

AUSCULTACIÓN DE OBRAS**Generalidades**

Si nos remitimos al diccionario "auscultación" es la acción o efecto de escuchar el sonido que producen algunos órganos del cuerpo humano como ser el corazón y los pulmones, esta tarea en las manos del médico es utilizada para realizar un diagnóstico del funcionamiento de esos órganos. Si detecta alguna falla, o escucha un sonido distinto al que tienen el común de las personas, aconseja un tratamiento a fin de revertir esa anomalía.

De la misma manera, cuando se habla de *auscultación de obras* se pretende realizar una tarea similar. Por supuesto, cambiando algunos conceptos. Por ejemplo, no sabemos mucho respecto al sonido que producen las estructuras cuando funcionan correctamente. Además si pretendemos que este ruido cambie, para dar el alerta, será tarde, para tomar una decisión a fin de evitar una catástrofe. Pero si se podrá, medir pequeños movimientos, o cambios de dimensiones producto de variaciones en las solicitaciones y o temperaturas y al comprobar que todas estas se producen normalmente, siguiendo leyes físicas conocidas, tendremos la seguridad que tanto las estructuras como las fundaciones, están soportando los esfuerzos previsto en el proyecto.

En un dique, tendremos gráficas de movimientos y tensiones de estructuras y roca de fundación; presiones de agua, temperaturas del aire y del interior de las estructuras y rocas de fundación, como también registros de niveles de agua almacenados, etc. que a través de varias mediciones, encontraremos la correlación de causas a efectos.

Este tema, es muy amplio, y comenzó en los años 1940, cuando la ingeniería, exigida por las tendencias sociales y económicas en aras de la productividad y eficiencia, se

encontró con la obligación de construir obras cada vez más altas y ante la presencia de algunos fracasos, los proyectistas vieron la necesidad de disponer de coeficientes con fundamentos teóricos y prácticos basados en *experiencias reales* a fin de corroborar (o no) los resultados de laboratorio.

Comenzaremos definiendo lo que debemos entender por obra:

"Obra *ES UNA ESTRUCTURA CREADA POR EL HOMBRE PARA QUE PRESTE UN SERVICIO AL SER HUMANO, COMO ENTE SOCIAL*".

Por lo tanto debe cumplir con algunos requerimientos básicos:

- a) En el proyecto y construcción se emplearon los últimos conocimientos existentes en el arte de la construcción en un análisis del estado tecnológico.
- b) Todo en busca de la mejor solución.
- c) La obra debe contribuir al aprovechamiento de los recursos existentes, ya sean estos de espacio, energéticos, económicos, etc. contribuyendo a la solución de problemas de interés general.

Al concluir la construcción generalmente *no podemos asegurar* que se haya solucionado plenamente el problema social, a veces debido a nuestras limitaciones, o al querer solucionar técnicamente un problema, creamos otro.

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

- a) Garantizar la seguridad de la obra a través de la detección temprana de eventuales anomalías.

- b) Aumentar el conocimiento de las relaciones causa - efecto de los parámetros en juego, constituyendo una vía de realimentación de la ingeniería de proyecto para futuros emprendimientos.

Estos objetivos, en la práctica no son tan fácil cumplimentarlos con mediciones, ya que las causas y efectos en general tienen contemporaneidad y que los mismos efectos pueden ser provocados por diversas causas. En general se correlacionan los primeros con los segundos después de largos períodos de observaciones.

Las causas que actúan sobre las estructuras son numerosas, entre las que podemos citar: variaciones climáticas, pesos propios, carga hidrostática, presión intersticial, subpresiones, variaciones de temperatura del agua, variación de la temperatura debida al calor de fragüe del hormigón, variación de humedad del hormigón y de los distintos materiales utilizados, retracción, expansión y

deslizamiento elasto - plasto viscoso del hormigón; desplazamientos de los vínculos por traslación y rotación de los planos de fundación, a causa de las acciones transmitidas por las estructuras, o por el volumen del embalse; de la expansión de las rocas, de los movimientos sísmicos; de los asentamientos locales, etc.

Estas mediciones de todo tipo que se realizan, deben tener la calidad de mediciones de precisión, pero se debe tener en cuenta que están realizadas en obra y sobre estructuras, que solamente con algunas aproximaciones se las puede considerar homogéneas e isotrópicas, los resultados obtenidos en laboratorio son por lo general, ilusorios, además, si se piensa que en la práctica hay que trabajar en condiciones de clima, y de ubicación gravosa, por tal motivo es necesario aplicar métodos directos, e instrumental de fácil manejo, fácil lectura, construcción robusta, estables, y de serie, por la necesidad de intercambio y renovación.

-----O

O-----

Formas de Medición

Toda obra, en general se inicia con un reconocimiento topográfico, que da lugar al establecimiento de las bases de la factibilidad del emprendimiento, y su diseño. Prosperando el proyecto se realizará su construcción, e idealmente su vigilancia. De esto surge, la importancia para el profesional responsable de la Topografía, conocer con anterioridad los *objetivos y características* relevantes de la obra. Se comienza con un levantamiento preliminar que llega a convertirse en definitivo, que tiene la misión de dar la información para la construcción en su integridad, es por ello que debe programarse de acuerdo al proyecto.

Esta **Red Primaria** ("Estructura Topográfica Fundamental") debe prestar su marco de referencia al *Estudio, Construcción* y servir de base para la *Vigilancia*. Se realizará con métodos topográficos de precisión, asegurando una base rígida. Las mediciones

siguientes tendrán una precisión que dependerá del tipo de estructura. Estos **Métodos Topográficos** consisten en una combinación de operaciones de medición de ángulos y distancias. En la Vigilancia también se utilizarán otros, denominados **Métodos Mecánicos** que se complementarán con los anteriores. También se intentó probar en varias oportunidades los **Métodos Fotogramétricos** que tienen la sugestiva ventaja de la gran velocidad de medición, los mismos no dieron las precisiones esperadas y por esto y su elevado costo, se decidió dejarlo en suspenso.

La observación de obras durante y después de su construcción permite comprobar los resultados del cálculo, fijar su comportamiento y tomar medidas correctivas oportunamente, en caso de riesgo importante. Estas observaciones, siempre podrán ser aplicadas al diseño de futuras estructuras,

suministrando la información suficiente para optimizar los recursos disponibles.

Entre la variedad de mediciones que se pueden efectuar para auscultar una estructura, las medidas de **desplazamientos** son las que nos dan una mejor información de la situación en estudio. La medición de un desplazamiento, se realiza mediante determinación en el tiempo de la posición relativa de dos puntos en las tres dimensiones.

En el exterior estas determinaciones son responsabilidad de los **métodos topográficos**, sin embargo, en puntos de difícil instalación de equipo, se recurre a otros, que conforman los **métodos mecánicos**.

Los métodos topográficos están orientados a determinar los incrementos (Δx , Δy , Δz) y sentido de las magnitudes de las tres dimensiones del movimiento habido entre dos mediciones de un punto. En las presas se suele referir los movimientos a una medición origen. Los dos desplazamientos horizontales están referidos, uno al eje longitudinal de la presa y tienen un sentido hacia *aguas arriba* o

hacia *aguas abajo*. El otro movimiento, está referido al eje transversal de la presa y su sentido será hacia su margen izquierda o derecha. En caso de presas en arco, estos dos movimientos se denominan radial y tangencial, respectivamente. El tercer movimiento en altura suele estar referido al plano horizontal de la coronación de la presa, a la que suele darse una cota respecto al nivel del mar y es plano de comparación del resto de la construcción.

