodolitas, con intercalaciones lenticulares de caliza que sobreyacen en discordancia angular a una secuencia de más de 350 m de derrames, toba ignimbrítica, caliza arrecifal y rocas volcanoclásticas de ambiente marino. Contemporáneamente con la secuencia volcano-sedimentaria se desarrolló una sucesión de estratificación delgada a mediana, que cambia de facies a yesos denominada Formación Madrid (KaCz-Ar), esta formación estaría representando facies de aguas profundas de la cuenca Colima-Guerrero. La Unidad KaceCz es la más joven de las rocas carbonatadas y presentan una estratificación gruesa a masiva y contiene eventuales horizontes de yesos. En ocasiones es una caliza arcillosa de color negro.

Indudablemente el ambiente geodinámico del occidente de México durante el Mesozoico fue muy activo, ello se ve reflejado por la sucesión de rocas piroclásticas que cubren prácticamente la parte centro-norte del bloque Jalisco. En la carta Colima, esta sucesión (KcTR) se refiere a rocas piroclásticas de composición riolítica, con eventuales horizontes de tobas andesíticas, localizada en el extremo NW de la carta. La formación Cerro La Vieja (TpaeCgp) es definida como una secuencia detrítica de conglomerados de composición calcárea que ha sido subdividida en cuatro miembros que de la base hacia la cima son: (a) conglomerados calcáreos con matriz limolítica; (b) conglomerados calcáreos con matriz de lodo calcáreo; (c) limolitas; y (d) areniscas y limolitas.

La sierra madre occidental forma una franja con una tendencia SE y dimensiones aproximadas de 250 Km. de ancho por 1200 Km. de largo. En la carta Colima las unidades ToA, ToTA y TmTR, de las cuales sólo la última está fechada por K-Ar en 23.5 Ma, pertenecen a la Sierra Madre Occidental. Las dos primeras unidades muestran un



basculamiento que contrasta con la horizontalidad de la toba riolítica del Mioceno (TmTR). Aparentemente a partir del Mioceno tardío sucedieron reorganizaciones importantes en el movimiento de las placas que interactuaban con el continente lo que provocó que el arco volcánico miocénico, representado por la Sierra Madre Occidental, cambiará progresivamente su orientación hasta dar lugar a la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVT) dentro de la cual se han distinguido dos unidades basáltico-andesíticas del Terciario (tmAB y TplB-A) como las más antiguas. La unidad TmA-B es el vulcanismo basal de la FVT en tanto que la composición alcalina de la unidad TplB-A, reconocida al norte del Complejo Volcánico Colima, representa el inicio del rompimiento continental en esta área. Incluido dentro de la FVT se tiene el Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (Tpl-QptA-B) formado por unos 1040 centros volcánicos, en su mayoría conos monogenéticos (Hasenaka y Carmichae, 1985) que distribuyen de manera preferencial en la parte oriental de la carta Colima. Contemporáneamente a este vulcanismo se desarrollaron las andesitas y dacitas que forman el Volcán cántaro (Tpl-QptA-Da), el más antiguo del Complejo Volcánico Colima, y los flujos piroclásticos de este volcán y del Tancítaro (Tpl-QptPc). Con una migración del vulcanismo hacia el sur del Cántaro, se desarrollaron los volcanes Nevado de Colima y Colima (QhoA-B) así como varios flujos piroclásticos que acompañaron su evolución (QPc). Finalmente, el grupo Paricutín (QhoB-A) se desarrolló al norte del volcán Tancítaro en el sector oriental de la carta. Las rocas plutónicas que se reconocen en la carta Colima se distribuyen en una migración hacia el SE. El extremo NW de estas rocas intrusivas es el plutón de Puerto Vallarta (KsGr-Gd, 75-100 Ma) que se reconoce como el más antiguo y constituye la mayor parte del bloque Jalisco. El batolito de Jilotlán (TpaeGr-Gd, 55-66 Ma) forma parte la parte oriental del bloque Michoacán y aflora en el centro de la carta donde también se distribuye una serie de diques (Tpli) de composición andesítica. Hacia los límites con la carta Morelia afloran los más orientales de los plutones reconocidos cuyas edades isotópicas son de 32 y 34 Ma (ToGr-Gd).

Desde el punto de vista estructural se tiene estructuras en el dominio continuo (compresivas) de las que sobresalen algunas estructuras plegadas como son el Anticlinal de Manantlán, el Anticlinal de Jala y el Anticlinal El Naranja, todos ellos localizados en la porción suroeste de la carta y que motivaron la perforación de varios pozos con propósitos petroleros. Los sistemas de deformación discontinua (fallas) están relacionados a la parte norte con el Graben de Colima y al sistema Chapala-Oaxaca, así como a un intenso fracturamiento que afecta al batolito de Jilotlán.



La porción norte del Graben de Colima está formada por un sistema donde la falla Techaluta con dirección N-NE, tiene 2500 m de desplazamiento vertical y 53 Km de longitud. Hacia el sur, esta falla cambia progresivamente a una dirección N-S donde su prolongación se infiere por el emplazamiento de la cadena de volcanes formada por El Cántaro, Nevado de Colima y Colima. La margen oriental de la depresión la constituyen otras fallas menores que, progresivamente hacia el norte, se unen con el semigraben de Citlala.

El sistema Chapala-Oaxaca es un lineamiento de dirección aproximada N 50° W y 100 Km de longitud que representa una estructura cortical con movimiento lateral izquierdo que separa la porción norte de México de los bloques Guerrero y Michoacán. El extremo NW de este sistema sobresale tres segmentos con cualidades distintas. El semigraben de Cotija y la Falla Huacana representan la deformación quebradiza de esta porción del sistema en tanto que en la parte sur del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG), la deformación se ve reflejada por un alineamiento NE de centros volcánicos asumiendo que éstos son el reflejo de un sistema de diques a profundidad (Rosas- Elguerra et al, 1999).

El semigraben de Cotija es una depresión de orientación N 50° W con una longitud de 32 Km. La falla principal es de tipo normal de edad Mioceno superior-Plioceno con reactivaciones hasta el reciente.

El sistema Chapala-Oaxaca es una frontera que permite distinguir una parte sur del CVMG donde los lineamientos volcánicos, de dirección NE, están mejor definidos que la parte norte del CVMG. Esta frontera también limita una parte norte donde la concentración de MgO es menor que en su porción sur. Es también a lo largo de esta estructura donde se emplazan dos de los volcanes más recientes como son el Parícutín y el Jorullo. En la parte central de la carta se distinguen lineamientos de orientación N-NE que afectan de manera particular al Batolito de Jilotlán y a las unidades litológicas que lo circundan. Esta misma dirección es la misma que tienen los diques andesíticos del sur de Tecalitlán y norte de Tepalcatepec y que coincide con la dirección de los lineamientos volcánicos del sur de CVMG.



Los yacimientos minerales están relacionados genéticamente con la subducción de la Placa del Pacífico bajo la de Norteamérica, evento que tuvo su máxima intensidad entre el Cretácico superior y el Terciario inferior generando un arco magmático, al que se le atribuye el origen de la mineralización (González y Torres, 1988).

En el área cubierta por la carta hay gran variedad de yacimientos minerales metálicos, que por su evolución geológica la hace favorable para la localización de yacimientos de tipo vulcanogénico, hidrotermal, metasomáticos de contacto y pórfidos cupríferos. En la región occidental se determinaron dos regiones mineras que se denominaron Cerro Náhuatl-Salaton y Pihuamo.

La región minera Cerro Náhuatl-Salaton se divide en el Distrito Minero de Cerro Náhuatl-Salaton y el Área Mineralizada de Piscila Salaton. El primero consiste de cuerpos metasomáticos de hierro con espesor promedio de 60 m. En una extensión de 400 m para el cuerpo Depósito Principal y una extensión de 240 m y espesor de 80 m para el cuerpo Depósito Poniente. El Área Mineralizada El Salaton Piscila con cuerpos irregulares de hierro en forma de bolsadas de 100 m de longitud, espesor de 40 m y 50 m de profundidad, con un origen metasomático de contacto. La región Minera de Pihuamo comprende tres Distritos Mineros (Pihuamo, Tepalcatepec y Ahuijullo) y dos Áreas Mineralizadas (Jilotlán de Dolores y Santa María del Oro).

El distrito de Pihuamo con yacimientos ferríferos metasomáticos de contacto, con minas en producción como son: Los Encinos con reservas de 17,000,000 de toneladas de hierro con contenidos de 65%; La mina El Ánima cuyo potencial no está disponible. El Distrito de Tepalcatepec con yacimientos vulcanosedimentarios, dentro de los cuales las más importantes y actualmente en producción son, Mina La Codicia con valores 1.0 g/ton. de Au, 1957 gr/ton de Ag, 4% de Cu y 1.5% de Pb-Zn; y la Mina La Blanca con mineralización polimetálica de Ag, Pb, Zn y Ba, ambos en cuerpos irregulares; también se tienen minas y prospectos con polimerización polimetálica en forma de vetas, stockworks e irregulares. El Distrito de Ahuijullo que consiste de yacimientos irregulares de hierro, de origen metasomático, además de vetas hidrotermales con oro, plata, plomo, zinc y barita asociada.



El Área mineralizada de Jilotlán de Dolores caracterizada por vetas hidrotermales con mineralización aurífera con valores de 1.8 gr/ton de Au y 1.33% de Cu (Mina La Inmaculada), y otros prospectos como son El Cobre con 5 gr/ton de Au y 0.6% de Cu, La Sultana con 0.6 gr/ton de Au y 0.3% de Cu y La Leona sin valores de Au pero con 0.14% de Cu. El Área Mineralizada de Santa María del Oro o Manuel M. Diéguez caracterizada por vetas angostas de poco corrimiento, pero con valores atractivos como en la Mina La Fortuna con valores de 14.82 gr/ton de Au y 277 gr/ton de Ag, el Prospecto El Bimbalete con valores de 450 gr/ton de Ag y la Veta Hukas con 24.7% de Zn.

La región de Apatzingán-Nueva Italia comprende el Área Mineralizada de La Verde consistente de un stockwork con mineralización cuprífera del tipo pórfido cuprífero donde se han calculado reservas del orden de 19,000,000 de ton con ley de 1.21% de Cu.

A partir de la investigación bibliográfica realizada del área de estudio (Carta Geológica Minera-E13-3) y de los caminamientos y observaciones geológicas realizadas se establece la siguiente geología local del área de estudio.

Conformando el basamento geológico del área de estudio se encuentra una unidad intrusiva conformada por granitos y granodioritas (To Gr-Gd) del Terciario Oligoceno, esta unidad geológica no aflora en el área de estudio, aunque se asume existe a profundidad. Cubriendo a la unidad anterior se observan rocas andesíticas (Tpl Qpt A-B) del plioceno y pleistoceno esta unidad aflora en la zona de estudio principalmente en las partes bajas y constituye el basamento geotécnico del proyecto. Sobreyaciendo a la unidad anterior se observan materiales piroclásticos del plioceno pleistoceno (Tpl QpcPc) fundamentalmente arenosos constituidos por cenizas volcánicas que varían desde limos arenosos hasta conglomerados formados por arenas, gravas y grandes bloques los cuales coronan los lomeríos principalmente en la margen derecha de la zona de interés.

IV.2 COMPONENTES DE LA PRESA.

Túnel de desvío. Tiene una longitud de 405 metros y una sección en portal de 8 m de diámetro. El túnel permitió desviar el río el Marqués de su cauce, dejando seca la zona de desplante de la cortina.



Foto 1. IV.2 Trabajos de excavación para el túnel de desvío.



Foto 2. IV.2 Trabajos de perforación (barrenación) para estabilización del túnel.



Foto 3 y 4. IV.2 Vista al interior del túnel de desvío.



Foto 5 y 6. IV.2 Vista del túnel de desvío en funcionamiento.

Tratamiento de la cimentación. Se perforaron 97 barrenos en profundidades de 40 a 70 metros para la formación de la pantalla impermeable en el macizo rocoso sobre el que esta desplantada la cortina el cual se realizó por medio de inyecciones de mezcla de cemento, con lo que se impide que el agua se filtre por debajo de la misma.

