

ANEJO Nº 13. INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN

TÍTULO
ESTUDIO INFORMATIVO DE AMPLIACIÓN SUR DE LA LÍNEA 11 DEL METRO DE MADRID

DOCUMENTO
ANEJO Nº 13. INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN

CONTROL DE EDICIONES		
VERSIÓN	FECHA	OBSERVACIONES
1.0	10/09/2025	
2.0	17/10/2025	2ª Edición (Tras Supervisión)

ANEJO Nº 13. INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN

ÍNDICE

1	DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL ANEJO	7
2	EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES	7
3	EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA	8
4	DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES DE CONTROL	9
4.1	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE TÚNEL EJECUTADO CON TBM	9
4.2	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE TÚNEL EJECUTADO CON MTM	9
4.3	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN SUPERFICIE.....	10
4.4	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN PANTALLAS DE COCHERAS Y POZO DE ATAQUE	10
4.5	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN PANTALLAS DE ESTACIÓN	10
4.6	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN SALIDAS DE EMERGENCIA Y POZOS DE VENTILACIÓN	11
4.7	SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN CRUCE CON INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA EXISTENTE.....	11
4.8	INSTRUMENTACIÓN EN FACHADAS DE EDIFICIOS EXISTENTES.....	11
5	CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE UMBRALES DE CONTROL	12
6	FRECUENCIA DE LECTURAS	13
6.1	ESTRUCTURAS ENTRE PANTALLAS	13
6.2	TÚNEL CON TUNELADORA.....	13
6.3	TUNEL EJECUTADO CON MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID	14
7	CONTROL DE UMBRALES. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN	15
8	GESTIÓN DE DATOS Y COMUNICACIONES	15
9	INFORMES DE SEGUIMIENTO	16

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - TRAZADO EN PLANTA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS 8

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 - Tipos de instrumentos y parámetros de control7

TABLA 2 - Definición de los niveles de control8

TABLA 3 - Aplicación de los niveles de control a cada alternativa de trazado9

TABLA 4 - Criterio general de definición de umbrales 12

TABLA 5 - Movimientos adicionales admisibles. Metro de Madrid 12

TABLA 6 - Frecuencia de lecturas, para túnel ejecutado entre pantallas 13

TABLA 7 - Frecuencia de lecturas, para túnel ejecutado con TBM 14

TABLA 8 - Frecuencia de lecturas, para túnel ejecutado con MTM..... 14

TABLA 9 - Protocolo de actuación en caso de superación de umbrales 15

1 DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL ANEJO

En este anejo se definen los objetivos del Plan de auscultación y control, su alcance y la metodología operativa. Su finalidad es la de controlar los movimientos de las estructuras, así como controlar el comportamiento de los terrenos aledaños, durante las distintas fases de construcción; así como asegurar su correcta adecuación a las hipótesis y modelos de cálculo que se adoptarán.

Para cumplir tales objetivos se instalarán los instrumentos y sistemas de auscultación que, en cada momento informen de las reacciones con las que el terreno y estructuras, responden a las distintas fases constructivas que se lleven a cabo.

TABLA 1 - TIPOS DE INSTRUMENTOS Y PARÁMETROS DE CONTROL

APARATO DE MEDICIÓN	PARÁMETRO QUE CONTROLA
Células de presión total	Presiones totales sobre el sostenimiento del túnel por efecto del empuje y reajuste del terreno en el entorno de la excavación.
Extensómetro de cuerda vibrante	Tensiones sobre las armaduras del sostenimiento del túnel. Se obtiene la deformación unitaria y partiendo de ésta, la tensión de trabajo en el punto de medida.
Inclinómetros	Movimientos horizontales. Midiendo la deformación continua en profundidad de la pantalla o terreno.
Extensómetros de varillas	Desplazamientos verticales en profundidad del terreno. Proporcionan desplazamientos relativos entre distintos puntos, en el interior de un sondeo respecto de un punto accesible situado en la superficie. Su objeto es determinar el radio de influencia de las deformaciones en obra. Como la medida es relativa se controlarán también los posibles asentos mediante medidas topográficas en las cabezas de los extensómetros.
Prisma de precisión para auscultación topográfica	Desplazamientos relativos horizontales y verticales del punto donde han sido instalados. Proporcionan asentos en superficie y en cabeza de inclinómetros y/o extensómetros, asentos y desplomes en estructuras y edificios; y a través de los asentos obtenidos en vías de infraestructuras ferroviarias, permiten la obtención de variación del alabeo de las mismas.
Perno de nivelación para auscultación topográfica	Asientos verticales del punto donde han sido instalados. Proporcionan asentos en superficie, estructuras y edificios.
Inclinómetro biaxial	Variación angular sobre el plano de instalación en 2 ejes perpendiculares en el punto de instalación para la obtención de desplomes y distorsiones angulares en edificios.