Los movimientos pueden relacionar a unas partes de las estructuras con otras de la misma, o bien el conjunto de toda ella respecto al terreno estable donde está cimentada. Especialmente, los Métodos Topográficos miden ambos tipos de movimientos y por ello se suele referir a puntos que se consideran **fijos en el terreno**. No solo se contentan con ello, sino que comprueba la inmovilidad de estos puntos, hasta donde se supone que el terreno es estable. Por esta razón los resultados de los desplazamientos, obtenidos con los Métodos Topográficos, se dice que son **movimientos absolutos**.

Precisión y Rango de las Medidas

Hay que saber **qué** se mide y **con qué** se mide. Es fundamental y delicado de antemano determinar dos cosas.

1) - **Magnitud Teórica Máxima**, prevista de cada deformación. Intervienen los cálculos de proyecto, pruebas de laboratorio (modelos reducidos) y sobre todo la experiencia en construcciones similares. Será fatal tener aparatos de medida que quedasen fuera de uso por sobrepasar el movimiento al rango de la medida.

2) - **Precisión y errores de los aparatos de medida**. Será necesario hacer un estudio de errores y precisión de cada aparato, para que el error de la medida no sobrepase la magnitud del movimiento, lo que dificultará la interpolación. Por lo general, las deformaciones a medir suelen estar comprendidas entre el milímetro y unos pocos centímetros. Los aparatos más precisos utilizados miden hasta la centésima de milímetro.

Así, será inútil utilizar un distanciómetro que tenga una desviación típica de $\pm(3 + 3)$ ppm si los movimientos a detectar son de ± 1 mm, de magnitud. Se recomienda usar una unidad superior al movimiento.

Es preciso un estudio de los errores para cada sistema de medidas. En él tendremos en cuenta las precisiones y características de cada aparato, los errores accidentales posibles debidos a su

utilización, y un cálculo estadístico de probabilidad de cometer el máximo error. También las formas de evitar o corregir estos errores a fin de obtener mejores resultados.

Fundamentalmente, con los métodos Topográficos hay que medir ángulos, distancias y desniveles, todo ello con aparatos de gran precisión.

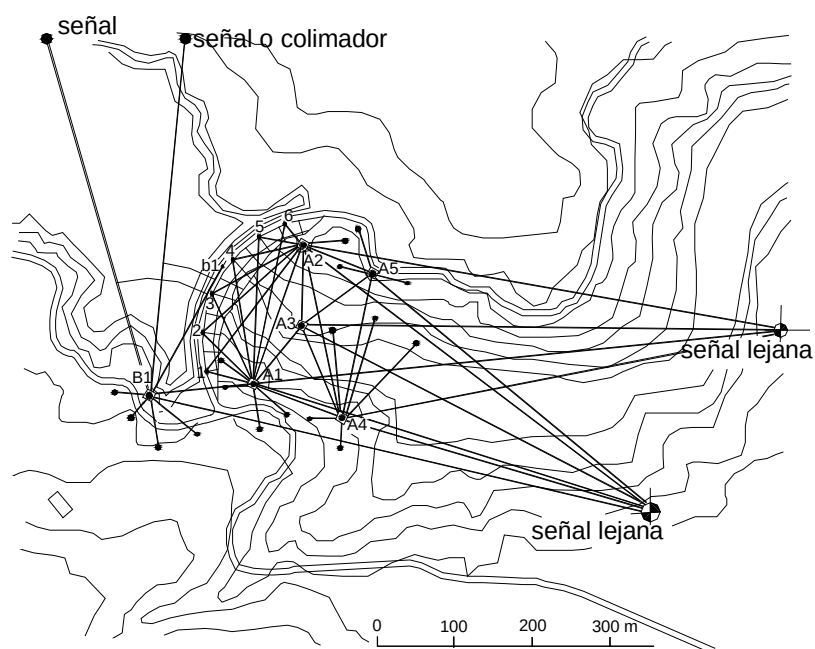
Así en los teodolitos es necesario que se aprecie como mínimo el segundo (centesimal), en nivelación se usarán miras invar con niveles con cuña estadimétrica y micrómetro óptico de cristal de caras planoparalelas, para apreciar hasta 0,02 mm.

Las técnicas han evolucionado enormemente y se tiende a construir aparatos topográficos que con ayuda de la electrónica perfeccionan estos métodos cada vez más. Así hay distanciómetros que aprecian $\pm (1 + 1 \text{ ppm})$ que usados para medir distancias a menos de 500 metros en el peor de los casos estaríamos con 1,5 mm y teodolitos o E.T. que registran y transmiten a un ordenador los datos medidos en el campo.

Métodos Topográficos

Con ellos tratamos de hallar los movimientos de puntos testigos (Puntos de Control) situados en la Presa, calcularemos las diferencias de coordenadas (Δx , Δy , Δz) entre una observación actual con otra inicial, es decir, efectuadas en distinto momento físico, referido a un Sistema Fijo.

El método de cálculo no ofrece dificultad. En lo que hay que proceder con sumo cuidado es en los detalles operativos, basados en experiencias de trabajos anteriores y recomendaciones a tener en cuenta para la obtención de buenos resultados.



Red de Triangulación: A1, A2, A3, A4, A5, B1, señales lejanas y cercanas

Vértices Cercanos: A1, A2 y A3

Puntos de Control: 1, 2, 3, 4, 5 y 6

Colimación: Pto. Fijo: B1, Señal y Colimador, Pto de Control: b1

Respecto a la medición de ángulos el método de Screiber es, teóricamente el mejor conceptualizado, pero los operadores prefieren realizar el de Giro del Horizonte por la sencillez de la medición y el menor tiempo empleado en cada giro, y se puede abundar en cambios de orígenes. Cada serie debe hacerse con pocas direcciones, tratando que la posición del sol y el tiempo no varíen mucho, y especialmente que el observador durante toda la medición no se canse o lagrimeen sus ojos.

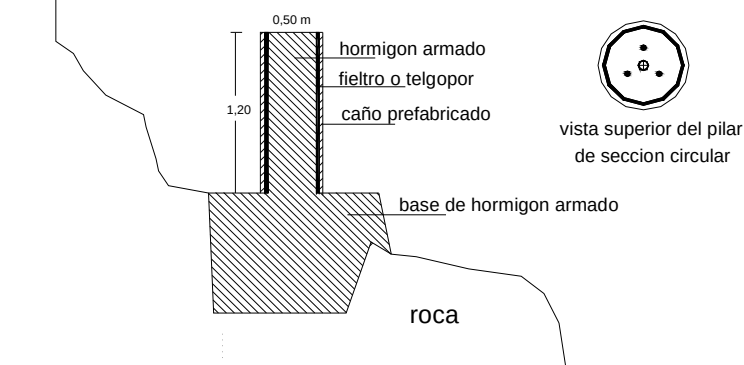
Entre cada una de estas etapas, se debe revisar prolijamente la nivelación del instrumento, y si corresponde, se cambiará el origen del círculo horizontal.

Las mediciones angulares se deben hacer en condiciones de estabilidad atmosférica satisfactoria y lejos de las horas de máxima insolación; tratando que el sol se encuentre a la espalda del observador.