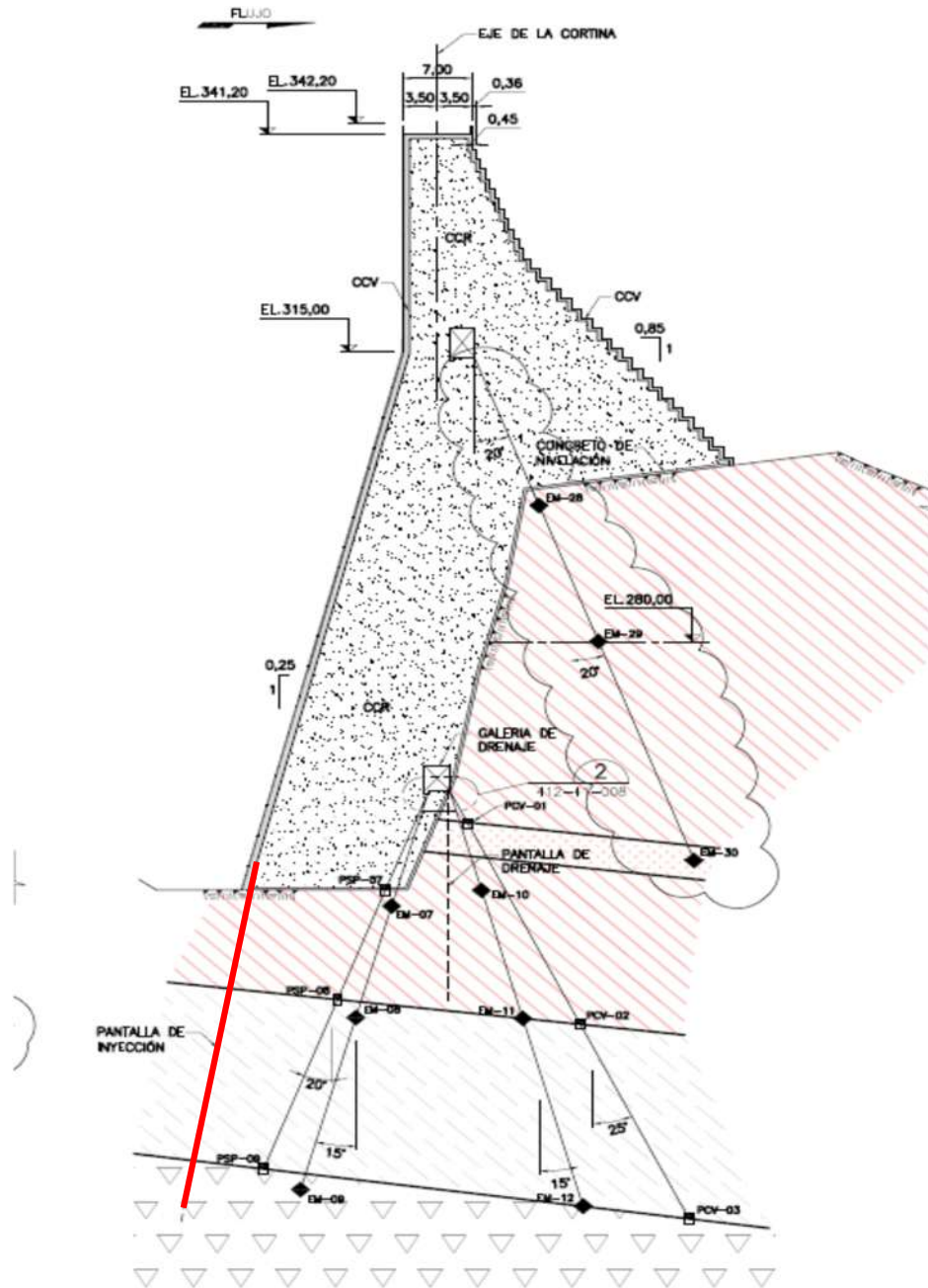


Fig.1. IV.2 Vista de la pantalla impermeable.



Cortina. Debido a la geología de la boquilla, se construyó una cortina mixta: un tramo principal de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) colocando en capas de 30 cm y compactado con rodillo, colocándose 367,000 m³ de CCR y 84,000 m³ de concreto convencional que consumieron 39,000 toneladas de cemento. Otro tramo de la cortina se construyó de materiales graduados con un corazón impermeable de arcilla y respaldo de enrocamiento, en la que se colocaron 290,000 m³ de materiales.

La tecnología del Concreto Compactado con Rodillo vibratorio (CCR) se utiliza desde 1975. Este tipo de concreto es revestimiento cero (no medible mediante el ensayo de asentamientos de cono), por lo que es posible utilizar rodillos vibratorios para su compactación: Para el CCR es posible emplearlo tanto para el transporte, la colocación y la compactación del concreto, los métodos utilizados habitualmente para el movimiento de tierras, lo que, unido a métodos ponentes de fabricación, como son los de producción continua de concreto, deriva en la obtención de muy altos rendimientos de construcción. Cabe decir que se seleccionó el uso del Concreto Compactado con Rodillo (CCR) en la obra por las siguientes ventajas:

- **Fabricación controlada y sistematizada:** se elabora en planta automatizada que permite el adecuado control de calidad y la dosificación uniforme de los agregados lográndose rapidez y alto rendimiento de fabricación.
- **Velocidad de colocación:** se coloca por medio de bandas transportadoras y camiones en forma continua.
- **Compactación con los equipos tradicionales utilizados en la construcción de carreteras:** se emplean tractores y rodillos lisos vibratorios.
- **Bajo contenido de humedad:** los equipos transitan sobre las capas colocadas sin ninguna dificultad, logrando una densidad óptima.
- **Bajo contenido de cemento:** el diseño de la mezcla no requiere altos contenidos de cemento. La resistencia no es la variable más importante.
- **Bajo contenido de calor de hidratación:** debido a su bajo contenido de cemento se genera menor calor de hidratación.

- **Disponibilidad de materiales ser canos a la obra:** Se tiene un ahorro considerable en los acarreos.
- **Buena calidad de los agregados:** se tiene una buena granulometría de los materiales. Además, en general, se tienen menores costos de construcción.



Foto 7 y 8. IV.2 Vista de los trazos realizados para el eje de la cortina.



Foto 9 y 10. IV.2 Vista de los trabajos de construcción de la cortina.



Foto 11 y 12. IV.2 Vista de los procesos de construcción de la cortina.

Galería de inspección y drenaje. Con la finalidad de verificar el comportamiento de la cortina y captar, controlar y desalojar, los problemas de filtraciones que se pudieran presentar, se construyó una galería alojada dentro del cuerpo de concreto de la cortina, de sección rectangular de 2.50 m de base por 3 m de altura.

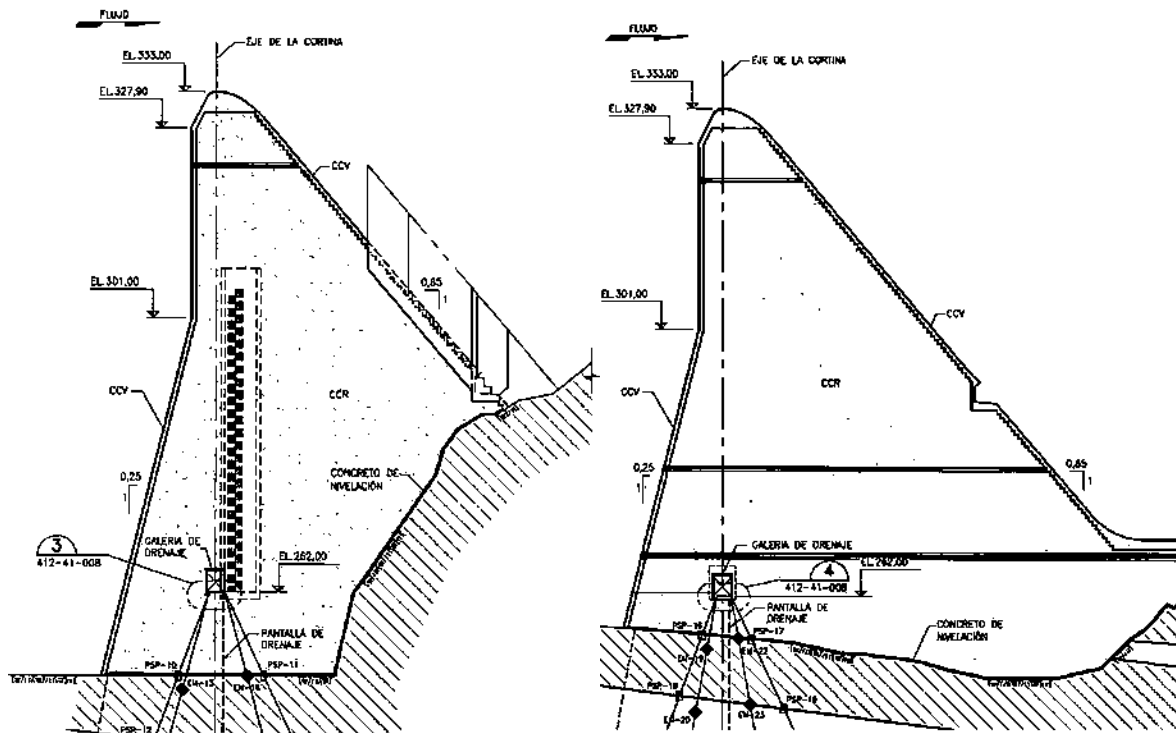


Fig.2. IV.2 Vista de la ubicación de la galería de drenaje.



Foto 13 y 14. IV.2 Vista en el interior de la galería de drenaje.

Instrumentación. Para observar el comportamiento de la presa durante el llenado del vaso y durante toda la vida útil de la cortina, se instalaron una serie de instrumentos (Péndulo directo, Extensómetros múltiples de barras, Piezómetros múltiples, Medidores de juntas triortogonales, Inclínómetros, Piezómetros abiertos, Dispositivos de aforo, Referencias topográficas y Acelerógrafo), tanto en el cuerpo de la cortina de CCR, como en la cortina de materiales graduados y en las márgenes derecha e izquierda.



Foto 15. IV.2 Trabajos de perforación en la galería de drenaje.



Foto 16. IV.2 Trabajos de perforación en la cortina de materiales graduados.



Foto 17 y 18. IV.2 Vista de los trabajos en la margen derecha.



Foto 19 y 20. IV.2 Vista de los trabajos en la margen izquierda.



Vertedor de excedencias. Está alojado en la parte central de la cortina de CCR. Tiene una longitud de 112 m y capacidad de desfogue de 5,002 m³/s, correspondientes a una venida máxima de 10,000 años de retorno.



Foto 21 y 22. IV.2 Vista de los trabajos en la zona del vertedor.



Foto 23 y 24. IV.2 Vista de los avances en la construcción del vertedor.



Foto 25 y 26. IV.2 Vista del vertedor terminado y del funcionamiento.

Obras de toma. La cortina tiene dos obras de toma; en la margen derecha y en la margen izquierda. La derecha tiene una capacidad máxima de $14.5\text{m}^3/\text{s}$, de los cuales $12.5\text{m}^3/\text{s}$, son para el riego de $12,200\text{ ha}$, a través de un canal principal, con una longitud total de 35.5 km ; y $2\text{m}^3/\text{s}$ destinados al caudal ecológico para que aguas abajo el río mantenga agua para los ecosistemas y concesiones existentes. Por otra parte, la toma en la margen izquierda riega 500 ha . Es abastecida desde la presa mediante una planta de bombeo, con capacidad de 500 l/s y conducidos por un canal de 16.7 km .

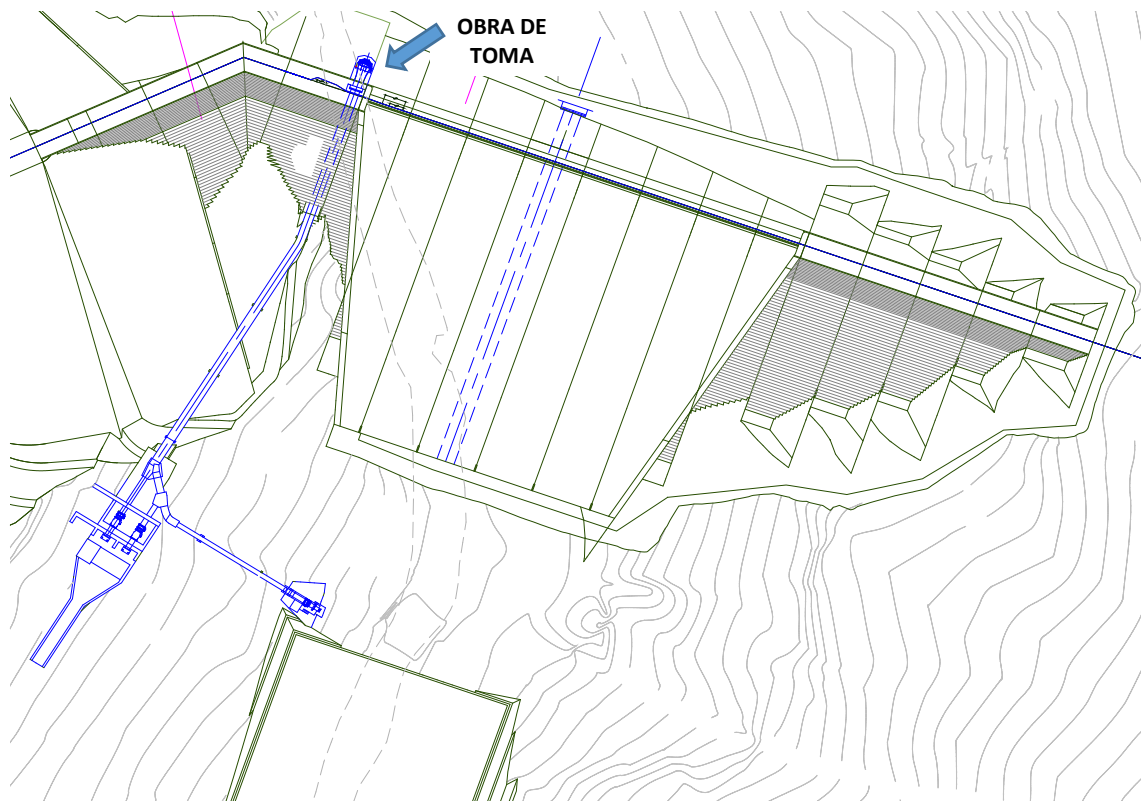


Fig.3. IV.2 Vista de la obra de toma.



Foto 27 y 28. IV.2 Trabajos de colocación de la tubería en la margen derecha.