El diseño de la auscultación se ha realizado en función de la evaluación de los riesgos que sobre los edificios, estructuras e infraestructuras existentes pueden producir las obras a realizar.

2 EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES

No es objeto de este anejo el inventario de edificaciones, estructuras e infraestructuras existentes, [REDACTED]

- [illegible]

3 EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

La evaluación del nivel de control, durante la ejecución de la obra, se basa en la zonificación de los trazados de las diferentes alternativas, basada a su vez en la evaluación cualitativa y cuantitativa de los siguientes factores:

- Profundidad de la excavación
- Presencia de agua en el frente o niveles de agua colgados
- Materiales en el frente de excavación
- Materiales sobre clave
- Presencia y estado de edificaciones próximas

Estos criterios se basan en las “Recomendaciones generales para el diseño del plan de auscultación y control de noviembre de 2004 prescritas por MINTRA para el Plan de Ampliación del Metro de Madrid 2003 – 2007”.

TABLA 2 - DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE CONTROL

NIVEL DE CONTROL	Edificaciones o servicios en el entorno de la excavación (1)	Previsión de movimientos inducidos (2)	Recubrimiento relativo de terciario Hp/D (3)	Presencia de agua (4)
VERDE	Alejados de la zona de influencia de las excavaciones. Exterior de 2i	No supera el nivel ámbar de movimientos adicionales admisibles	$Hp/D > 1,0$	No es previsible la presencia de niveles arenosos con agua en el frente de excavación
AMBAR	Se encuentran en la zona de influencia de las excavaciones, entre (-2i, -i) y (i, 2i)	Se sitúan entre el umbral ámbar y rojo de movimientos adicionales admisibles	$0,5 < Hp/D < 1,0$	Se interceptan algunos niveles arenosos con probable presencia de agua.
ROJO	Se encuentran en la zona de influencia de las excavaciones (sobre las mismas, entre -i, i)	Superan el nivel rojo de movimientos adicionales admisibles	$Hp/D < 0,5$	Se interceptan numerosos niveles arenosos con agua.

Atendiendo a las prospecciones realizadas en la campaña geotécnica, no es descartable el riesgo de interceptar niveles de agua colgados en el frente de excavación

ILUSTRACIÓN 1 - TRAZADO EN PLANTA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS

En cada tramo homogéneo en que podrían dividirse los trazados, el nivel de control será el más restrictivo de los 4 parámetros analizados.

TABLA 3 - APLICACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTROL A CADA ALTERNATIVA DE TRAZADO

1. *Journal of the American Medical Association*, 2000; 283: 2689-2693.

4 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES DE CONTROL

Se ha establecido una serie de secciones de control que son de aplicación a las Alternativas. De este modo se puede tramificar cada una de ellas para permitir la auscultación correspondiente. Cada sección tipo de auscultación ha quedado definida en los Planos del Estudio Informativo.

4.1 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE TÚNEL EJECUTADO CON TBM

En el túnel ejecutado con tuneladora (TBM), se dispondrán miniprismas de convergencia (6) en clave, hastiales y solera, una vez instalados los anillos de dovelas.

De igual manera, se preinstalarán en las dovelas antes de su puesta en obra, seis (6) células de presión total en contacto con la cara exterior de la dovela contra el terreno, seis parejas (12) extensómetros de cuerda vibrante, longitudinal y transversalmente (perpendicular al radio) en la armadura de la dovela.