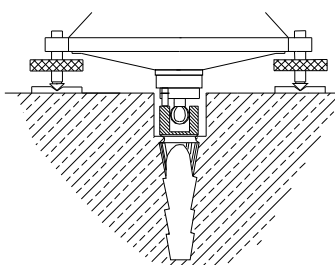
Para desarrollar el método se precisa de una RED DE TRIANGULACIÓN, sus vértices, estarán materializados por columnas de hormigón armado, fundadas sobre roca firme, de una altura libre similar a la del trípode del teodolito, ($\sim 1,20$) y de 0,50 m de diámetro. En su parte superior, y empotrada en la misma, tendrá un dispositivo de centraje forzoso, en posición rigurosamente vertical. Al teodolito se le colocará el accesorio consistente en una bolita de centraje, que se introducirá en el dispositivo embutido en el hormigón.

Pilar de Observacion

Centrado Forzoso del Teodolito y Señales



Para la construcción de estos pilares de observación, se pueden utilizar caños prefabricados de hormigón o fibrocemento como encofrado, que formará parte integrante del pilar, con una lámina de telgopor o fieltro en su interior lograremos separar la columna del caño; de manera, que este actúe como protector y aislante térmico de la columna. Todo estará cubierto con una casilla de madera, para proteger del sol y del viento al



Dispositivo de Centraje con bola fija en el teodolito

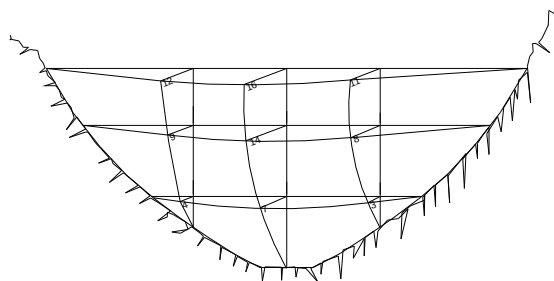
Entre los vértices, de esta Red, estarán los próximos a la presa, desde donde vamos a observar los Puntos de Control sobre la estructura de la misma y se prolongará hasta un lugar lo suficiente-mente alejado como para considerarlo estable y libre de las influencias de la Presa, y del embalse. Aquí se localizan dos vértices que determinan una base de coordenadas de partida fija. A partir de estos puntos se recalculará, **cada vez que**



Teodolito Wild T3 con bola de Centraje, colocándose en el Pilar

se haga una medición, completa, y compensada por los metodos usuales y conocidos, determinándose los posibles movimientos de los vértices próximos a la presa.

Dado que, estos vértices seguramente, manifiesten variaciones estacionales o de otro tipo, será imprescindible remedir, como se dijo en el párrafo anterior. Por esto se deberá considerar al momento de su diseño, un esquema, sencillo, a fin que su medición no sea muy laboriosa.



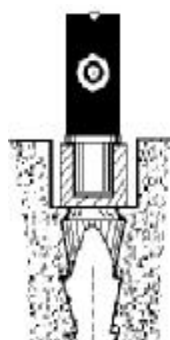
Deformacion del Dique entre la Epoca Actual y la Epoca Inicial.

Hay además otros métodos para comprobar la estabilidad de los vértices próximos a la estructura de la presa. Uno de ellos es observar señales fijas, situadas en las rocas aguas abajo de la presa. Algunas de estas señales estarán cercanas al Vértice, (~ 50 m) y otras se ubicarán suficientemente lejanas (~ 200 a ~ 350 m)

Cuando desde cada vértice se observa una serie de señales de Puntos de Control, simultáneamente se visarán señales fijas cercanas y lejanas. Estas, tomadas de a dos, y el punto estación, formarán un triángulo inscripto en una circunferencia y el ángulo medido forma un arco capaz. Al variar este arco, por efecto del movimiento del punto, tendremos otro círculo distinto. Cuando finalizamos la medición de la estación disponemos de varios círculos, tantos como parejas de señales fijas, La intersección de los mismos forma un polígono de error, cuyo centro, debidamente compensado nos dará las nuevas coordenadas del vértice.

Todo este sistema, algo complejo, se puede resolver gráficamente y a escala 10 a 1. Si situamos las señales fijas no muy alejadas de los vértices (no más de 250 m), y elegimos cuidadosamente la combinación de los arcos capaces. También es posible realizar el cálculo analíticamente, ya que en definitiva sería hacer una trisección inversa múltiple para cada vértice, calculando las "nuevas coordenadas".

Una vez determinada la nueva situación del punto (por coordenadas polares y con magnitudes normalmente de pocos milímetros) se ve si estos valores son superiores a las elipses de error, calculadas para cada vértice. Si son superiores, se procede a corregir todas las visuales dirigidas a los Puntos de Control, situados en la presa.



Señal en
Punto Fijo



Señal en
Hormigón del
Dique



Señal empotrada en la
Roca de Fundación

Es decir, se efectúa una Reducción al Centro de estación, variando cada dirección en los segundos correspondientes. Llegamos a la fase final, es decir a determinar el movimiento de cada señal situada en la presa. (a veces hasta 70 señales)

El método es diferencial, calcula las variaciones de cada ángulo medido entre los puntos de la presa y una referencia lejana y fija. De estas variaciones, que suelen ser de segundos, se deduce (conocida la distancia Vértice – Punto de Control), el pequeño arco, que podemos asimilarlo a un vector de movimiento. Así, para cada vértice hay una visual al punto y un vector movimiento. Gráficamente se hallará el vector movimiento, que será resultado de los dibujados. Luego conviene proyectar este vector sobre los ejes de la presa y si ésta es de arco, radial y tangencial.

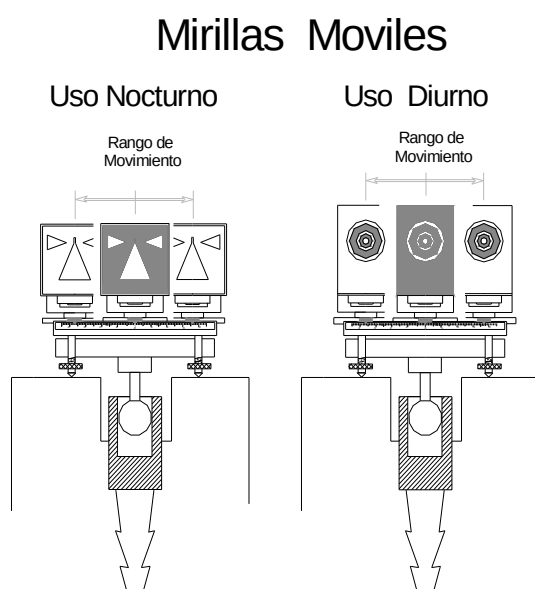
Otro método a usar en la remediación de la Red, a fin de encontrar las variaciones de las coordenadas de los Vértices Próximos, es cambiar las observaciones angulares, (triangulación) por observaciones de distancias (trilateración) Con este motivo, deberíamos realizar mediciones lineales con una precisión adecuada.

Con tal motivo se puede utilizar el distanciómetro Mekometer ME 3000 (con una exactitud $\pm(0,2 \text{ mm} + 1 \div 2.10^{-6} \cdot D)$) Preferentemente todos los pilares deben estar a la misma cota y compatibilizar el sistema de centraje forzoso.

Los puntos de la presa, se observarán desde los pilares cercanos y por intersección adelante se determinaran sus posiciones, estarán materializados con marcas empotradas en el hormigón de la presa de fácil bisección desde ambos pilares, Es preferible que las lecturas por intersección sean hechas bajo un ángulo obtuso, muy parecido al ángulo recto, nunca menor de 40° . Lo óptimo es un triángulo isósceles que tiene en el vértice 109° .

Método de Colimación

Mirillas Móviles. Este método se aplica principalmente, para medir los desplazamientos de un cierto número de puntos alineados y normalmente situados en el coronamiento de la presa. Se define una línea recta entre dos puntos que se suponen fijos. Estos suelen estar uno en cada margen materializados por sendos pilares; y **también forman parte de la Red de Triangulación**, y él o los Puntos de Control intercalados inicialmente en la misma línea.