Foto 29 y 30. IV.2 Vista de la obra de toma de la margen derecha terminada.



Foto 31 y 32. IV.2 Vista de la tubería colocada en la margen izquierda.

Canal principal de conducción. La presa se complementa con una compleja obra de ingeniería: un canal principal de 35.5 km de longitud, para la conducción del agua hasta la zona de riego. Tiene una capacidad máxima 12.5 m³/s con sección

trapezoidal, revestido de concreto para mayor eficiencia hidráulica. Para su adecuado funcionamiento fue necesario instalar más de 90 obras complementarias de cruce, control y distribución, algunas muy complejas, como el cruce con la autopista a Lázaro Cárdenas, la vía del ferrocarril, un gasoducto de Pemex, dos carreteras federales y varios ríos secundarios. Cabe decir que el canal cuenta con un sistema de control de niveles automatizado, mediante ocho estructuras de control de fluido equipadas con compuertas tipo "avis" autoreguladas por el propio nivel del agua.



Foto 33. IV.2 Trabajos de excavación para el canal de riego.



Foto 34. IV.2 Trabajos de colado en el canal.



Foto 35. IV.2 Vista de los avances en la construcción del canal.



Foto 36. IV.2 Vista del canal en funcionamiento.

Obras complementarias. Para optimizar el uso del agua, se instaló una planta de generación de energía que aprovecha los caudales agrícola y ecológico, generando 4.5 MW para autoconsumo. Para extender los beneficios de la tecnificación, en el ejido Naranjo de Tziritzcuaro, municipio de la Huacana, se construye una nueva zona de riego

de 500 hectáreas, la cual será abastecida desde la presa Francisco J. Múgica mediante una planta de bombeo con capacidad de 500 lt/s, que a su vez será alimentada de energía de la planta hidroeléctrica.



Foto 37. IV.2
Vista del inicio de los trabajos de construcción para la casa de máquinas.



Foto 38 y 39. IV.2 Vista de los avances en la construcción de la planta hidroeléctrica.



Foto 40 y 41. IV.2 Vista de la planta hidroeléctrica terminada y de su funcionamiento.

IV.3 INSTRUMENTACIÓN DE LA PRESA FRANCISCO J. MÚGICA.

Los Trabajos de instrumentación de la presa Francisco J. Múgica, consistieron en la perforación y colocación de los diferentes instrumentos para observar su comportamiento y detectar oportunamente problemas o deficiencias en las estructuras térreas, cimentación o durante su proceso de construcción y operación posterior, para así poder corregirlas oportunamente.

Para los trabajos de la perforación, se requería que las perforaciones realizadas fueran mediante la recuperación de los núcleos de roca y/o suelo, por lo que se utilizaron dos perforadoras, una Acker y una Longyear, con las cuales se realizaron las perforaciones a distintas profundidades y diferentes frentes de trabajo (margen derecha, margen izquierda, cortina de materiales graduados y galerías de drenaje).



Foto 1 y 2. IV.3 Vista de las perforadoras Acker y Longyear utilizadas para las perforaciones.

Para los trabajos en la galería de drenaje se utilizó la perforadora Longyear, la cual contaba con un motor de combustión interno, debido a que este tipo de motor genera gases al momento de encenderla para realizar los trabajos de perforación y por seguridad de los trabajadores, se cambió el motor de combustión por un motor eléctrico.



Foto 3 y 4. IV.3 Vista de la perforadora Longyear antes y después de la colocación del motor eléctrico.

Los trabajos de perforación en la roca se realizaron por medio de la herramienta llamada barril giratorio, el cual está compuesto de un barril muestreador provisto de una broca diamantada (carburo de tungsteno) en su extremo inferior.

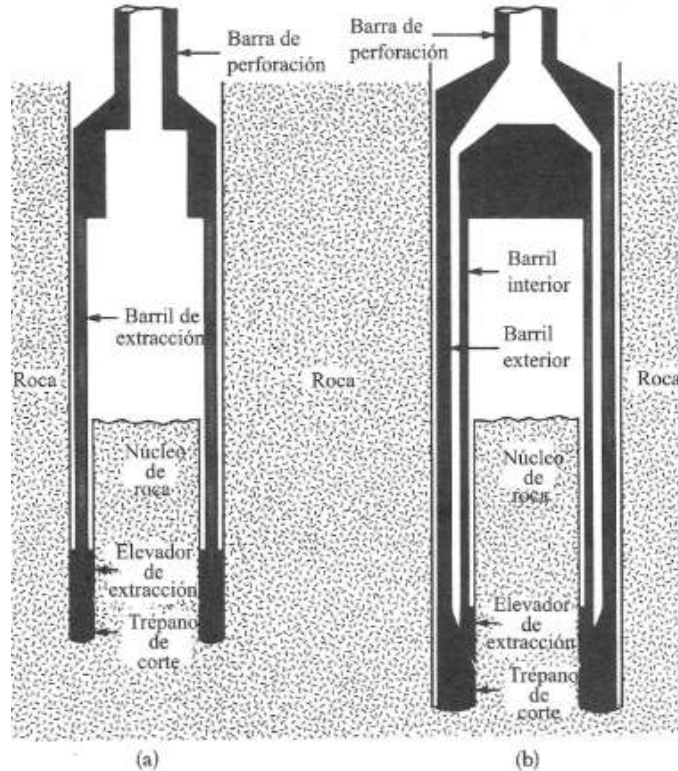


Fig.1. IV.3
Vista de las partes que componen el barril giratorio.

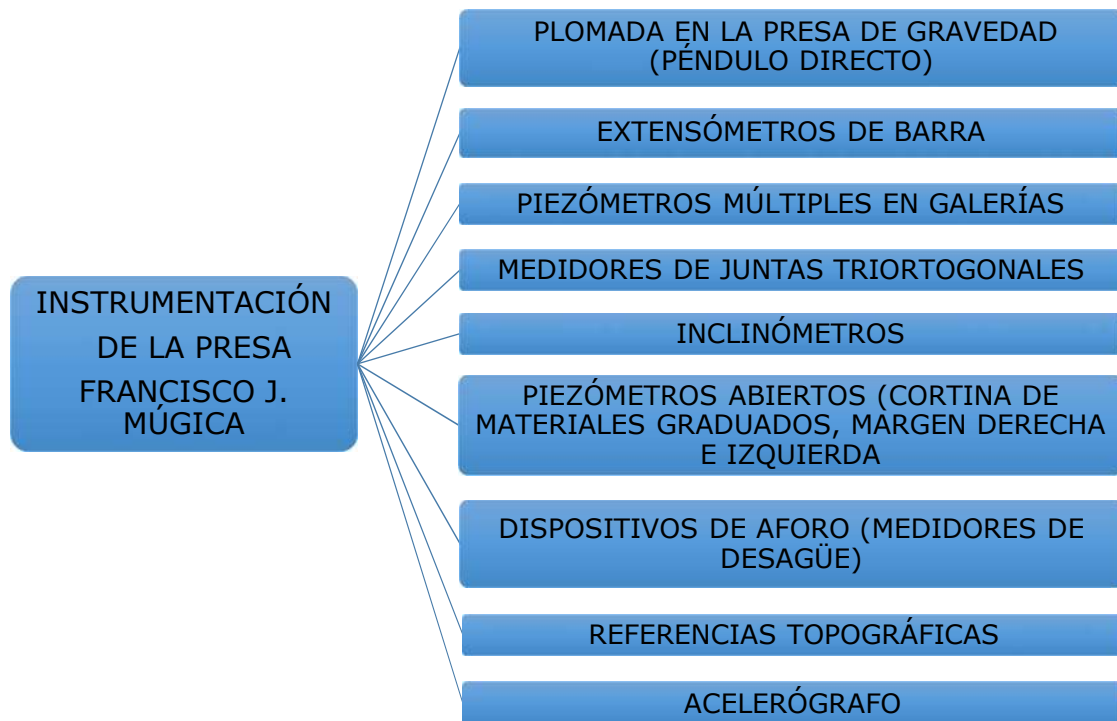
- a).- Barril de tubo simple.
- b).- Barril de tubo doble.



El procedimiento para la perforación y recuperación de los núcleos es el siguiente:

En una de las barras de perforación se instala el barril muestreador por medio de la perforadora se hace girar a manera de taladro, la cual transmite una fuerza de empuje y un movimiento rotatorio al barril a través de una columna de barras de perforación huecas, por cuyo interior circula agua a presión que enfría a la corona de corte y extrae el material cortado a la superficie del terreno. Al girar la corona cortante labra un cilindro de roca que penetra en el tubo interior a medida que avanza el barril muestreador. Al extraer el muestreador, después de haber perforado una longitud igual al barril interior, una trampa cónica sujeta a la columna de la roca labrada y la extrae junto con él. Una vez en la superficie, se desarma el muestreador y se extrae la muestra de roca. Este procedimiento se realiza las veces necesarias hasta llegar a la profundidad requerida para la instalación del instrumento de auscultación.

Los trabajos de instrumentación que se realizaron en la presa Francisco J. Múgica fueron los siguientes:



Esquema IV.3 Instrumentación de la Presa Francisco J. Múgica.

IV.3.1 PLOMADA EN LA PRESA DE GRAVEDAD (PÉNDULO DIRECTO).

Los péndulos colgantes están diseñados para controlar los movimientos horizontales en las presas, cimentaciones de presas, pilares y para determinar los movimientos estructurales de puentes, muelles, torres y edificios altos.

El péndulo directo es un instrumento referenciado a gravedad, el cual permite medir los cambios verticales de la estructura y monitorear su seguridad. El péndulo directo colocado en la presa Francisco J. Múgica se encuentra ubicada dentro del cuerpo de la cortina de CCR.

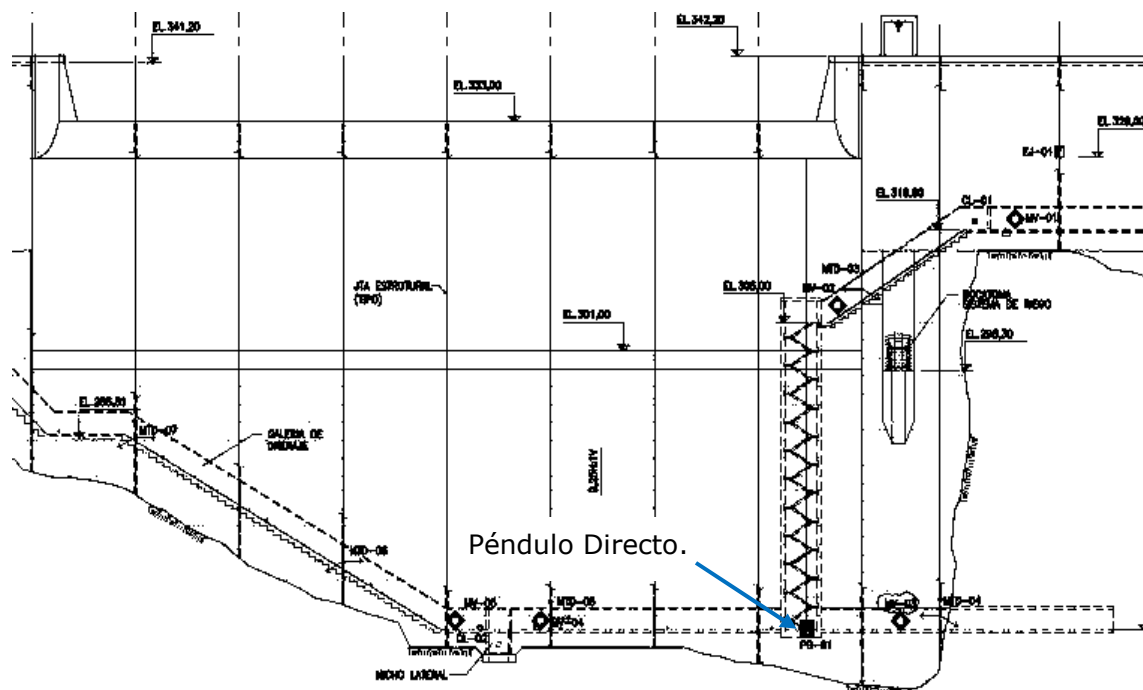


Fig.1. IV.3.1 Ubicación del péndulo directo.

El péndulo directo está compuesto de:

Tanque. Consiste en un cilindro de acero inoxidable relleno con fluido y cubierto con una tapa cónica de acero inoxidable al hilo fijado. El peso de tensión es suspendido al hilo e inmerso en el fluido del tanque para amortizar las oscilaciones del hilo.

Peso de tensionamiento. Hecho de acero inoxidable, es un tanque cilíndrico que contiene lastras de plomo con una unidad flotante hecha con cuatro lamas transversales.

Sistema de anclaje superior está compuesto de un plato de acero galvanizado para ser fijado a la pared sobre la cual se monta y en un carril de acero inoxidable con un bloque deslizante trayendo una polea de cola y la tuerca de bloqueo para el cable. El bloque deslizante permite el perfecto posicionamiento del hilo y el peso de tensionamiento dentro del tanque mientras que la tuerca de bloqueo permite ajustar la longitud del cable.

Tensor montado sobre el hilo para recortar la posición de la unidad flotante en el tanque.