Las lecturas de los prismas se realizará mediante estación total para la determinación de convergencias.

Tanto células de presión como extensómetros se cablearán y centralizarán en arqueta o caja para su automatización.

4.2 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN DE TÚNEL EJECUTADO CON MTM

En el túnel ejecutado con el Método Tradicional de Madrid (MTM), en avance se dispondrán tres (3) células de presión total en contacto contra el terreno por detrás del sostenimiento, así como tres parejas (6) extensómetros de cuerda vibrante, longitudinal y transversalmente (perpendicular al radio) en la armadura del sostenimiento, dispuestos en clave, riñones y hastiales.

Tanto células de presión como extensómetros se cablearán y centralizarán en arqueta o caja para su automatización.

Posteriormente en destroza se completarán con tres (3) células de presión total en contacto contra el terreno por detrás del sostenimiento, así como tres parejas (6) extensómetros de cuerda vibrante, longitudinal y transversalmente (perpendicular al radio) en la armadura del sostenimiento, dispuestos en hastiales y solera.

Del mismo modo se cablearán y centralizarán en arqueta o caja para su automatización.

Además, en avance se dispondrán cinco (5) miniprismas de convergencia en clave, riñones y hastiales, sobre el sostenimiento del túnel una vez ejecutado, que posteriormente en destroza se completarán con tres (3) prismas adicionales en hastiales y solera

De igual manera, se instalarán células de presión total (6) parejas de extensómetros de cuerda vibrante, longitudinales y transversalmente (perpendicular al radio) (12) en armadura.

Las lecturas de los prismas se realizará mediante estación total para la determinación de convergencias.

4.3 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN SUPERFICIE

Se definen hasta dos tipos de sección en superficie, las cuales se describen a continuación:

- Primeramente, la sección de Superficie Tipo I, constará de un (1) extensómetro de tres (3) varillas instaladas sobre el eje de trazado, con longitudes variables de $h-2$, $h/2$ y $h/4$, siendo h la profundidad desde superficie a la clave del túnel; adicionalmente a una distancia \emptyset a lado y lado del eje de trazado se instalaran dos (2) tuberías inclinométricas hasta una profundidad de 3 m por debajo de la solera del túnel; mientras que en superficie se instalarán al menos siete (7) prismas de control topográfico, en una distribución simétrica respecto al eje a las siguientes distancias \emptyset , $\emptyset/2$, \emptyset y $\emptyset + h$, de tal manera que los prismas más externos queden fuera de la teórica cubeta de asientos.

Las cabezas del extensómetro y de los inclinómetros se protegerán con arquetas, que a su vez sean aptas para la automatización de las lecturas.

Los inclinómetros situados inmediatamente por delante y por detrás del frente de excavación se automatizarán mediante cadenas inclinométricas IPI, sensorizadas cada 1 m, que una vez estabilizadas las lecturas tras el paso del frente, podrán ser recolocados en secciones siguientes, quedando la tubería inclinométrica disponible para lecturas puntuales posteriores de forma manual.



Con el mismo objeto, las lecturas de los prismas de control topográfico, podrá realizarse con estaciones totales robotizadas (ETR), hasta que se estabilicen las lecturas tras el

paso del frente, y posteriormente leyéndose puntualmente de forma manual.

- La sección de Superficie Tipo II, será similar a la anterior aunque solamente constará de los prismas de superficie.

4.4 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN PANTALLAS DE COCHERAS Y POZO DE ATAQUE

Los tramos apantallados al inicio de cada alternativa de trazado correspondientes al Ramal de Cocheras, se instrumentarán con secciones de inclinómetros en pantalla. Esta instrumentación será extensible al pozo de introducción de las Alternativas 1 y 3.

Se instalarán dos (2) tuberías inclinométricas por sección, instaladas en el interior de las armaduras de las pantallas, desde la cota de clava hasta la superficie, donde las bocas se protegerán con arquetas.

La lectura de los inclinómetros se realizará de forma manual.

4.5 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN PANTALLAS DE ESTACIÓN

Los tramos apantallados correspondientes a las Estaciones de nueva ejecución de cada alternativa de trazado, se instrumentarán con secciones de inclinómetros en pantalla y prismas de control o pernos de nivelación para control de asientos.