En uno de los PF se estaciona el teodolito y en el otro se coloca una señal fija, o colimador, a la que se visa. Las precauciones de la observación, son las mismas que para la triangulación. Se miden los desplazamientos de la presa por medio de unas mirillas que corren en unas escalas, estacionadas en Puntos de Control, con centrado forzoso y / o empotradas en el hormigón de la presa en posición normal al eje fijo de colimación. Hay que mover las mirillas, según las indicaciones del observador hasta que esté perfectamente colimada, entonces se lee el "nonius" de la escalilla hasta la décima de milímetro. Este valor comparado con el dado en la observación origen nos da el movimiento radial buscado.

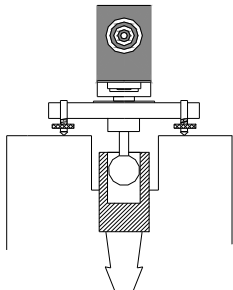
Se repite la lectura de cada mirilla, por lo menos 4 en cada posición del teodolito.

Se debe tener en cuenta que el eje de colimación no sufra inclinaciones muy grandes (nunca mayor de 30°) ni tampoco pasar rasante a la coronación de la presa. El eje de colimación, así mismo debe ser perpendicular al desplazamiento esperado. Al proyectar las mirillas se debe tener en cuenta que las escalas estén dimensionadas en exceso, a fin de que por motivos de los movimientos propios de la estructura nunca queden las mirillas fuera del rango.

Puntos Fijos. En lugar de las mirillas móviles, también se utiliza otro método. Colocando en el cuerpo del dique Puntos de Control, fijos empotrados en el hormigón. No es necesario que estén alineados con la línea (teodolito – colimador), por lo tanto, formará un determinado ángulo con esta. El trabajo será determinar cada vez, el ángulo horizontal que forma la línea (teodolito - colimador) con la (teodolito - P. Control); y comparar éste, con el obtenido en la medición inicial.

Mirilla Fija

Uso Diurno



Con el conocimiento aproximado de la distancia (teodolito - P. Control) podemos calcular el desplazamiento.

Este procedimiento, tiene la ventaja que desde un solo Punto Estación se puede determinar los desplazamientos de varios puntos en el coronamiento de un dique en arco; además existe mas libertad de ubicación de los Puntos (Estación y Señal Fija o Colimador, así mismo es posible colocar más de una Señal Fija o Colimador), a fin de evaluar la roca sana de fundación, y sin movimientos de la zona circundante.

El desplazamiento obtenido por el método de Colimación de P. Fijo de Control nos dará el vector

movimiento en la componente perpendicular a la línea (Teodolito - P. Fijo de Control), esta se deberá reducirla a las componentes en las direcciones, radiales y tangenciales, y se deberá reiterar en 10 orígenes del círculo Hz en las dos posiciones del teodolito.

Para el método de Colimación se puede utilizar el teodolito Wild T2 o el T3 u otros similares, con sistema de centraje forzoso.

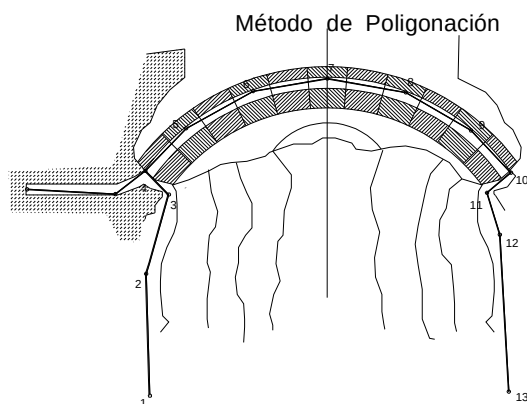
La elección del instrumento está en función de la distancia a colimar las mirillas, o P. Fijos. Con todo es aconsejable este método no utilizarlo en distancias mayores de 400 m

Se aconseja controlar en las **Presas de Gravedad**, al menos un punto en el medio; para **Presas Aliviadas**, el contrafuerte más elevado, en el que ordinariamente son instalados otros aparatos de medición, También en otros contrafuertes que presenten particularidades diferentes (dimensión, empotramiento, altura, exposición al sol, fundación en condiciones particulares, etc.) **Para las Presas en Bóveda y Arco - Gravedad**, uno en la clave y los otros dos en los riñones, coincidiendo con los péndulos, para las primeras y para las segundas en el centro y cerca de los empotramientos.

Para las **Presas en Tierra** se verificará en varios puntos el control de los desplazamientos horizontales junto con los desplazómetros.

Si existe una red de triangulación general, los P. Estación, P. Colimación o Mira Fija, las mirillas móviles, y / o P. Fijos, deben ser ligadas a dicha red.

Itinerario por Poligonales



La **determinación de la posición de un cierto número de puntos sucesivos de una poligonal** por sobre el coronamiento y / o a través de las galerías horizontales de control de la presa, en diferentes épocas permite obtener las deformaciones sufridas por la presa en un plano horizontal.

El método, mas preciso que el de la triangulación, exige que los

ángulos y lados sean medidos con gran precisión. Para obtener **valores absolutos** de los desplazamientos de la presa y de los apoyos, es suficiente prolongar la poligonal por galerías, unos 50 m o más, en el macizo rocoso, utilizando túneles de sondeo e inyección.

Es conveniente relacionar la poligonal del itinerario a los puestos de lecturas de los péndulos, así como a la red de pilares de triangulación exteriores.

Para medir los ángulos se empleará teodolitos de gran precisión. Los lados del itinerario serán medidos en promedio tres veces con los hilos o las cintas de invar. El error medio del centrado debe ser menor a 0,1 mm de manera que el error medio del ángulo, para una longitud de 25 m sea menor de 1" (sexagesimal) Se dan precisiones del orden de 0.2 mm para la posición de cada vértice. Para obtener estos valores se aplicará en cada vértice el método de centrado forzoso con pilares o ménsulas fijas en las estructuras o en la roca, según el caso.

Nivelación de Precisión

Las nivelaciones son ejecutadas para permitir la medición de los desplazamientos altimétricos de los puntos de la presa y del terreno circundante. Se trata de nivelaciones geométricas de precisión, que se obtienen disponiendo las referencias siguiendo criterios particulares.

Las referencias estarán dispuestas de manera de ofrecer un cuadro general de todos los eventuales desplazamientos de cota, que se verifiquen en la superficie topográfica considerada y que comprende generalmente una zona aguas abajo, lo bastante alejada para no ser sensible a los efectos del llenado de la presa, la base, el coronamiento, y los arranques de la presa misma. La distancia máxima entre las señales deberán, si es posible, no mas allá de 60 a 80 metros.

Las referencias estarán compuestas de tetones de bronce con casquetes de acero inoxidable, de 1 cm de diámetro, una longitud de alrededor de 12 cm y 1 cm de diámetro del vástago y serán empotradas en pilares de hormigón, de dimensiones considerables, a fin de garantizar su estabilidad. Los tetones serán protegidos con tapas sobre las cuales serán grabados los números de la referencia correspondiente.

Se utilizarán miras de doble graduación con cintas de invar, verticalizadas con niveles esféricos. Los niveles serán de precisión, con retículo de cuña, lámina de caras planas paralelas con su micrómetro correspondiente, del tipo Wild NAK2 o NI 3

Métodos Mecánicos

La vigilancia de estructuras puede darse mediante la aplicación de métodos de medición mecánicos en cuatro grupos principales:

- a) Medición de desplazamientos (posiciones relativas)
- b) Mediciones de presiones del agua.
- c) Medida de esfuerzos ejercidos y soportados
- d) Medidas de temperatura.