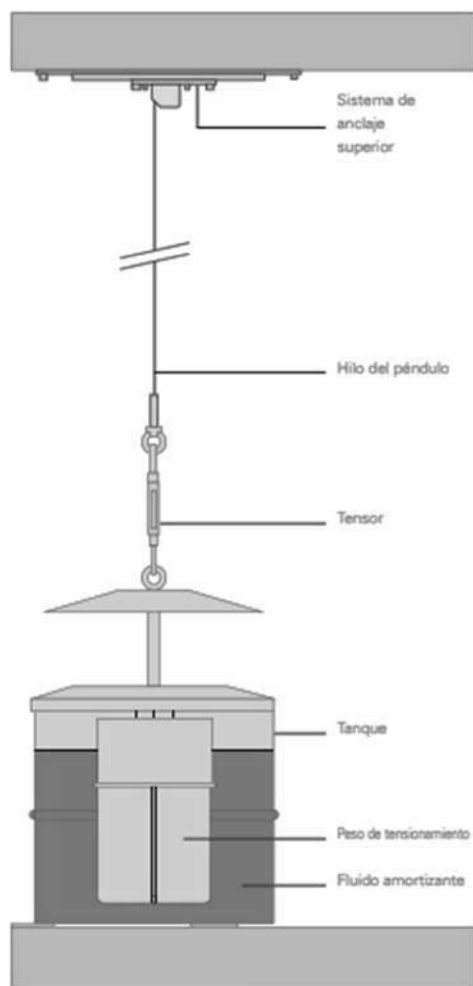


Fig.2. IV.3.1 Esquema del péndulo directo.



Foto 1 y 2. IV.3.1 Vista de los trabajos de colocación del péndulo directo.

IV.3.2 EXTENSÓMETROS DE BARRA.

Estos instrumentos miden el asentamiento, contracción o movimientos de tierra o rocas, a lo largo de un eje. Los sensores se ubican en la misma perforación, pero a diferentes elevaciones. También se utilizan para monitorear desplazamientos en laderas, excavaciones, fundaciones y en monitoreo en la convergencia de las paredes de túneles.

Los extensómetros monitorean los cambios en la distancia entre uno o más anclajes de fondo de pozo y una cabeza de referencia en el cuello de la perforación.

Los extensómetros están formados por un taladro, el cual contiene una o varias varillas de acero inoxidable. Estas varillas se encuentran protegidas por tubería de PVC, excepto en la parte final. Cada una es anclada a profundidades distintas. En la cabeza del extensómetro se coloca una pieza especial, la cual permite leer la posición de cada varilla mediante un micrómetro de profundidad o en el mejor de los casos mediante un sensor. El extensómetro registra la variación de la distancia relativa entre la superficie y cada punto de anclaje. Los datos de desplazamiento resultante se pueden utilizar para determinar la zona, velocidad y la aceleración de los movimientos.



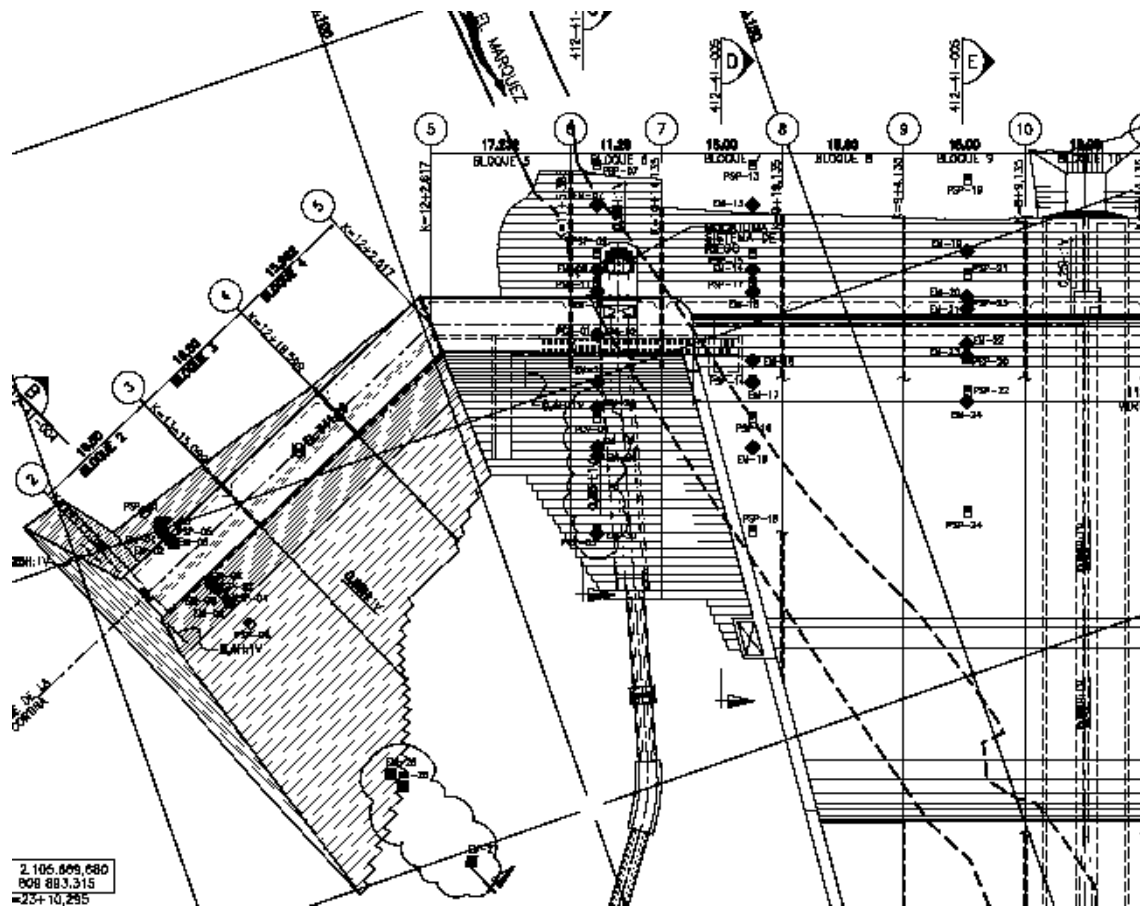
Foto 1. IV.3.2 Vista de las varillas del extensómetro.



Foto 2. IV.3.2 Vista del extensómetro armado.

En la presa Francisco J Múgica se instalaron un total de 30 extensómetros múltiples en la galería de la presa a diferentes inclinaciones.

Estos fueron instalados con el objetivo de medir o monitorear los cambios en la distancia entre uno o más anclajes del fondo de la perforación con respecto de la cabeza de referencia, ubicada en la salida de ésta.



◆ EM Extensómetro múltiple

Fig.1. IV.3.2 Vista de la ubicación de los Extensómetros múltiples en la galería de drenaje.

Para la instalación de estos instrumentos se realiza el siguiente proceso:

1.- Se perfora en el lugar donde se desea realizar el monitoreo a la profundidad establecida y se almacenan las muestras de roca recuperada.



Foto 3. IV.3.2 Trabajos de perforación.



Foto 4. IV.3.2 Muestras de roca recuperadas.

2. Se atornillan las barras de acero inoxidable, se arma la primera ancla y se baja. Se atornillan las barras para la segunda ancla y se baja; y así hasta lograr la longitud de medición de cada extensómetro.



Foto 5. IV.3.2 Vista de las varillas para el armado del extensómetro.



Foto 6. IV.3.2 Extensómetro preparado para su colocación.

3. Se prepara una mezcla de bentonita, cemento y agua. Se procede a inyectar la mezcla con la bomba de inyección hasta llegar a 1.5 mts del brocal y finalmente se llena el pozo con una mezcla rica en cemento.

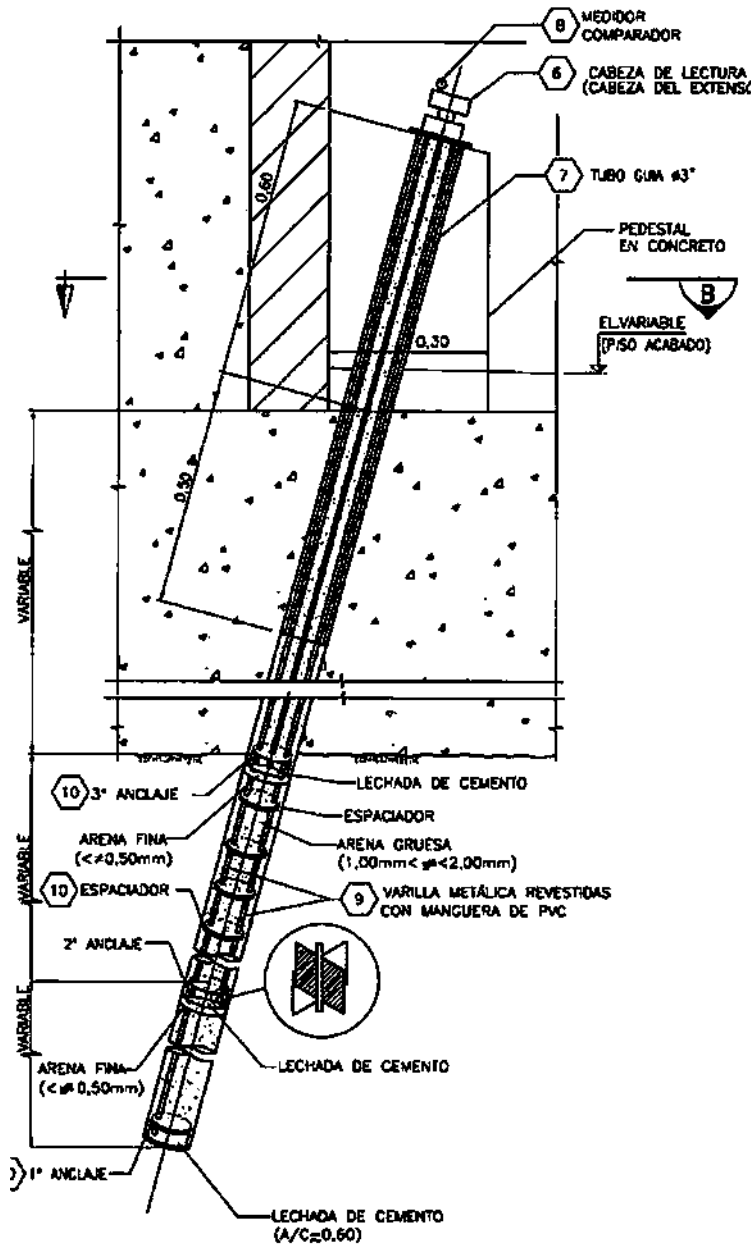


Fig.2. IV.3.2 Detalle para la colocación del extensómetro.



Foto 7. IV.3.2 Trabajos de colocación del extensómetro.



Foto 8. IV.3.2 Extensómetro colocado para el anclaje de las barras.

IV.3.3 PIEZÓMETROS MÚLTIPLES EN GALERÍAS.

Estos tipos de instrumentos son utilizados para medir la presión de poro en terrenos de baja y media permeabilidad.

Para los trabajos de instrumentación de la presa Francisco J. Múgica, se colocaron un total de 24 piezómetros múltiples en la galería de la presa a diferentes inclinaciones.

