



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

**GEOHIDROLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN
GEOTÉCNICA APLICADA AL DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA L-12 DEL
TÚNEL EMISOR ORIENTE, PARA ABATIR LAS
PRESIONES Y EL FLUJO SUBTERRÁNEO EN UN
ACUÍFERO DE ALTA PRESIÓN**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

P R E S E N T A

ING. SERAFÍN GONZÁLEZ RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESINA

DR. RICARDO ENRIQUE ORTÍZ HERMOSILLO



NAUCALPAN DE JUÁREZ, NOVIEMBRE DE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

(†) A la memoria de mis padres, que siempre me impulsaron y apoyaron en vida para alcanzar mis metas y objetivos.

A Eidi, por caminar a mi lado, subir la cúspide juntos y respaldarme en todo momento.

Por ser el regalo el más hermoso que la vida me dio.

Esta obra es tu creación y también te pertenece.

A mi pequeña Natalia por ser mi motorcito, mi fuente de inspiración y motivación.

Por tus grandes palabras de aliento, sinceridad y amor incondicional.

A mis hermanos (as) por tenderme la mano, por el apoyo incondicional y por estar siempre en las buenas y en las malas.

Al Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo, por el tiempo dedicado, la coordinación técnica y contribuciones en materia de ingeniería, para lograr las metas planteadas. Gracias

Al Dr. José María Chávez Aguirre, por sus grandes consejos y enseñanzas recibidas.

A la Familia Puente López y descendientes, los cuales también son parte de mi familia, agradezco su apoyo y confianza.

A todos mis amigos y colegas que me han ayudado (Elena Burns, Santiago Maldonado, Víctor Lojero, Leonardo Daniel, David Aguilar, José Alfredo, Carlos Palacios y Verónica Moreno), por sus opiniones, consejos constructivos, orientaciones y apoyos. Gracias

A Yolanda Ceniceros, por creer siempre en mí y apoyarme desde siempre.

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), por el respaldo técnico proporcionado durante muchos años y las lecciones aprendidas a través del tiempo en diversos proyectos importantes y multidisciplinarios.

Al Ing. Víctor Hugo Chavero, por el apoyo y respaldo recibido por muchos años.

(†) A la memoria de los Ings. Federico Mooser, Enrique Tamez González y Dr. Daniel Reséndiz, por el apoyo brindado en su oportunidad.

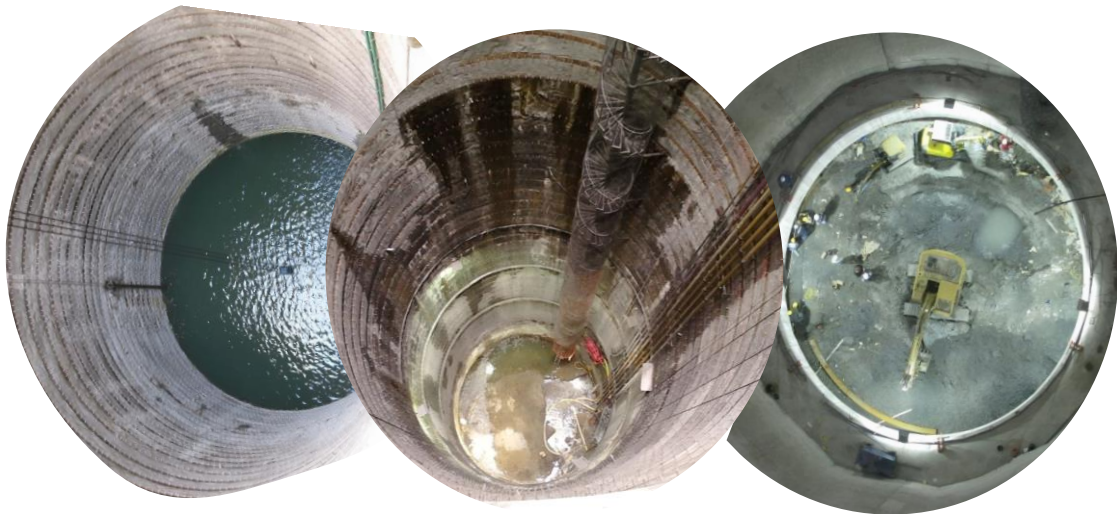
A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de seguir adelante, proporcionarme los conocimientos y herramientas necesarias.

Resumen

Uno de los problemas que se tienen en diversas obras subterráneas, es la gran cantidad de agua que proviene de acuíferos de alta producción y/o estratos permeables, así como elevadas presiones generadas por el agua en el subsuelo, lo que implica tener un conocimiento técnico integral multidisciplinario ingenieril de las condiciones técnicas del sitio (geología, geofísica, geohidrología, geotecnia, hidráulica, construcción, entre otros), para contar con una radiografía integral de la zona y entender de mejor manera el contexto y con ello implementar acciones y políticas adecuadas para el control y manejo del flujo subterráneo.