También podemos citar, el uso de acelerógrafos, para verificar su comportamiento dinámico y en forma complementaria, la aplicación de otro tipo como por ejemplo las hidrometeorológicas.

Desplazamientos

En puntos de difícil instalación de equipos, y no se pueden vincular a la auscultación externa se utilizarán, como por ejemplo la cinta o alambre de invar, micrómetros, péndulos, clinómetros de burbuja, fotoclinómetros, mira móvil y otros.

La vigilancia que se pueda dar a una estructura, está dirigida a partes de la misma que cumplen objetivos que bien se puedan separar para entender mejor su comportamiento. Así pues se establecen:

Medidas Estructurales.

Medidas de cimentación

Medidas de interacción entre las dos anteriores

La selección del tipo de instrumento depende del tipo de obra, de la factibilidad de instalación, de su costo y sobre todo de la necesidad del dato a obtener.

Presiones de Agua.

El agua es uno de los elementos más difícil de manejar en la construcción de grandes obras. Es necesario conocer bien su posición y comportamiento a fin de evitar grandes sorpresas o de evitarse riesgos innecesarios. Las mediciones de la posición del agua en el subsuelo y de la presión de esta en el interior de una estructura tienen diferentes aplicaciones en el desarrollo de una obra. Por ejemplo puede medirse la eficiencia de una pantalla impermeabilizante, evaluar el avance del asentamiento de una estructura, variar el estado de esfuerzos de una cimentación e indirectamente evaluar la falla de una estructura por sobrepresión.

Los aparatos designados a estudiar el comportamiento del agua en el subsuelo se les denominan piezómetros, y trabajan bajo el principio de equilibrar una presión externa, medible, con la presión del agua dentro de la estructura. Existen diferentes modelos según las necesidades de medición: Piezómetro abierto, neumático y eléctrico.

Esfuerzos:

En la mayoría de las estructuras hechas por el hombre, el nivel de esfuerzos ejercidos y soportados, puede ser determinado en forma indirecta a través de la medida de deformaciones utilizando las ecuaciones establecidas en la ley de Hooke. Sin embargo algunas estructuras requieren de la medición directa de presiones como por ejemplo en rellenos, muros de retención, tabla estacados, anclajes, cimentaciones, túneles, etc.

Para medir esfuerzos el instrumento más utilizado es la celda de presión, las cuales se fabrican en diámetros que se desee y con espesores desde 2 mm. Con esto es posible vigilar desde enormes presas de enrocamiento hasta pequeños modelos de laboratorio. Casi todas las celdas que se utilizan actualmente son celdas hidráulicas o eléctricas.

Las celdas eléctricas tienen por lo general, un diafragma deformable, sobre el cual se instalan cuerdas vibrantes o deformímetros electrónicos los cuales funcionan en forma análoga a los piezómetros eléctricos. La celda hidráulica es de forma cilíndrica con una relación diámetro - espesor muy grande; flexibles, llenas de aceite, conectadas por medio de una tubería hasta un manómetro. Trabajan por lectura directa, la que indica el manómetro a causa de la presión que se genera en el interior de la celda.

Las celdas son elementos que permiten la determinación de esfuerzos de compresión. Las tensiones son generalmente medidas en forma indirecta por medio de deformaciones o a través de la relajación de la estructura, como respuesta a las diferentes etapas de carga y descarga. Otra limitación que tienen las celdas es que solo miden en la dirección perpendicular a su plano por lo que se deben colocar en un sentido preestablecido

Descripción de Algunos Instrumentos Mecánicos

Péndulos.

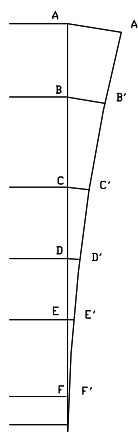
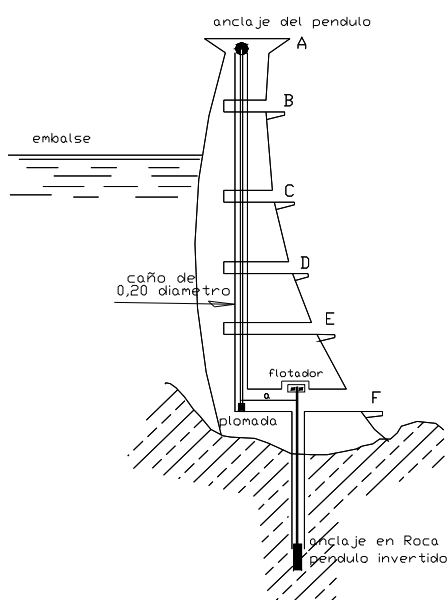
El Péndulo Normal es en principio una plomada que se fija a algún punto de la presa, o en la roca. Por intermedio de ella, es posible determinar en cualquier instante, tanto en la presa como en la roca, la desviación horizontal de numerosas referencias respecto a su punto de fijación.

Péndulo invertido. Este es un péndulo cuyo alambre es fijado en el extremo inferior, y la tensión está asegurada por un flotador en el extremo superior. Este dispositivo es muy conveniente para el control de puntos situados en la roca, frecuentemente inundados. El flotador se encuentra en cualquier lugar de la presa, obviamente en la vertical donde está fijo el alambre y generalmente en el mismo plano radial del péndulo normal. De esta manera, se determina el desplazamiento del punto superior del péndulo normal con respecto al punto de roca donde está fijo el péndulo invertido.

Si el espacio en el que el péndulo está libremente suspendido, se protege de disturbios exteriores, sobre todo corrientes de aire, es posible obtener lecturas precisas.

Las mediciones obtenidas con los péndulos tienen la ventaja de realizarse rápidamente y aún mas, colocarse un registrador gráfico continuo en dos direcciones ortogonales, obteniendo instantáneamente las componentes, radial y tangencial del movimiento.

El inconveniente es que estos datos obtenidos son desplazamientos relativos. Con la finalidad de minimizar la relatividad de las mediciones pendulares, en la práctica se combinan estas con las obtenidas por métodos topográficos, especialmente los llamados de Colimación.



En conocimiento del coeficiente de dilatación térmica del hilo del péndulo y del diagrama de variación de temperatura a lo largo del mismo, es posible medir los desplazamientos verticales de los puntos visados.

En el péndulo, se comparará el valor de la dimensión "a" en una fecha actual, con la obtenida al iniciar las mediciones (época cero o inicial) esta diferencia en el sentido radial, nos indicará la magnitud del desplazamiento del punto donde está anclado el péndulo normal con respecto al punto donde está anclado el péndulo invertido en la roca de fundación (A-A')

También, se puede medir los desplazamientos intermedios (B-B'), (C-C'), . . . (E-E') si se ha previsto estas series de medidas, y nos posibilitaría construir el gráfico de la deformación en el plano radial de cada uno de los péndulos. Será de importancia en la interpretación, los datos suministrados por el clinómetro en cada una de las superficies de nivel A, B, C, D, E, E y F.