Se instalarán dos (2) tuberías inclinométricas por sección, instaladas en el interior de las armaduras de las pantallas, desde la cota de clava hasta la superficie, donde las bocas se protegerán con arquetas.

Además, en superficie se instalarán cuatro (4) prismas de control o pernos de nivelación para control de asientos, sobre las bocas de los inclinómetros y a lado y lado del pozo de la estación a una distancia $B/2$, siendo B el ancho de la sección.

Tanto los inclinómetros como los prismas o pernos, se leerán de forma manual.

4.6 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN SALIDAS DE EMERGENCIA Y POZOS DE VENTILACIÓN

Las salidas de emergencia, el método constructivo de las cuales será el de un pozo descendente con sostenimiento mediante anillos, se instrumentará con prismas para control de convergencias dispuestos cada tres (3) o cuatro (4) anillos.

En cada anillo se instalarán cuatro (4) prismas para control de convergencias.

Además, en superficie se instalarán cuatro (4) prismas de control o pernos de nivelación para control de asientos, sobre las bocas de los inclinómetros y a lado y lado del pozo de la estación a una distancia $B/2$, siendo B el ancho de la sección.

Los prismas o pernos se leerán de forma manual.

Mientras que en los pozos de ventilación, el método constructivo de los cuales será el de un pozo entre pantallas, se instrumentará con dos (2) tunerías inclinométricas por sección, instaladas en el interior de las armaduras de las pantallas por sección, desde la cota de clava hasta la superficie, donde las bocas se protegerán con arquetas.

Además, en superficie se instalarán cuatro (4) prismas de control o pernos de nivelación para control de asientos, sobre las bocas de los inclinómetros y a lado y lado del pozo de la estación a una distancia $B/2$, siendo B el ancho de la sección.

Los inclinómetros y los prismas o pernos se leerán de forma manual.

4.7 SECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN CRUCE CON INFRAESTRUCTURA FERROVIARIA EXISTENTE

Cuando las diferentes alternativas de trazado crucen por debajo de una infraestructura ferroviaria existente, se instrumentarán las vías de dicha infraestructura mediante la colocación de dos (2) prisma por vía en ocho (8) secciones separadas entre sí tres (3) metros, distribuidas de forma simétrica al eje del cruce.

Con el objeto de minimizar el acceso a la infraestructura ferroviaria existente, las lecturas de los prismas de control topográfico, podrá realizarse con estaciones totales robotizadas (ETR), hasta que se establezcan las lecturas tras el paso del frente.

Mediante la lectura de estos prismas se determinará la variación en el alabeo de la vía del tramo auscultado.

4.8 INSTRUMENTACIÓN EN FACHADAS DE EDIFICIOS EXISTENTES

Cuando la cubeta de asientos del túnel de línea interfiera con edificaciones existentes, se dispondrán en sus fachadas la siguiente instrumentación.

Tres (3) prismas de control para movimientos horizontales y verticales, dispuestos a diferentes alturas y no alineados, para determinar el vuelco del plano que configuran, así como los asientos.

Dos (2) pernos de nivelación próximos al contacto con la superficie, dispuestos sobre elementos estructurales del edificio, para determinar asientos, asientos diferenciales y distorsión angular.

Un (1) inclinómetro biaxial automatizado, para determinar de forma preventiva y en continuo el vuelco de la fachada así como la distorsión angular, medidas ambas que serán contrastadas por las lecturas manuales de los prismas de control y pernos de nivelación.

5 CRITERIOS DE DEFINICIÓN DE UMBRALES DE CONTROL

El análisis de la interacción tensodeformacional del túnel de línea, ejecutado mediante tuneladora (TBM) o Método Tradicional de Madrid (MTM), y su interacción con el terreno, así como el análisis estructural de las obras de pozos apantallados, salidas de emergencia o pozos de ventilación, y por supuesto con edificaciones e infraestructuras existentes, es objeto del anejo de Túneles.

De dicho análisis se establecen los umbrales que las diferentes magnitudes observadas deben respetar.