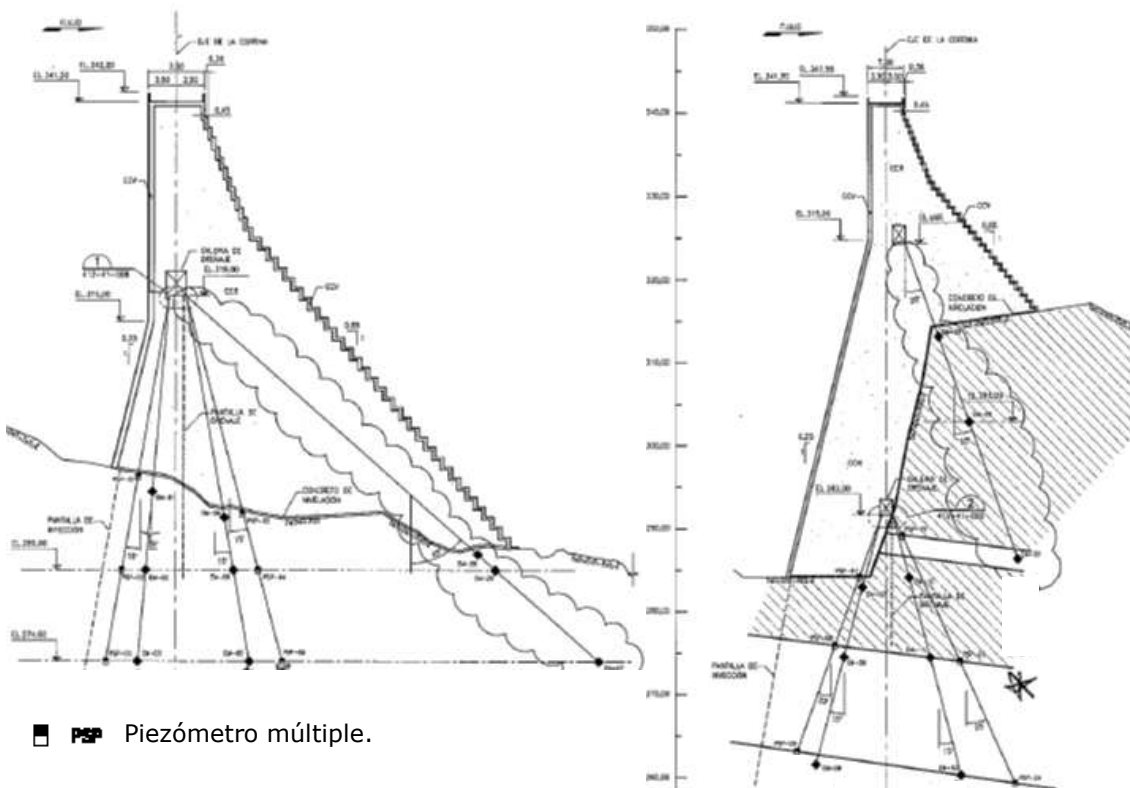
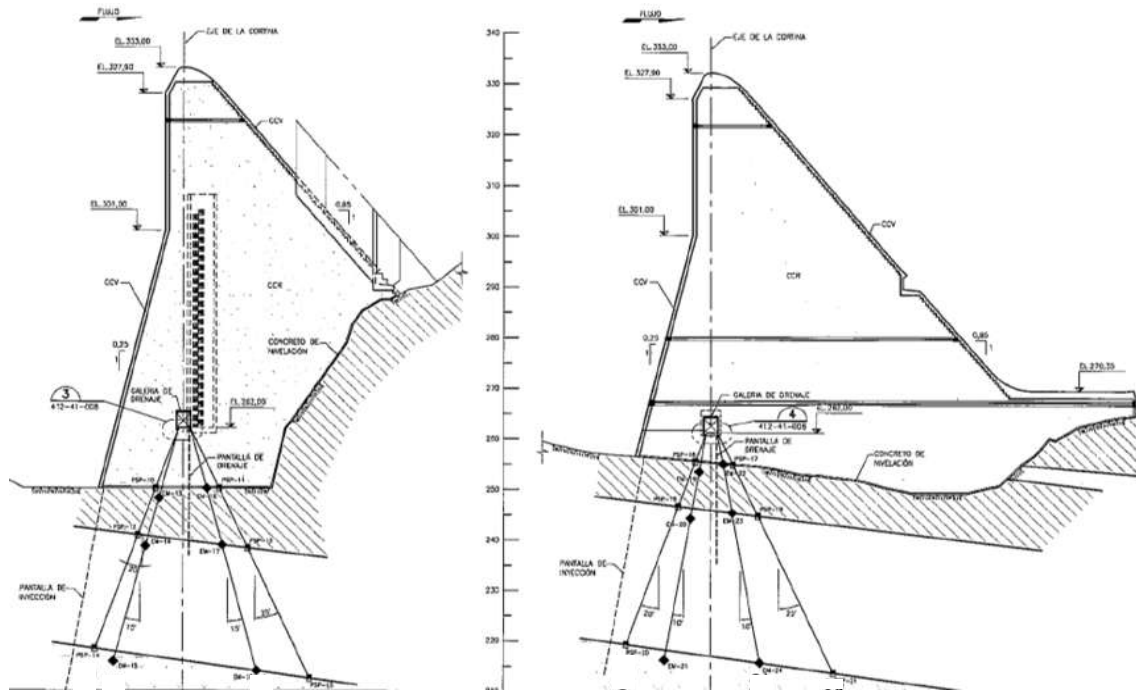


Fig.1. IV.3.3 Vista de la ubicación de los piezómetros múltiples en la zona de galería de la presa, sección B (bloque 2) y sección C (bloque 6).



■ Piezómetro múltiple.

Fig.2. IV.3.3 Vista de la ubicación de los piezómetros múltiples en la zona de galería de la presa sección D (bloque 7) y sección E (bloque 9).

Para poder posicionar la perforadora marca Longyear dentro de la zona de galerías se realizaron varias maniobras, una fue bajar la perforadora y el equipo de perforación por medio de una grúa Grove hasta la entrada de la galería de drenaje.



Foto 1 y 2. IV.3.3 Vista de la maniobra para colocar la perforadora en la entrada de la galería.

Una vez colocada la perforadora y el equipo de perforación en la entrada de la galería 1 se procede a mover la perforadora al sitio donde se realizarán las perforaciones con diferentes inclinaciones con respecto a la vertical del eje de la cortina para la instalación de los piezómetros múltiples. En el bloque 2 la perforación para el piezómetro PSP 2, 4 y 6 se realizó con una inclinación de 15° y la del piezómetro PSP 1, 3 y 5 con una inclinación de 10° .



Foto 3. IV.3.3 Trabajos de perforación en la galería 1.



Foto 4. IV.3.3 Vista de los núcleos de roca recuperados.

Una vez terminado los trabajos de perforación en la galería 1 se realiza la maniobra para mover la perforadora a la zona de la galería 2, para lo cual se tiene que deslizar la perforadora mediante unas escaleras hasta llegar a la galería 2.



Foto 5 y 6. IV.3.3 Vista de los trabajos para bajar la perforadora a la galería 2.



Una vez instalado el equipo de perforación se continúa con las perforaciones con las diferentes inclinaciones para la instalación de los piezómetros múltiples; en el bloque 6 el piezómetro PSP 7, 8 y 9 con una inclinación de 20° y el piezómetro PSP 22, 23 y 24 con una inclinación de 25° . En el bloque 7 el piezómetro PSP 10, 12 y 14 con una inclinación de 20° y el piezómetro PSP 11, 13 y 15 con una inclinación de 25° . En el bloque 9 el piezómetro PSP 16, 18 y 20 con una inclinación de 20° y el piezómetro PSP 17, 19 y 21 con una inclinación de 25° .



Foto 7 y 8. IV.3.3 Vista de los trabajos de perforación en la galería 2.

Una vez terminadas las perforaciones se procede con la instalación de los piezómetros múltiples en cada una de las perforaciones.

Proceso de Instalación:

1. Se arma el bulbo para el piezómetro.
2. Se une la tubería (PVC) necesaria para cada uno de los piezómetros.
3. Se vierte una cama de arena media con un espesor de 50 cm.
4. Se coloca la primera tubería con el piezómetro.
5. Se colocar otros 50 cm de arena media.
6. Se vierte arena fina hasta un espesor de 25 cm.
7. Se vacía bolitas de bentonita hasta un espesor de 25 cm.

8. Se rellena con lecha hasta la altura necesaria para la colocación del piezómetro 2.
9. Se repiten los pasos (3 al 8) para la colocación del piezómetro 3 y así sucesivamente hasta llegar al nivel de inicio de la perforación.
10. Se colocan los tapones en cada uno de los piezómetros para evitar que les caigan algún objeto que los obstruya.



Foto 9. IV.3.3 Vista de los trabajos de perforación.



Foto 10. IV.3.3 Vista del piezómetro colocado y vaciado de las bolitas de bentonita.



Foto 11. IV.3.3 Colocación de del relleno de lechada.



Foto 12. IV.3.3 Vista de los piezómetro colocados.

IV.3.4 MEDIDORES DE JUNTAS TRIORTOGONALES.

Los medidores de juntas triortogonales son instrumentos utilizados para evaluar el desplazamiento entre dos bloques o monolitos, los cuales se encuentran separados por una junta o grieta. Estos instrumentos permiten el monitoreo entre las uniones de las estructuras de concreto o roca, por ello proporcionan una advertencia temprana sobre los problemas ocasionados por movimientos repentinos dado el desarrollo de diversas actividades, tanto humanas como naturales. Utilizados también para medir grietas ocasionadas por la actividad sísmica.

Se colocaron un total de 12 Medidores de juntas triortogonales en la galería de la presa. El procedimiento para la instalación fue el siguiente:

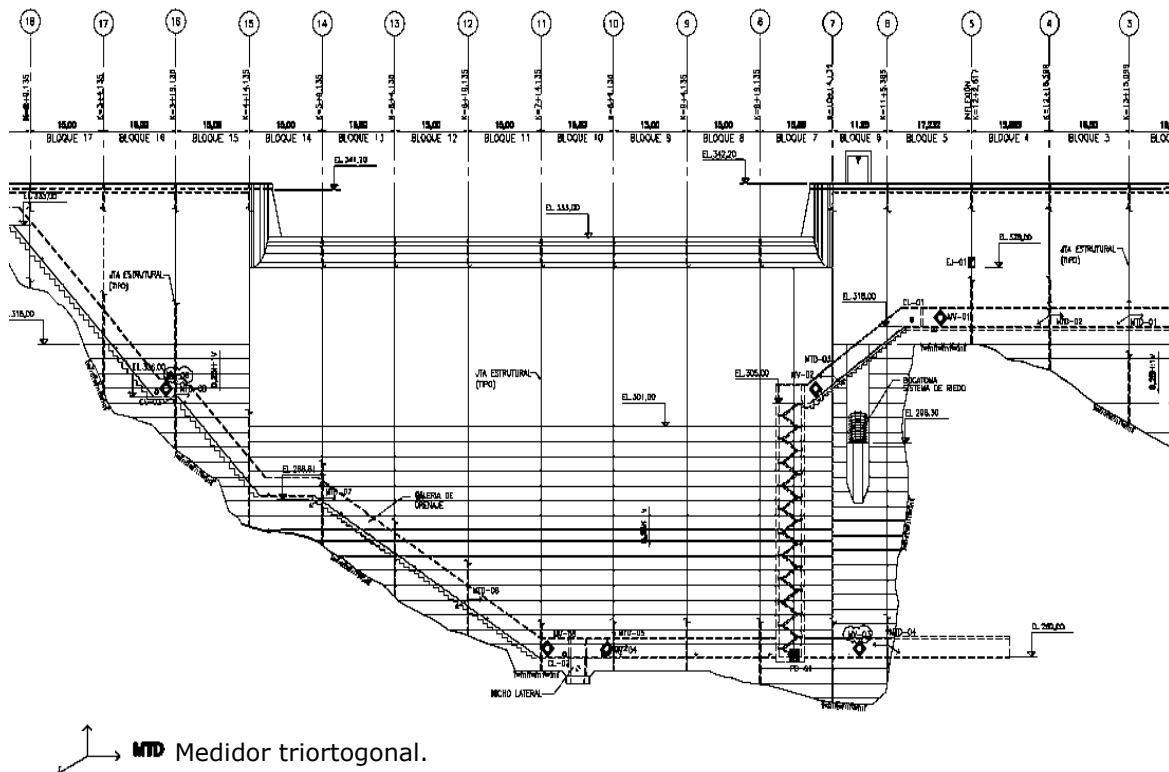
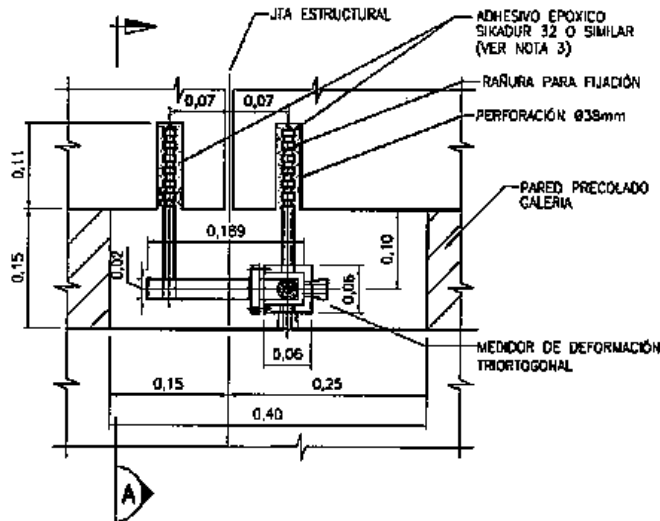


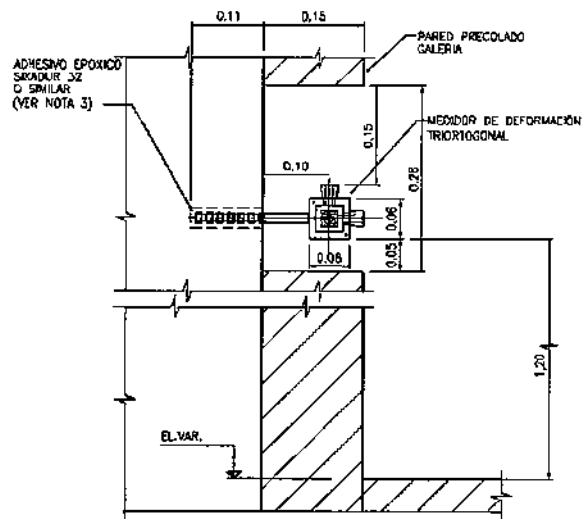
Fig.1. IV.3.4 Detalle de ubicación de los medidores triortogonales.

El procedimiento para la colocación Para la colocación de los medidores triortogonales es el siguiente:

1. Se determina la posición de anclaje del instrumento.
2. Con la ayuda de un taladro, se realiza la perforación para anclar el instrumento y se limpia la perforación.
3. Se inyecta un epóxico en la perforación para fijar el instrumento.
4. Coloca las placas del instrumento, y se fijan con tornillos en la pared.
5. Se obtiene la primera lectura, la cual será el parámetro de comparación.



Planta



Sección

Fig.2. IV.3.4 Detalle para la colocación de los medidores triortogonales.



Foto 1 y 2. IV.3.4 Trabajos de colocación de los anclajes y de la placa para el medidor de juntas triortogonal.



Foto 3. IV.3.4 Vista de frente del medidor de juntas triortogonal colocado.

Foto 4. IV.3.4 Vista lateral del medidor de juntas triortogonal colocado.





IV.3.5 INCLINÓMETROS.