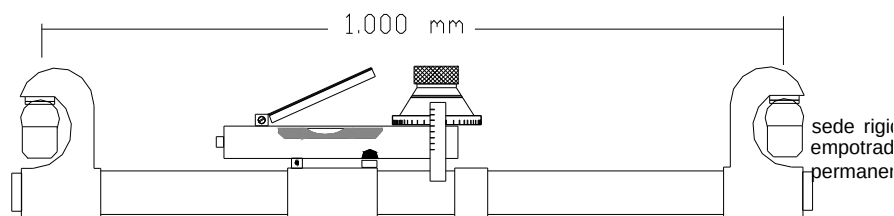
Los efectos gravitatorios por influencia del llenado del vaso y lunisolar, son prácticamente despreciables, la desviación de la vertical por estas causas, acusa valores angulares del orden de 10^{-6} y de $5 \cdot 10^{-8}$ radianes, respectivamente.

Para evitar errores debidos a las centraciones intermedias y para proteger la escala de factores mecánicos y químicos, los péndulos se construyen, en la actualidad, reemplazando la escala fija por un "Coordinatógrafo" es decir por una escala portátil que se instala y fija a placas de acero empotradas en el hormigón de la presa. La distancia entre el alambre del péndulo y la pared se determina por medio de un visor óptico con una precisión de 0,1 mm.

Clinómetros

Los clinómetros permiten la determinación de la variación en inclinación de una estructura. Combinados con los péndulos, estos instrumentos facilitan la elaboración e interpretación de las deformaciones detectadas. El inconveniente de los clinómetros es que sus datos son muy localizados

El **clinómetro mecánico** de Huggenberger y Stoppani, se basa en el principio del nivel de



burbuja. Su base varia entre 0,50 m y 2 m permite la lectura de la inclinación respecto de la horizontal en segundos sexagesimales.

Para incrementar la precisión de las medidas se sugiere leer en las dos posiciones del clinómetro.

El **fotoclinómetro** está formado de un pequeño péndulo de dos hilos "Zöllner" donde está instalado un espejo que refleja un rayo de luz emitido por una lamparita, en la dirección hacia el registrador

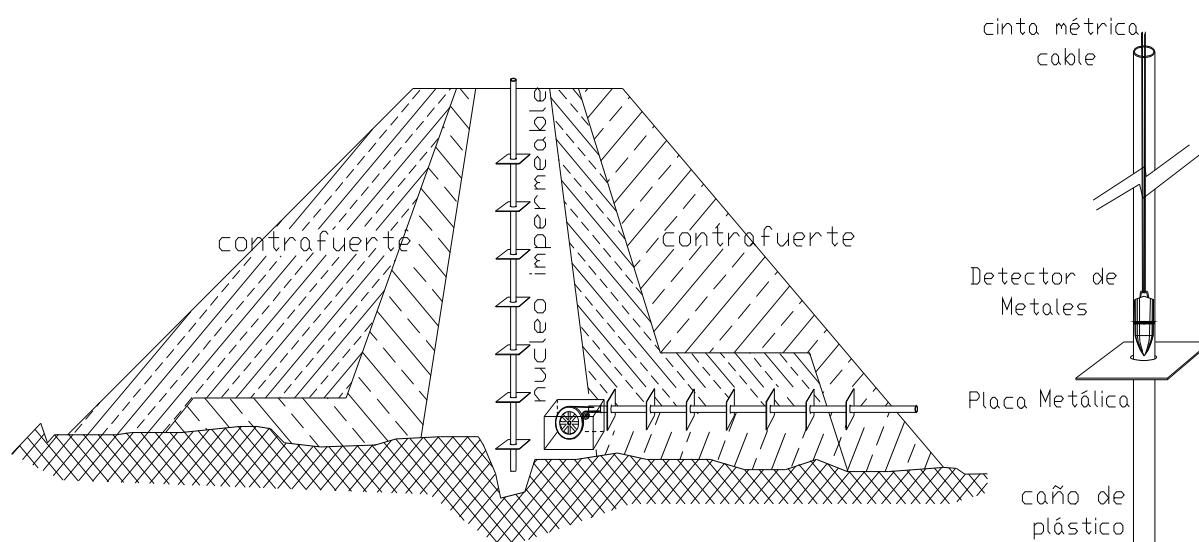
El **clinómetro eléctrico** se basa en el principio de la plomada. El instrumento contiene un péndulo corto y se fija al hormigón o a la roca. Si la inclinación de la pared cambia, el péndulo modifica su posición relativa a la base del instrumento, la que está fijada sólidamente a la pared. Aquí utiliza el sistema de la cuerda vibrante con el objeto de encontrar la variación producida. Su precisión es del orden de 2 a 10 segundos sexagesimales. Estos que son menos precisos se los puede utilizar en lugares de difícil acceso y en el contacto roca - hormigón.

Normalmente se instalarán las bases y cadenas de clinómetros, en el coronamiento y a cotas intermedias respecto del mismo plano vertical, en una presa de hormigón. En los lugares previstos para las lecturas de los péndulos, sobre la roca de fundación y sobre los "pulvinos". También es interesante colocar estas bases o cadenas en los lugares posibles, perpendicularmente a las anteriores.

Instrumentos que miden variaciones de longitud.

Los desplazamientos horizontales, verticales u oblicuos en el interior de la presa se miden mediante referencias de desplazamientos. Estos se componen de una serie de tubos de plástico dispuestos extremo a extremo. Se colocan a lo largo de la tubería así formada y exteriormente, placas o anillos metálicos separados por algunos metros, unos de otros, perpendicularmente al caño.

Estas placas, al estar inmersas en la estructura de la presa, acompañarán a la misma en sus movimientos. Las respectivas posiciones de estas, se conocerán por medio de una sonda eléctrica o mecánica que detectará la ubicación del metal. La lectura es relativamente sencilla, al introducir la sonda irá acompañada de una cinta métrica, al detectar la placa se medirá la distancia desde un índice que se encuentra cerca de la boca del caño.



Estos caños con las placas, se pueden colocar en forma vertical dentro del núcleo de una presa en tierra, en este caso mediremos variaciones en los asentamientos de las distintas capas de este. El dispositivo se denominará *Asentímetro*. También se lo colocará en forma horizontal, a distintos niveles en una presa en tierra y mediremos con estos los desplazamientos horizontales de los contrafuertes y núcleo y se lo denominará *Desplazómetro*.

Tanto en uno como en el otro, se debe tener sumo cuidado en la ubicación y colocación a fin de evitar que estos tubos se transformen en vías de salida de agua.

Con estos instrumentos determinaremos la ubicación de las placas metálicas con la precisión de 1,2 a 2 cm. Los desplazamientos y asentamientos normales se podrán registrar con un seguimiento periódico. En el caso de una anomalía, con toda seguridad, los movimientos serán significativamente, muy superior a los 2 cm.

Comparadores

Los comparadores son generalmente de acero o invar, con micrómetros y flexómetros incorporados. Ellos permiten un examen simple de las superficies externas de la presa así como las paredes de las galerías y las fundaciones. Como la medida de la longitud es en general de 0,5 a 1 m, el resultado representa sólo un valor local. El valor de la medición aumenta significativamente cuando se considera la serie completa de mediciones. Por este método, por ejemplo, en una galería

horizontal o en el exterior de una presa de arco, pueden juntarse 5 a 10 bases de medidas, sin espacio intermedio, lo que representa una longitud medida de unos 5 a 10 metros. Si cada medición se combina con una vertical se obtiene una imagen fiel del estado de deformación superficial.

El "Distometer Iseth" de la Kern, Es un instrumento de distancias con ayuda de hilos de invar, sirve especialmente para la determinación de variaciones de distancias en mediciones de deformaciones de estructuras y desplazamientos desde 1 a 50 m con una precisión $\pm 0,02$ mm.