Para establecer los umbrales para cada magnitud, se proponen criterios diferentes, en función de la tipología de los valores de referencia:

- En función de un valor máximo admisible:
Si los umbrales se fijan en función de un valor máximo admisible, se propone que en el umbral verde se sitúen los resultados por debajo del 50% de este valor máximo, equivaliendo a un coeficiente de seguridad superior a 2
Si los umbrales se fijan en función de un valor máximo admisible, se propone que el umbral ámbar se sitúen los resultados entre el 50% y el 75% de este valor máximo, equivaliendo a un coeficiente de seguridad de entre 1,3 a 2.
Si los umbrales se fijan en función de un valor máximo admisible, se propone que el umbral rojo se sitúen los resultados por encima del 75% de este valor máximo, equivaliendo a un coeficiente de seguridad inferior a 1,3.
- En función de un valor esperado:
Si los umbrales se fijan en función de un valor esperado, se prescinde del concepto de coeficiente de seguridad utilizándose en su lugar estimaciones estadísticas, con el objeto de estimar la probabilidad de que aparezca un determinado valor.
Por tanto se propone lo siguiente:
En el umbral verde se sitúen los resultados por debajo del 75% de este valor esperado.
En el umbral ámbar se sitúen los resultados entre el 75% y el 125% de este valor esperado.
En el umbral rojo se sitúen los resultados por encima del 125% de este valor esperado.

TABLA 4 - CRITERIO GENERAL DE DEFINICIÓN DE UMBRALES

UMBRAL DE CONTROL	En función de un valor x máximo admisible		En función de un valor x esperado o calculado
VERDE	$x \leq 50\%$	$FS \geq 2$	$x \leq 75\%$
ÁMBAR	$50\% > x \geq 75\%$	$1,3 \leq FS < 2$	$75\% > x \geq 125\%$
ROJO	$x > 75\%$	$FS < 1,3$	$x > 125\%$

Dada la dificultad de caracterización geomecánica de suelos y rocas, su heterogeneidad y la mayor o menor simplificación de los diferentes métodos de análisis, este valores se consideran del lado de la seguridad.

Así pues este criterio será válido para el control de los siguientes movimientos y/o desplazamientos en función de las secciones de cálculo utilizadas:

- Tensiones soportadas por el sostenimiento del túnel.
- Convergencias de las secciones de túnel.
- Asientos inducidos en el terreno, en profundidad y superficie.
- Deformaciones horizontales del terreno, en profundidad y superficie.
- Asientos y deformaciones horizontales en edificios y estructuras existentes.
- Deformaciones en infraestructuras ferroviarias.

Así pues, de acuerdo con los umbrales establecidos para límites de movimientos admisibles en Metro de Madrid, se dispone la siguiente tabla:

TABLA 5 - MOVIMIENTOS ADICIONALES ADMISIBLES. METRO DE MADRID

UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm).			DISTORSIÓN ANGULAR			DEFORMACIÓN HORIZONTAL UNITARIA (%)		
	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO
-Zonas sin edificaciones	< 50	50 a 100	> 100	<1/100	1/100 a 1/50	> 1/50	< 1,5	1,5 a 2,0	> 2,0
-Edificios cimentados profundos o con losa, en buen estado. -Conducciones no de gas	< 20	20 a 30	> 30	< 1/1000	1/1000 a 1/500	> 1/500	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20
-Estructura subterránea o	< 15	15 a 25	> 25	<1/2000	1/2000 a 1/1000	> 1/1000	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20

UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm).			DISTORSIÓN ANGULAR			DEFORMACIÓN HORIZONTAL UNITARIA (%)		
	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO
túneles existentes									
-Edificios cimentados superficialmente sin daños aparentes	< 10	10 a 15	> 15	< 1/2000	1/2000 a 1/1000	> 1/1000	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20
-Edificios cimentados superficialmente con daños -Edificios monumentales - Edificios con más de 10 alturas -Tuberías de gas	< 5	5 a 10	> 10	< 1/3000	1/3000 a 1/2000	> 1/2000	< 0,05	0,05 a 0,10	> 0,10

6 FRECUENCIA DE LECTURAS

6.1 ESTRUCTURAS ENTRE PANTALLAS

La toma de lecturas comenzará cuando se inicie la ejecución de las pantallas y finalizará dos semanas después de que se realice el último vaciado de tierras.