Los inclinómetros son instrumentos muy precisos que se utilizan para medir ángulos de deformación respecto de la vertical. Estas deformaciones se dan en el interior del terreno. Las ventajas del uso de este tipo de instrumento es que permite el monitoreo de lugares que no son accesibles para el ser humano. La desventaja que muestran, es un alto costo de instalación, por ello se establecen puntos estratégicos donde se requiere un control más detallado.

A través de la perforación se introduce el sensor, éste se desplaza siguiendo las guías (ranuras). El sensor se encarga de medir su desviación con respecto a la vertical. Dicho sensor se introduce hasta el fondo y conforme va subiendo, se registran las lecturas a diferentes profundidades, ya establecidas, por ello se logra obtener la deformación horizontal del terreno con respecto de la profundidad.

Para realizar el monitoreo, el equipo requerido está formado:

Un sensor o sonda inclinométrica. Este dispositivo permite medir las variaciones de inclinación de la tubería. El movimiento del sensor es indicado a través de una señal eléctrica la cual es proporcional al seno del ángulo de la inclinación de la tubería, referido a un eje vertical central.

Tubos inclinométricos. Corresponden a tuberías ranuradas, las cuales controlan la dirección del sensor y proporcionan una superficie que permite en un futuro obtener otras mediciones de desplazamiento del terreno. A través de las tuberías se introduce el sensor inclinométrico, para tomar lecturas del desplazamiento del suelo. La tubería está diseñada de tal manera que se deforma con el movimiento del suelo y su vida útil concluye en el momento que el movimiento del terreno lo corta, impidiendo el paso al sensor.

Unidad lectora o indicador digital portátil. Este es un instrumento portátil, el cual está conformado por una batería recargable de seis voltios de suministro de energía, controles eléctricos y una pantalla donde se muestran las lecturas en forma digital. Las lecturas que se almacenan en el instrumento, son

transferidas a una computadora y, a través de un programa se traslada la información, permitiendo la creación de gráficos e informes.

Se colocaron un total de 7 inclinómetros todos en el exterior de la presa aguas abajo del eje de la cortina, 4 en la margen derecha con una profundidad de 280m y 3 en la margen izquierda con una profundidad de 290 a 331 m.

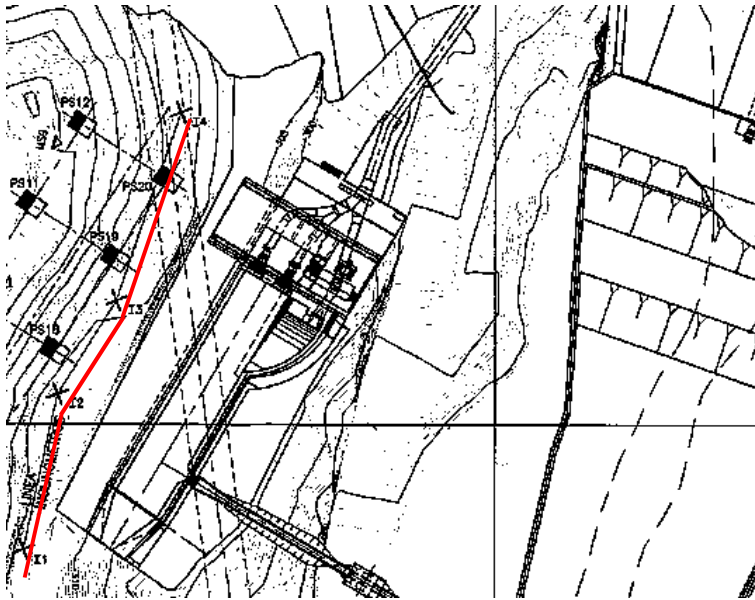
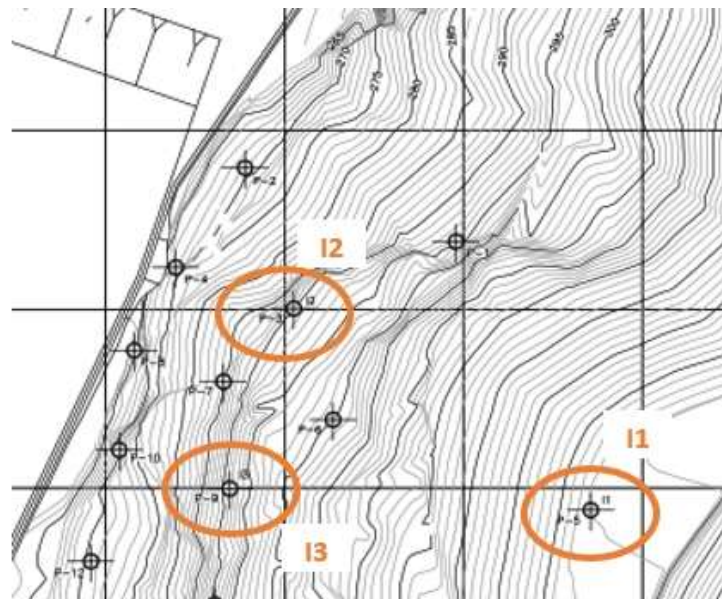


Fig.1. IV.3.5
Vista de la ubicación de los inclinómetros en la margen derecha.

Fig.2. IV.3.5
Vista de la ubicación de los inclinómetros en la margen izquierda.



El proceso de instalación de los inclinómetro se realiza de la siguiente manera:

Se realiza la perforación, cuya profundidad depende de la información que se desea obtener para ser analizada.



Foto 1. IV.3.5 Trabajos de perforación para la instalación de los inclinómetros.

Luego se coloca una tubería PVC, especial, la cual tiene unas ranuras a lo largo por la cual se introduce la sonda que realiza las mediciones.



Foto 2. IV.3.5 Vista de las ranuras por donde se desliza el sensor inclinométrico.



Foto 3 y 4. IV.3.5 Trabajos de instalación de la tubería.

Una vez instalada, se coloca una lechada de concreto con bentonita en el espacio entre la tubería y el terreno. Por último, se construye una protección para la entrada del inclinómetro.



Foto 5. IV.3.5 Vista de la tubería colocada.



Foto 6. IV.3.5 Vista del inclinómetro colocado.

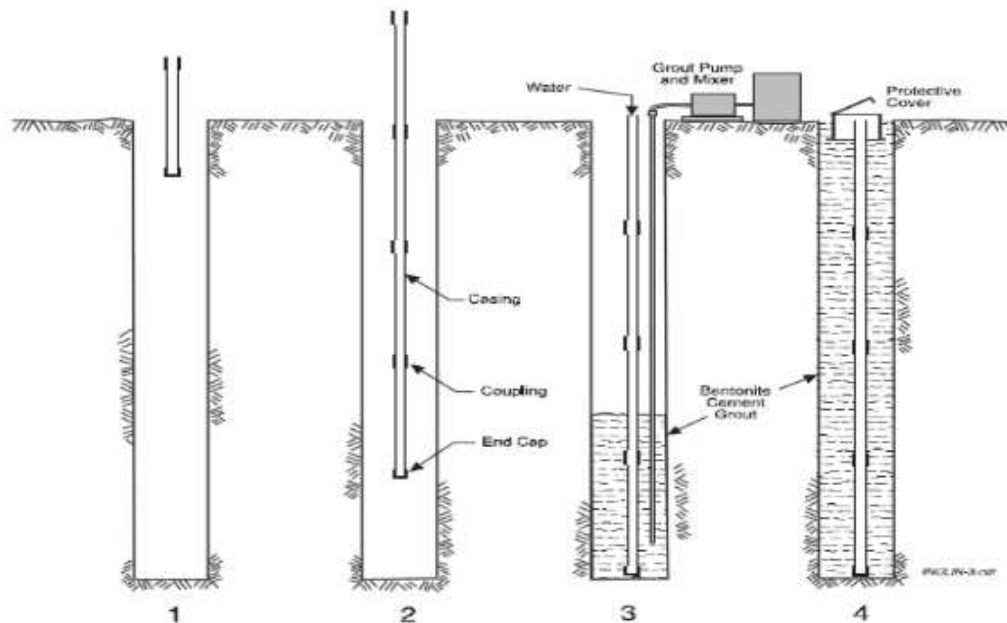


Fig.3. IV.3.5 Detalle de la instalación de un inclinómetro. Fuente Us Army Corps of Engineers USACE, 2009.

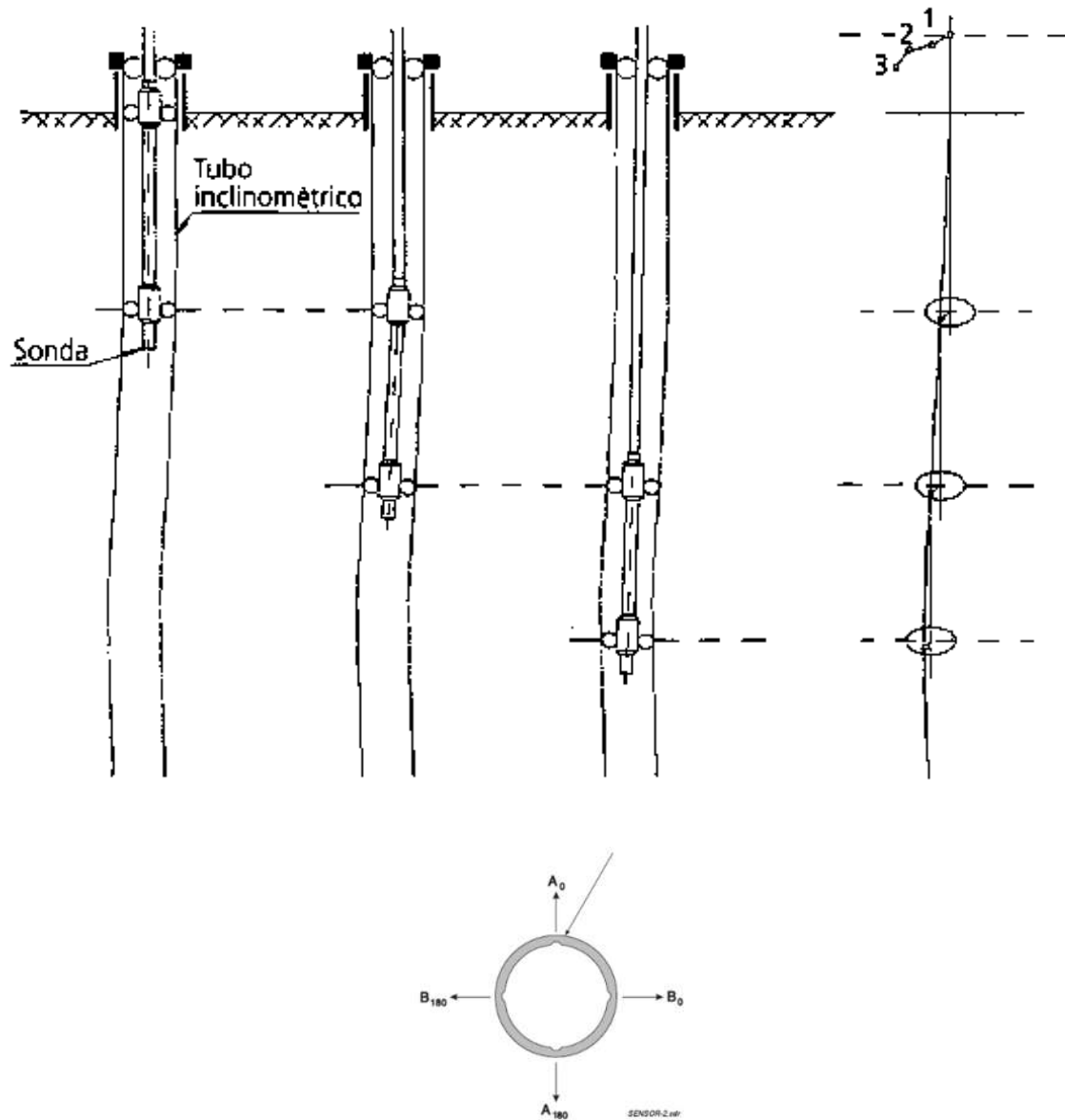


Fig.4. IV.3.5 Funcionamiento del inclinómetro a lo largo de la perforación.

IV.3.6 PIEZÓMETROS ABIERTOS.

Los piezómetros son instrumentos utilizados para medir presión de poros, la cual por lo general es inducida en el proceso de la construcción de la represa, así como también se utilizan para monitorear el nivel de la superficie freática, esto debido a infiltraciones del agua a través de la fundación. Las mediciones registradas pueden ser críticas, causadas por inestabilidad o infiltraciones inducidas, como por ejemplo grandes elevaciones de la presión hidrostática.

Los piezómetros abiertos o también llamados "tipo Casagrande" tienen la función de monitorear el nivel freático. Estos piezómetros constan de una perforación realizada en el macizo que se desea monitorear a una profundidad determinada. Las lecturas se realizan cada cierto tiempo previamente establecido y para ello se usa un indicador de nivel de agua. Éste posee un sensor unido a una cinta graduada y un cilindro con partes electrónicas. El sensor es introducido en la perforación y, al entrar en contacto con el agua el indicador, enciende una luz y se activa una alarma, lo cual indica que se debe realizar la lectura en la cinta graduada.

Los trabajos de perforación para la instrumentación de los Piezómetros abiertos se realizaron con la perforadora marca Acker. Se colocaron un total de 35 piezómetros abiertos, 20 en la margen derecha, 6 en la cortina de materiales graduados y 9 en la margen izquierda.