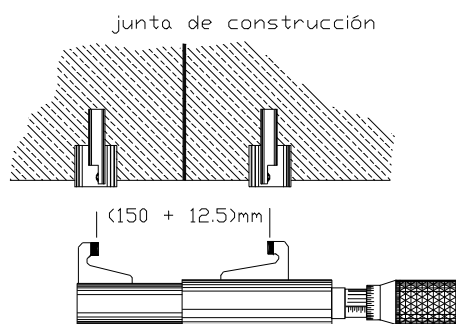


CALIBRE EXTENSÍMETRO TS 1000

En algunas obras se utilizan en las mismas sedes de los clinómetros, calibres extensímetros y sirven para estudio de las variaciones de medidas en estas bases que se sitúan en zonas de tensión de los materiales. Estos calibres tienen las mismas dimensiones de los clinómetros son de invar y en uno de

los extremos tienen un tornillo micrométrico graduado donde se realiza la lectura correspondiente.

También hay calibres extensímetros de 150 milímetros utilizados para determinar el momento de máxima contracción del hormigón y sus variaciones, midiendo la distancia que separa a dos celdas situadas a ambos lados de una junta radial en un dique en arco, en el paramento seco de aguas abajo. Estas mediciones son de gran importancia y se deben realizar muy frecuentemente a fin de controlar el efecto arco; fundamental para la estabilidad de la presa.



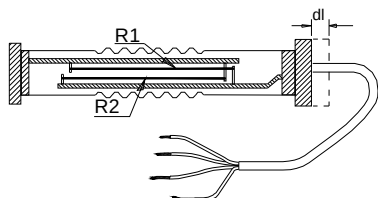
CALIBRE EXTENSÍMETRO FM 150

Extensímetros a resistencia Eléctrica

Sobre todo, en diques de hormigón y de estos en los de arco, como se dijo en el párrafo anterior es de mucha importancia controlar el estado de las aberturas de las juntas de construcción. Los calibres son los instrumentos adecuados y confiables que se usan frecuentemente; pero su uso, está limitado al paramento aguas abajo y al interior de las galerías de inspección. En el paramento húmedo y en el interior de las juntas se utilizan ***dilatómetros a resistencia eléctrica***.

Así mismo es de mucha importancia repetir las mediciones de contracción del hormigón que se realiza en las galerías, y superficies del dique, con los comparadores, en el interior de las estructuras, en zonas muy comprometidas con los esfuerzos que se realiza. El proyectista indicará

las zonas que especialmente se deberán colocar estos instrumentos, llamados **extensímetros a resistencia eléctrica**, y que constructivamente son similares a los dilatómetros.



Estos instrumentos se basan sobre el principio de la variación de resistencia de un hilo conductor al variar su largo. Un desplazamiento 'dl' del extremo, provocado por una deformación del hormigón que lo contiene, se traslada, mediante un sistema de barras interno, con un efecto de compresión de una resistencia R1 y una tracción de la R2.

El empleo de las dos resistencias en oposición, tiene el fin de eliminar el inconveniente que la variación de la resistencia de un solo elemento no es perfectamente proporcional a la deformación.

Las mediciones se realizan con un Telóhmetro (puente de Wheatstone) con lo que se puede determinar el valor de la relación de las dos resistencias y la suma de las mismas. La relación es proporcional a las variaciones del largo de las dos resistencias y sirve para determinar las deformaciones. La suma de las resistencias es función de la temperatura.

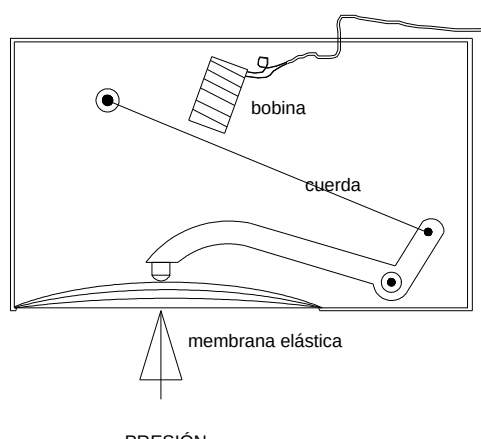
Las dos resistencias están ubicadas en un cañito elástico, cerrado herméticamente, y lleno de aceite anticorrosivo,

El rango de mediciones de las deformaciones comunes es de ± 0.3 mm y las temperaturas desde -20°C a $+75^{\circ}\text{C}$.

También existen otros extensímetros que utilizan el principio de la variación de la frecuencia de resonancia de una cuerda vibrante en función de la tensión sobre ella ejercida.

Instrumentos de medición de presión

Las **mediciones de presión en el agua** son efectuadas en el interior de las presas, en la base de sus fundaciones o en la sub - base. Esta presión es llamada **subpresión** en el caso de una presa de hormigón y **Presión intersticial** en las presas de tierra las dos nociones no son separables. El hecho esencial es que la presión hidráulica medida corresponde a la altura de agua que aparece en un tubo piezométrico ubicado en el punto en cuestión. Esta presión puede ser medida directa o indirectamente.



El principio de las medidas directas es el siguiente: el agua es captada en el punto de interés y conducida por un tubo al lugar donde se efectúan las lecturas.

Hay dos sistemas de mediciones directas. Se hace un orificio simple en la roca o en el hormigón desde una galería o fundación hasta el punto a ser examinado. Para llevar a cabo las medidas se usa un **pistón expandible** que se ajusta con una goma en el lugar de la medida. Un tubo de acero o plástico conduce el pistón a la galería donde un manómetro permite medir la presión del agua.

- En presas de tierra y en su subsuelo aluvional o diluvial, se colocan células de captación munidas de placas filtrantes que las protegen de la penetración de material fino. Cada una es

relacionada por dos conductos con la estación de medición. El doble caño, permite la purga del sistema al eliminar burbujas de aire que aparecen fácilmente debido a que los tubos poseen diámetros pequeños. En la estación de lectura, cada conductor es equipado con un manómetro de manera de asegurar la medición aún si uno de ellos no funciona.

Las mediciones indirectas se efectúan con una transmisión eléctrica. En la estación de medición la presión del agua está dada por el registro de la variación de la distancia entre dos membranas. La medición se hace con la ayuda de resistencias óhmica del alambre (sistema Huggenberger) o por medio de la cuerda vibrante (sistema Maihak)

Termómetros

Las mediciones de temperatura se pueden realizar por diversos métodos. Obviamente, por las precisiones que nos hemos puesto en todas las medidas realizadas, debemos acompañar cada una de ellas, con temperaturas diversas, tanto de las estructuras, agua del embalse a distintas alturas y del aire.

Para determinar las temperaturas en el interior de la presa puede ser obtenida por un método muy simple utilizando un **termómetro de mercurio**. Se practica una perforación levemente mayor que el termómetro y de una profundidad adecuada al dato que queremos obtener. Se introduce el termómetro en este agujero para llegue al fondo del mismo, y el bulbo de mercurio toque el hormigón, para evitar circulación de aire se cierra el orificio herméticamente.

Termómetros Eléctricos Indirectos. Estos miden la variación de tensión de un alambre de acero causada por un cambio de la temperatura. Aquí se utilizan los mismos principios que se describió en los extensímetros (medición de resistencia eléctrica de un alambre y cuerda resonante) Las lecturas se realizan de la misma manera que para las medidas de dilatación. La precisión en temperaturas por cualquiera de estos métodos es del orden de una a dos décimas de grado.

Grandes Obras

Son conocidas las razones por las cuales se hace necesario las mediciones de vigilancia. Así mismo en toda actividad organizada debe planearse un adecuado ordenamiento por etapas. La idea es tener presente durante las diferentes etapas del proyecto la instrumentación necesaria; durante la construcción detallar mejor cada sistema, establecer niveles de servicio y niveles de riesgo de cada elemento. Sobre la base de estos niveles de riesgo se deberán establecer los niveles de alarma y canales de comunicación a los responsables necesariamente identificados.