Se establecen de modo general los siguientes criterios de lectura de los dispositivos de auscultación según la distancia a la pantalla en ejecución y el nivel de riesgo en el túnel excavado entre pantallas:

TABLA 6 - FRECUENCIA DE LECTURAS, PARA TÚNEL EJECUTADO ENTRE PANTALLAS

ZONA	DISTANCIA DESDE EL FRENTE DEL TÚNEL (m)	NIVEL DE RIESGO		
		VERDE	ÁMBAR	ROJO
	Durante ejecución	2 lecturas semanales, excepto piezómetros quincenal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria, excepto piezómetros 3 lecturas semanal
1	Entre (- 100, -50) y (+25, +50)	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal
2	Entre (- 50, - 25) y (+10, +25)	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros 2 lecturas semanales
3	Entre (- 25 , +10)	2 lecturas semanales, excepto piezómetros quincenal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria, excepto piezómetros 3 lecturas semanal

6.2 TÚNEL CON TUNELADORA

Inicialmente, y sin perjuicio de que puedan introducirse modificaciones a la vista de la evolución de las magnitudes registrada o los parámetros que de ellas puedan deducirse, o para zonas singulares, se establecen de modo general los siguientes criterios de lectura de los dispositivos de auscultación según la distancia al frente y el nivel de riesgo en el túnel excavado con tuneladora:

TABLA 7 - FRECUENCIA DE LECTURAS, PARA TÚNEL EJECUTADO CON TBM

ZONA	DISTANCIA DESDE EL FRENTE DEL TÚNEL (m)	NIVEL DE RIESGO		
		VERDE	ÁMBAR	ROJO
1	Entre (- 300, -200) y (+100, +200)	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros 2 lecturas semanales.
2	Entre (- 200,- 100) y (+50, +100)	2 lecturas semanales, excepto piezómetros quincenal	3 lecturas semanales, excepto Piezómetros semanal	Diaria
3	Entre (- 100 , +50)	3 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria, excepto piezómetros 2 lecturas semanales.	Diaria

En la instrumentación general, una (1) lectura cero que se tomará como referencia para las siguientes tan pronto como se complete la instalación necesaria para la realización de la lectura.

Para los dispositivos situados en una zona terminada, se realizará una lectura quincenal durante el primer mes una vez completada la sección situada a más de 50 m de distancia, y una lectura mensual en los dos (2) meses siguientes si se comprueba la estabilidad de los registros.

Se procurará, en la medida de lo posible, ajustar el momento de realización de las lecturas, de acuerdo con las frecuencias establecidas, con el momento en que se alcanzan puntos singulares del proceso constructivo (por ejemplo, cuando el frente se sitúe en la vertical de la sección de control, en excavación al amparo de muros pantalla cada 2 m de rebaje, en tratamientos del terreno en función de las zonas de influencia de las sesiones de inyección).

En cualquier caso, la frecuencia de lecturas podrá ser modificada en función de los resultados obtenidos, de la evolución de los registros o de la superación de los umbrales de control que se establecen en el siguiente apartado.

6.3 TUNEL EJECUTADO CON MÉTODO TRADICIONAL DE MADRID

Comenzarán a realizarse medidas de los sensores instalados cuando el frente de excavación se encuentre a una distancia de -50 metros, tomándose una primera lectura distinta de cero, y se finalizará la toma de lecturas cuando el frente se aleje +25 metros. A medida que el frente se acerque, se incrementará la frecuencia, alcanzándose la mayor intensidad cuando la sección de control esté situada justo en el frente de excavación.