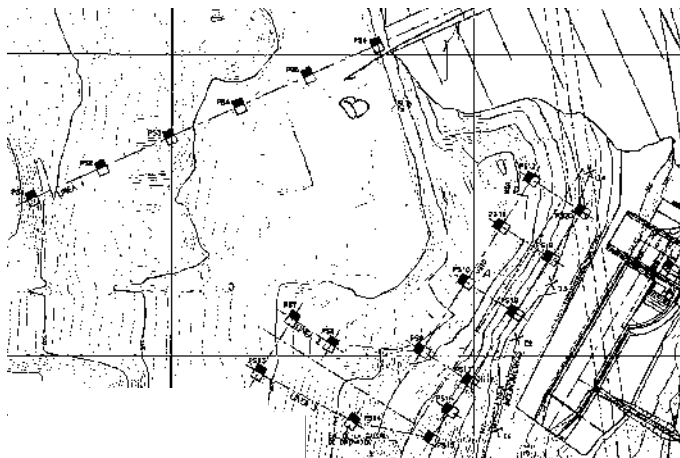


Fig.1. IV.3.6
Vista de la distribución de los piezómetros en la margen del lado derecho.

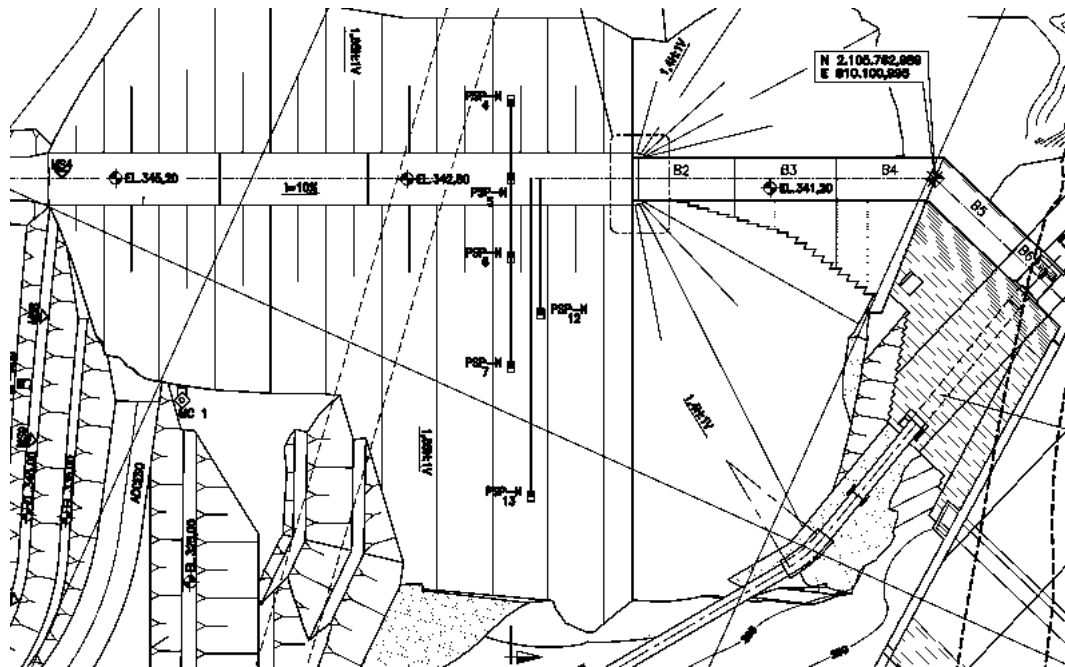


Fig.2. IV.3.6 Vista de la distribución de los piezómetros en la corina de materiales graduados.

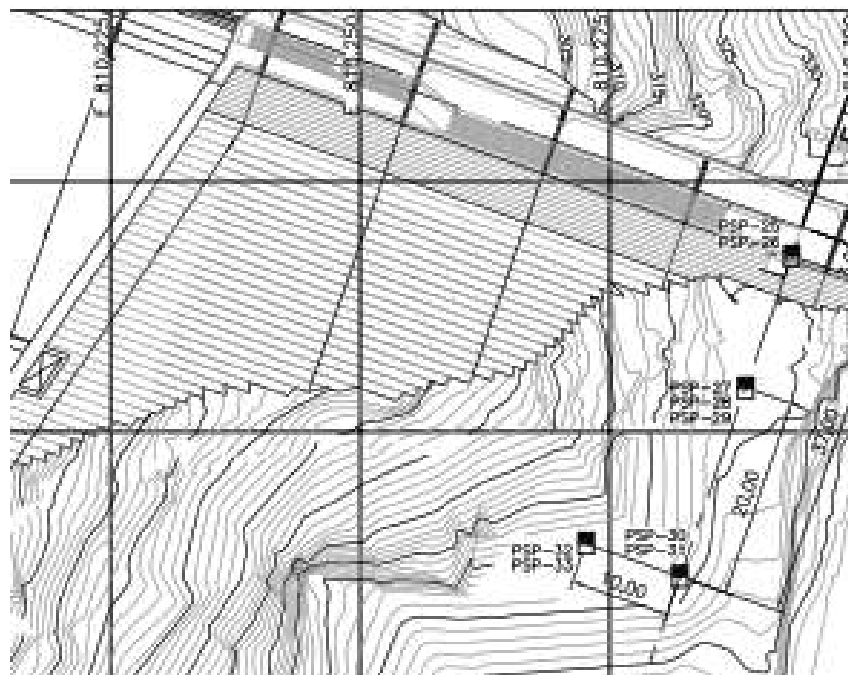


Fig.3. IV.3.6 Vista de la distribución de los piezómetros en la margen del lado derecho.

El proceso de instalación de los piezómetros abiertos se realiza de la siguiente manera:

Se realizan los trabajos de perforación hasta la profundidad requerida para la instalación de los piezómetros abiertos.



Foto 1. IV.3.6
Trabajos de perforación en la cortina de materiales graduados.



Foto 2 y 3. IV.3.6 Trabajos de perforación en la margen derecha e izquierda.

Una vez terminada la perforación se procede a armar el bulbo para el piezómetro y la colocación de la tubería necesaria para cada uno de los piezómetros.



Foto 4. IV.3.6 Vista del bulbo y la tubería.



Foto 5. IV.3.6 Trabajos de pegado de la tubería.

Una vez que se tiene armado el piezómetro se procede a la instalación del mismo, se colocando una cama de arena media de 20 cm de espesor, enseguida se inserta el piezómetro, se coloca una cama de arena media con un espesor de 50 cm, se vierte otra acama de arena fina de 20 cm de espesor, se colocan bolitas de bentonita hasta un espesor de 50 cm, se sella la perforación con una lechada de cemento arena y bentonita, se colocan un tapón en el piezómetro para evitar que les caigan algún objeto que los obstruya y se construye su caja de registro para la protección del piezómetro.



Foto 6. IV.3.6 Vaciado de la cama de arena para la instalación del piezómetro.



Foto 7. IV.3.6 Vista de la colocación del piezómetro.



Foto 8. IV.3.6 Trabajos de Colocación de la arena.

Foto 9. IV.3.6 Elaboración de las volitas de bentonita.



Foto 10. IV.3.6 Colocación de la lechada de cemento, arena y bentonita.

Foto 11. IV.3.6 Vista del registro colocado para la protección del piezómetro.



IV.3.7 DISPOSITIVOS DE AFORO (MEDIDORES DE DESAGÜE).

La medición de filtraciones es uno de los aspectos más importantes para evaluar el comportamiento de una presa, es muy importante ubicar el sitio en dónde afloran, cuantificar el flujo y conocer su evolución con el tiempo.

Los dispositivos de aforo o vertedores, son 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 vertedores operan mejor si la descarga se hace libremente a la atmósfera, si está sumergido o parcialmente sumergido, se presentan presiones negativas que afectan la descarga y producen errores en las mediciones del flujo. Cada uno de los vertedores utilizados tienen características que los hacen apropiados para condiciones de operación particulares. En general los vertedores rectangulares sin contracciones o los triangulares proporcionan más precisión en las mediciones. Existe también otro tipo de dispositivo con una forma especial de sección para medir el flujo en canales abiertos denominado canal Parshall que tiene como ventaja el operar con pérdidas de carga relativamente pequeñas y ser relativamente insensible a la velocidad de aproximación; sin embargo, su costo es mayor en comparación con los vertedores tradicionales (triangular o rectangular) y requiere de mucha precisión en su fabricación para un desempeño satisfactorio.

Para la Instrumentación de la presa Francisco J. Múgica se colocaron un total de 6 dispositivos de aforo o vertedores de forma triangular, los cuales fueron colocados dentro de la galería de drenaje.

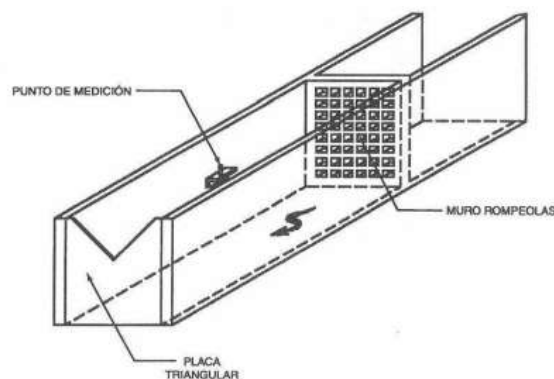


Fig.1. IV.3.7
Vista de la placa triangular
y el muro rompeolas.

IV.3.8 REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS.

Las referencias topográficas están constituidas por monumentos superficiales construidos en el terreno o la estructura, o bien puntos fijos de en estructuras de concreto, mampostería o acero, a los que están referenciadas las mediciones topográficas de desplazamientos horizontales y verticales.

Para la presa Francisco J. Múgica se colocaron un total de 32 puntos de control fijo y altimétrico los cuales se distribuyeron 14 en la margen del lado izquierdo y 18 puntos de control distribuidos a lo largo del eje de la cortina entre los bloques 2 al 6 y los bloques 15 al 19.

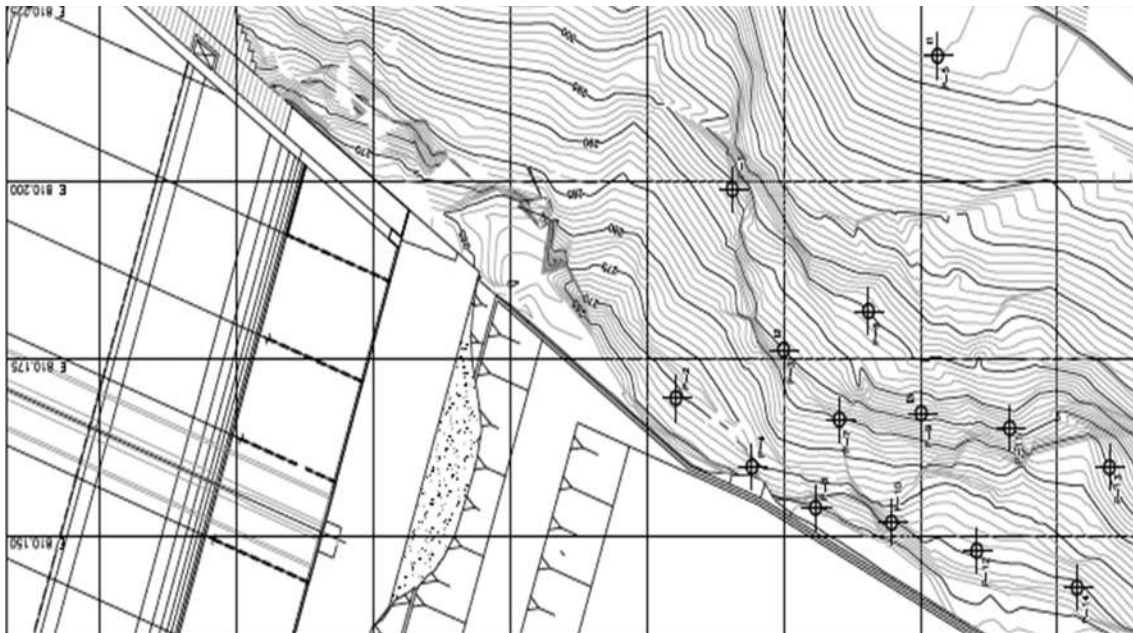


Fig.1. IV.3.8 Vista de las referencias topográficas colocadas en la margen izquierda.