No es posible, sin un conocimiento perfecto de los detalles de una estructura, recomendar un sistema de vigilancia, sin embargo, se espera que en cada caso los especialistas puedan implementar lo necesario para cubrir responsablemente una necesidad. Se debe tener presente como elemento primario:

- a) La sensibilidad de la estructura al asentamiento y a la reacción de presiones externas.
- b) El período de tiempo disponible para las mediciones.
- c) Las características del material de construcción de fundación.
- d) El rango mínimo de aceptación.

Desde el punto de vista práctico se pueden considerar estructuras de dos tipos: rígidas y flexibles; de acuerdo a las magnitudes permisibles de deformación relativa y a la capacidad que tenga ésta de absorber dichas deformaciones.

Ante la presencia de un caso concreto deberemos preguntarnos, que cosa será necesaria controlar, que medir, como medir, en donde podemos esperar que una obra empiece a degradarse, etc. Todo esto estará en función de las características de las estructuras, los materiales empleados, es decir las características especiales que cada obra tiene.

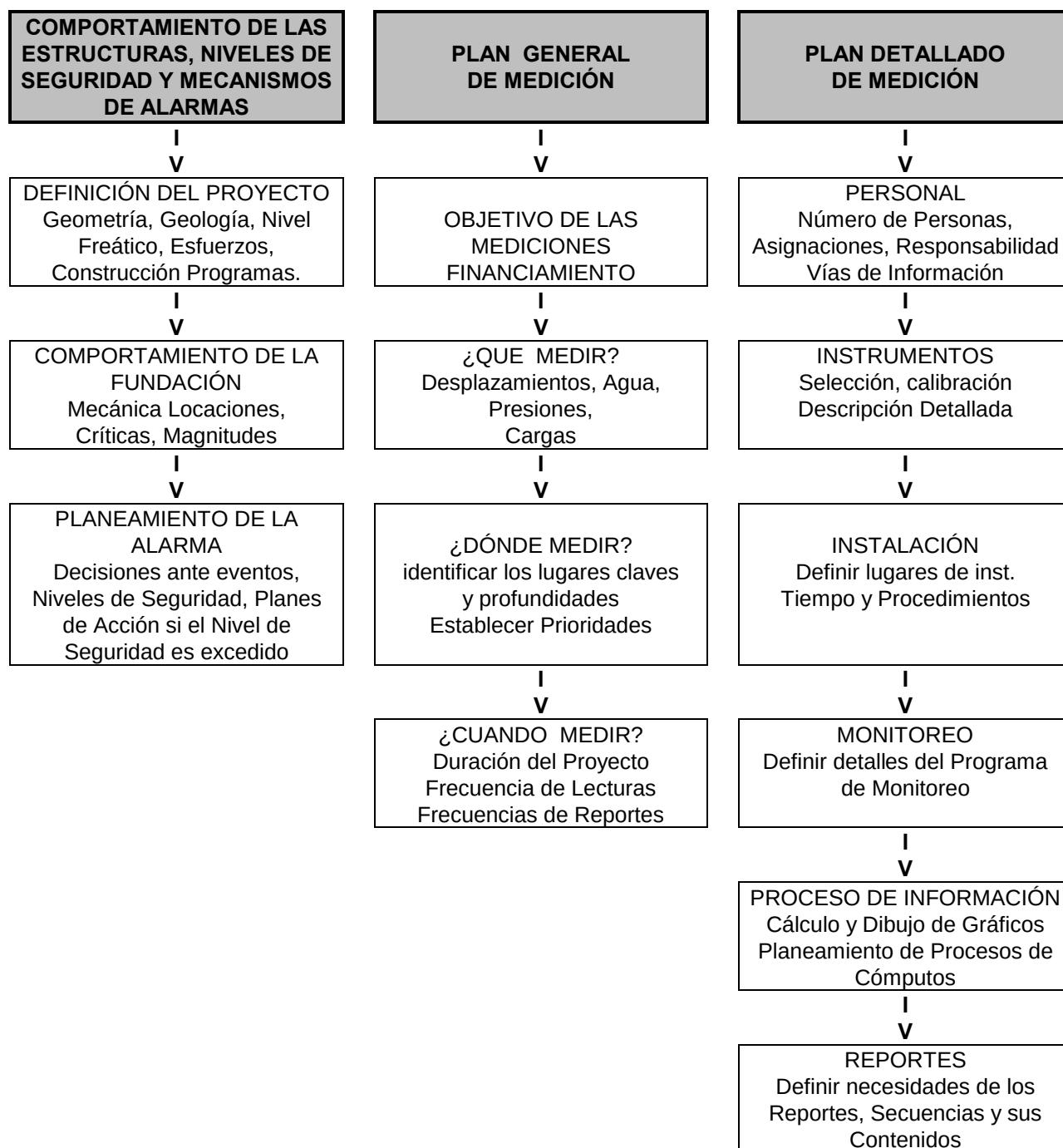
En un edificio, se investigará, la verticalidad y los posibles hundimientos diferenciales de las estructuras, relacionándolo siempre a un punto fijo exterior de referencia, En un estudio más completo se controlará, así mismo, el comportamiento de la fundación.

En diques y presas de embalse, estas mediciones estarán, en orden de importancia, orientadas a detectar cambios del siguiente modo:

para:

Presas de Tierra	Presas de Gravedad (hormigón)	Presas en Arco (hormigón)
1) Deformación de la presa	1) Subpresión.	1) Deformación de la Presa
2) Presión intersticial,	2) Deformación de la presa	2) Deformación de la Roca de fundación.
3) Percolación	3) Deformación de la roca de fundación	3) Subpresión
4) Control de la base	4) Percolación	4) Percolación

En general un Planeamiento de las tareas de Auscultación (Mediciones de Vigilancia) responderá al siguiente Esquema:



C O N T R O L Y V I G I L A N C I A D E O B R A S

A continuación se da una lista de instrumentos que se colocan con la finalidad de obtener deformaciones y distintas medidas de control.

INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

DEFORMACIONES	INTERNAS	- SUELOS	- Aros asentimétricos - Asentímetro de placas - Radio Sonda - Celda de Asentamiento - Inclínómetro
		- HORMIGÓN	- Extensómetro - Extensómetro Base larga - Micrómetro deslizante - Inclínómetro - Clinómetro - Péndulo - Poligonación
		- ROCA	- Extensómetro Múltiple - Micrómetro deslizante - Inclínómetro - Péndulo - Disto Meter
	DE SUPERFICIE	- TOPOGRAFÍA	- Triangulación (y o Trilateración) - Poligonación. - Nivelación Geométrica - Colimación
		Medidor triaxial de Juntas	
PRESIONES (o TENSIONES)	- SUELOS		- Piezómetros - Celdas de Presión Total
	- ROCA y HORMIGÓN DE ESTRUCT.		- Celda de Tensión de anclajes - Tensiómetro para hormigón - Tensiómetro para armadura
CAUDALES DE AGUA		-Medición de Velocidad del Flujo en canaleta Secc. Conocida. -Medición de tiempo de llenado en volumen conocido. -Aforador a resalto hidráulico -Aforador por vertedero.	
- VARIOS	TEMPERATURA	Termómetro / Termocupla	
	- SÍSMICA	- Acelerómetro de máxima y de grandes movimientos. - Sismoscopios y sismógrafos	