TABLA 8 - FRECUENCIA DE LECTURAS, PARA TÚNEL EJECUTADO CON MTM

ZONA	DISTANCIA DESDE EL FRENTE DEL TÚNEL (m)	NIVEL DE RIESGO		
		VERDE	ÁMBAR	ROJO
1	Entre (- 50, -25) y (+10, +25)	lectura semanal	2 lecturas semanales	3 lecturas semanales
2	Entre (- 25,- 10) y (+50, +100)	2 lecturas semanales	2 lecturas semanales	Diaria
3	Entre (- 10) y (0 , +10)	2 lecturas semanales	3 lecturas semanales	Diaria

Una vez completada la zona se realizará una lectura quincenal durante el primer mes y una lectura mensual de vigilancia hasta su completa estabilización (esto es, cuatro medidas consecutivas con una variación inferior a 2 mm o una velocidad inferior a 0.13 mm/día)

7 CONTROL DE UMBRALES. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

Los procedimientos a poner en marcha, en correspondencia con los niveles de alerta o niveles de control establecidos, serán los siguientes:

TABLA 9 - PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE SUPERACIÓN DE UMBRALES

PROTOCOLO DE ACTUACIÓN EN CASO DE SUPERACIÓN DE UMBRALES		
VERDE	ÁMBAR	ROJO
- Continuar con la frecuencia establecida en el Plan de Auscultación.	- Incremento de la frecuencia de lecturas y evaluación de la situación a partir de la magnitud o velocidad de evolución del parámetro registrado - Inspección visual somera - Revisión del proceso constructivo - Introducción de medidas correctoras o de refuerzo	- Análisis de la situación - Colocación de Instrumentación complementaria si es preciso - Revisión del proceso constructivo - Introducción de medidas correctoras o de refuerzo

Estas acciones deben ser desarrolladas e incluidas en el Proyecto de Instrumentación y Auscultación del Contratista.

8 GESTIÓN DE DATOS Y COMUNICACIONES

Ya sean los sistemas de adquisición de datos manuales o automáticos, dependiendo de la tipología instrumental, deberá disponerse en obra un sistema de gestión de datos y comunicaciones, desarrollado previamente en el Plan de Auscultación del Contratista.

De forma general, estos sistemas de comunicación cuentan con un módulo de volcado o adquisición de datos tomados de forma manual, o desde dataloggers en sistemas de adquisición automáticos.

Estos módulos de volcado o adquisición de datos suelen estar conectados de forma remota a un ordenador central que de forma bidireccional pueda reprogramar los dataloggers en sistemas de adquisición automática, según los requerimientos de la obra.

Los datos deberán poder visualizarse de forma gráfica e inteligible, para la correcta interpretación de los responsables del seguimiento de los datos de auscultación. Las aplicaciones vía web son las más empleadas para este cometido, por su versatilidad de acceso.

Además, este sistema de gestión de datos deberá contar con un módulo de comunicaciones, que permita el envío, a los responsables del seguimiento de los datos de auscultación, de la información precisa y necesaria, relativa a la superación de umbrales de los diferentes dispositivos que formen parte del sistema de auscultación de la obra.

9 INFORMES DE SEGUIMIENTO

Una vez que se completa la instalación y se realiza la lectura cero de los dispositivos, pueden comenzar las campañas de seguimiento según la frecuencia definida en el Plan de Auscultación de las obras a desarrollar por el contratista.

En este momento, resulta necesario remitir un informe inicial donde se identifique tanto la instrumentación instalada como las lecturas iniciales y características de los distintos instrumentos instalados, siendo necesario incluir, entre otros, el plano de planta de la instrumentación instalada.

A partir de la información obtenida por los distintos instrumentos de auscultación y una vez haya sido verificada y procesada, se deben emitir informes cuya periodicidad debe establecerse en función del avance de la obra.

Estos informes deben recoger los resultados obtenidos por la instrumentación, representando en gráficos la evolución temporal de las medidas de los equipos referidas a las lecturas origen, y comparados con los valores esperados y/o umbrales de control establecidos. Estos datos, convenientemente presentados, sirven para detectar rápidamente situaciones que requieran una acción inmediata.

También es necesario definir en el Plan de Auscultación del Contratista, el contenido de los informes de emisión inmediata cuando un instrumento rebase alguno de los umbrales establecidos, éste debe ser remitido a la correspondiente Dirección de Obra, y a la vez debe ponerse en marcha el correspondiente procedimiento de actuación en caso de superación de umbrales.

Concluidas las obras se emitirá un informe final, que recoja los aspectos más relevantes de informe inicial, los informes periódicos y los informes puntuales de superación de umbrales.