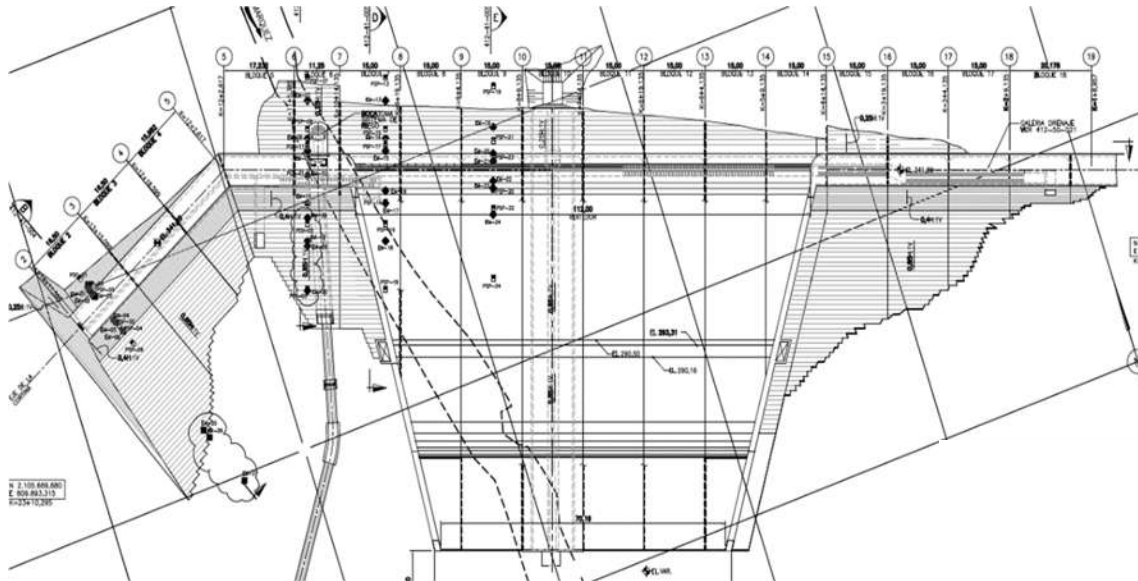


Fig.2. IV.3.8 Vista del eje de la cortina para la ubicación de las referencias topográficas.

Las referencias topográficas combinadas son las más comunes, están formadas por prismas de concreto armado los cuales se empotran 40 cm en los sitios previamente definidos, de manera que siga el movimiento del terreno o la estructura sin problemas de inestabilidad local. En los casos donde la granulometría sea grande, las dimensiones y empotramiento del dado serán mayores a juicio del residente de instrumentación. En el prisma se incluye una barra recta de acero estructural con una pieza redonda de acero inoxidable terminada en punta esférica, con un niple de protección; además se cuenta con un herraje especial que asegura el centrado forzoso de los porta prismas. La medición se obtiene tanto por las coordenadas por trilateración, como las elevaciones con nivelación directa, ambas de primer orden.

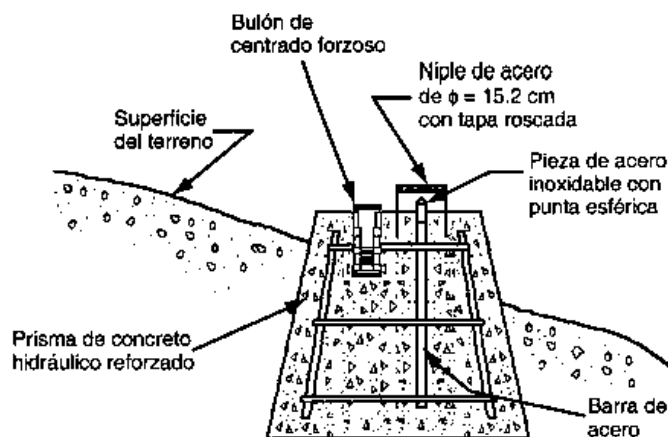


Fig.3. IV.3.8 Referencia topográfica combinada.



IV.3.9 ACELERÓGRAFO.

Para niveles altos de actividad sísmica (strong motion), se utiliza los acelerógrafos los cuales registran la aceleración sísmica, velocidad de desplazamiento del suelo e intensidad espectral y son colocados en arreglo ortogonal, donde uno es vertical. Los acelerógrafos están contruidos de una caja automática y ahora poder ser conectados al internet.

El sistema de registro puede ser en cinta magnética o memoria de estado sólido. Dentro del acelerógrafo, existe un conjunto de 3 cabezales de sensor acelerógrafo. Estos suelen ser chips micro electromecánicos (MEMS) que son sensibles en una dirección. De este modo, el acelerómetro puede medir el movimiento completo del dispositivo en tres dimensiones.

Los aparatos comunes permiten registrar movimientos sísmicos hasta de 1 g y normalmente son activos a 0.1 g. El sistema de control de tiempo puede ser un radio transmisor acoplado y sintonizado con una señal de tiempo universal (WWVB), o un reloj electrónico de precisión interno que se ajusta cada vez que se le da mantenimiento al instrumento. La fuente de alimentación consiste en baterías recargables conectadas en flotación con celdas solares. Además, el aparato debe contar con un sistema de disparo que activará el registro a un predeterminado nivel de movimiento de entrada, de manera que se tenga el instrumento completamente operacional y registrado en menos de 0.1 segundos. Aunque esté un tiempo corto, se pierde el registro de inicio del sismo, por lo que en algunos aparatos modernos ya se ha incluido la opción de "memoria de pre evento", que permite registrar el acelerograma completo desde el inicio. Usualmente los acelerógrafos permiten registrar tantos eventos como dure la película, cinta magnética o capacidad de memoria del aparato.

En la presa francisco J Múgica se colocaron un total de 4 acelerógrafos con medición tridimensional de desplazamientos y/o velocidades. Los cuales se colocaron en:

- 1 en la corona del Núcleo impermeable.
- 1 en la corona del bloque de máxima altura de la presa de CCR (Bloque 6).
- 1 en la ladera derecha, en el macizo de conglomerado superior.
- 1 en la ladera derecha, en la formación de derrames andesíticos.

Para la instalación de los acelerógrafos se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se colocó una base de concreto para sentar el acelerógrafo.
- El acelerógrafo se coloca con los mandos en el sentido N-S.
- Se conecta la batería del acelerógrafo.
- Se nivela el equipo primero de N-S, luego en la vertical y por ultimo de E-W.
- Se conecta a la computadora o a la base de datos donde se mandará la información.

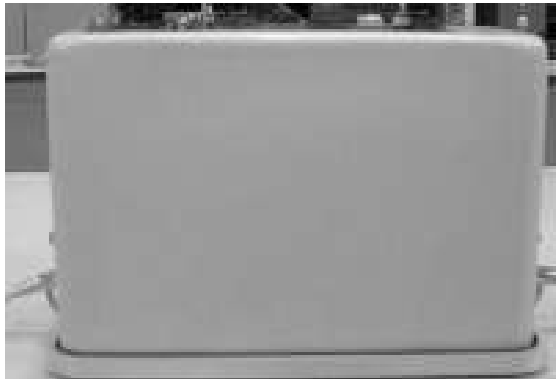


Foto 1. IV.3.9 Vista del exterior del acelerógrafo 130 SMA.

Foto 2. IV.3.9 Vista del interior del acelerógrafo 130 SMA.



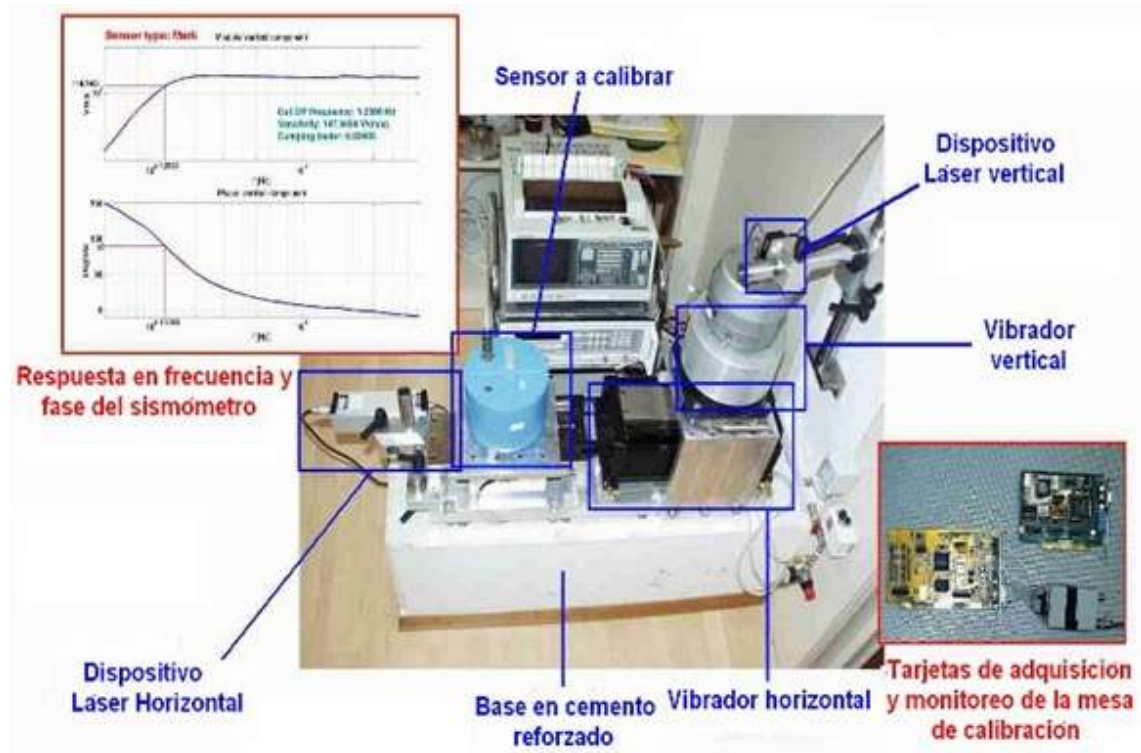


Foto 3. IV.3.9 Vista del esquema de un acelerógrafo.



V. CONCLUSIONES.

El Comportamiento seguro de una presa es resultado de un buen diseño geotécnico y estructural, que es modificado convenientemente a medida que se cuenta con información geológica de detalle, propiedades reales de los materiales utilizados y con información del comportamiento de la estructura, tanto durante la construcción como en la operación.

No es posible eliminar todos los riesgos asociados con una presa, por lo que es necesario establecer controles y estrategias adecuadas, que permitan detectar oportunamente cualquier anomalía y realizar los trabajos preventivos o correctivos necesarios.

El análisis del comportamiento de las presas y su entorno mediante instrumentación ha sido una herramienta de gran valor para mejorar los diseños, y la implantación de Sistemas de Auscultación permiten la evaluación de la seguridad sobre bases cuantitativas y objetivas.

La diferencia entre una observación fructífera y un esfuerzo desperdiciado está en la confiabilidad del equipo de medición y en las habilidades y capacidades del personal que participa en el proceso.

En consecuencia, el propósito principal del diseño de un sistema de instrumentación y monitoreo es suministrar información confiable y oportuna sobre los movimientos, deformaciones y presiones que se desarrollan en una obra y compararlos con las predicciones realizadas en la etapa de diseño.



VI. BIBLIOGRAFÍA.

Raúl Flores Berrones, Vangel Hristov Vassilev, Xiangyue Li Liu

Geotecnia en Ingeniería de Presas.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

G. A. Paz Soldán, H. Marengo, F. I. Arreguín.

Memoria del Foro Internacional "Las Presas y el Hombre".

La Asociación Mexicana de hidráulica (AMH) y El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Ing. José Francisco Gonzáles Valencia.

Presentación de la Conferencia "Evolución de la Instrumentación Geotécnica en México bajo el Impulso de la Construcción de grandes Presas".

Ing. Carlos Morales.

Presentación de la Conferencia "Instrumentación de Presas".

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

Manual de mecánica de Suelos. "Instrumentación y Monitoreo del Comportamiento de Obras Hidráulicas".

Javier Avilés López, Isaac Bonola Alonso, Xiangyue Li Liu y Gilberto Salgado Maldonado

Manual Geotécnico para el Diseño de Presas Pequeñas (SEMARNAT)

Editores Isaac Bonola Alonso y Alberto Jaime Paredes



Luis I. Gonzáles de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo.

Ingeniería Geológica.

Editorial Pearson Educación S.A.

Ing. Washington Sandoval E.

Presentación "Presas de Tierra y Enrocamiento"

<http://bashny.net/t/es/73538> (imagen presa de concreto de gravedad)

<http://estructurando.net/2014/03/31/las-cinco-presas-mas-impresionantes-de-china/>
(imagen presa de concreto compactado)

http://fluidos.eia.edu.co/presas/tipos_presa/marcos/presa%20de%20contrafuerte/m_Pueblo_contrafuerte.htm (imagen presa contrafuerte)

<http://blogdelagua.com/inicio/reportaje-grandes-presas-la-presa-hoover-hoover-dam-1a-parte/> (imagen presa arco gravedad)

http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/ponencias2/dia_28/5_analisis_de_riesgo_de_falla_en_presas.pdf .

<https://ingenieriageotecnicaldia.wordpress.com/category/instrumentacion-geotecnica/>

<http://www.ampere.mx/sistema-de-monitoreo-siacutesmico-para-presas-con-sistema-de-tiempo-centralizado> (diagrama del acelerógrafo).

Bourguett Ortiz, Víctor Javier



Congreso IMTA 2013

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

<http://www.imcyc.com/revistacyt/ago11/artinfraestructura.html> (Infraestructura de la presa Francisco J. Múgica)

http://gabsa.com.mx/home/?page_id=76 (Inyección de mezclas de cemento para la impermeabilización y consolidación de la roca, Presa Francisco J. Múgica).

Virginia Alegría Granados

Procesamiento y Presentación de datos de Instrumentación de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís.

<https://www.quieroapuntes.com/instrumentacion-de-presas.html> (Arquitectura. Construcción. Presas. Medidores de presión. Piezómetros hidráulicos. Piezómetros neumáticos. Piezómetros de cuerda vibrante. Piezómetro de resistencia eléctrica. Medición de infiltraciones).

http://terrabridge.com.mx/descargas/pendulos_inversos_y_directos.pdf (Péndulos directo e inverso).