Por lo anterior, se busca contar con factores de seguridad confiables, que permitan la construcción adecuada de cualquier obra (túneles, lumbreras, galerías, estacionamientos, sistema de transporte colectivo metro, captaciones, minería, edificaciones, plantas de bombeo, entre otras), donde se tenga acuíferos o agua subterránea, a fin de evitar sobrecostos, retrasos en su ejecución, posibles daños o efectos generados a terceros por la extracción intensiva de agua, problemática social, la pérdida parcial o total de la obra, conservar la integridad y seguridad del personal que participa en los diversos trabajos así como posibles inundaciones al interior de las excavaciones, para que el personal pueda evacuar o salir de manera oportuna o a tiempo de los sitios de las obras en proceso ante cualquier eventualidad, entre otros.

Con base en los párrafos anteriores, el presente trabajo, aborda y trata un caso particular aplicado a la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente (TEO), en el cual fue necesario extraer caudales altos de más de 600 litros por segundo para abatir de manera temporal el acuífero y las presiones de poro, con el propósito de poder construirla, además se emiten mejoras a los procesos de bombeo e instrumentación implementados.



Lumbrera L-12

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS	1
PROBLEMÁTICA	1
IMPORTANCIA DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE (TEO) Y SUS COMPONENTES	4
UBICACIÓN DE LA LUMBRERA L-12	6
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y PROBLEMÁTICA DEBIDA AL AGUA SUBTERRÁNEA	7
CAPÍTULO 1.- MARCO FISICO, INGENIERÍA BÁSICA Y PROYECTO EJECUTIVO.	8
1.1 TOPOGRAFÍA	9
1.2 GEOFÍSICA Y GEOLOGÍA	12
1.3 GEOTECNIA	16
1.3.1 MODELO GEOTÉCNICO.....	16
1.3.2 CONDICIONES PIEZOMÉTRICAS Y PRESIÓN DE PORO.....	22
1.3.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO	23
1.4 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA	25
1.4.1 INSTRUMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA.....	26
1.4.1.1 POZO DE OBSERVACIÓN (PO) SOMERO	26
1.4.1.2 ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA.....	28
1.4.1.3 EXTENSÓMETRO DE BARRAS (EXT).....	31
1.4.2 INSTRUMENTACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO	34
1.4.2.1 INCLINÓMETROS (IN)	34
1.4.2.2 REFERENCIAS SUPERFICIALES	37
1.4.2.3 PIEZÓMETROS ABIERTOS COMPLEMENTARIOS	37
1.4.2.4 POZO DE OBSERVACIÓN PROFUNDO.....	39

1.4.2.5 PIEZÓMETRO ELÉCTRICO DE CUERDA VIBRANTE	40
1.4.3 INSTRUMENTACIÓN TOTAL INSTALADA	42
1.5 GEOHIDROLOGÍA	42
1.5.1 MARCO GEOHIDROLÓGICO.....	43
1.5.2 CENSOS DE APROVECHAMIENTOS.....	43
1.5.3 PIEZOMETRÍA-PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO.....	45
1.5.4 PIEZOMETRÍA-ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO Y DIRECCIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO.....	46
1.5.5 PIEZOMETRÍA-EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO	48
1.5.6 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO	49
1.5.7 DISEÑO DE POZOS DE ABATIMIENTO	50
1.5.8 MÓDULO PARA PRUEBA DE BOMBEO.....	52
CAPÍTULO 2.- REVISIÓN Y ANÁLISIS EMPLEADO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA L-12, PARA ABATIR EL FLUJO Y LAS PRESIONES EN EL ACUÍFERO DE ALTA PRESIÓN	65
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LUMBRERA Y SUS INTERCONEXIONES CON EL TÚNEL	65
2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO GENERAL DE LA LUMBRERA.....	68
2.3 SISTEMA DE ABATIMIENTO PARA ABATIR LA PRESIÓN DE PORO MEDIANTE POZOS DE BOMBEO	79
2.3.1 SUBSISTEMA 1 (POZOS PERIMETRALES, ETAPA 1).....	80
2.3.2 SUBSISTEMA 2 (POZOS ADICIONALES, ETAPA 2).	81
2.3.3 OPERACIÓN CONJUNTA, SUBSISTEMAS 1 Y 2.....	83
2.4 MODELO DE FLUJO PARA DEFINIR SISTEMA DE BOMBEO COMPLEMENTARIO	83
2.5 SISTEMA DE ABATIMIENTO COMPLEMENTARIO	84
2.5.1 SUBSISTEMA 3 (CON LA INCORPORACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS 1 Y 2).....	85
2.5.2 SUBSISTEMA 4 Y BOMBEO INTEGRAL.....	86
2.6 CAUDALES DE EXTRACCIÓN DE LOS SISTEMA DE ABATIMIENTO Y BOMBEO DE ACHIQUE.....	87
2.7 EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS DE BOMBEO	88
2.8 MONITOREO DE LA INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA	90

2.9 MONITOREO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA.....	90
2.9.1 POZOS DE OBSERVACIÓN.....	90
2.9.2 PIEZÓMETROS Y ABATIMIENTO DE LAS PRESIONES DE PORO	91
2.9.3 EXTENSÓMETROS DE BARRA.....	95
2.9.4 INCLINÓMETROS	95
CAPÍTULO 3.- PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LOS SISTEMAS DE ABATIMIENTO DE LA PRESIÓN DE PORO Y EN EL DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA	96
3.1. PROYECTO PILOTO	97
3.2 ESTABLECIMIENTO DE POLÍTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO	100
3.3 USO DE TECNOLOGÍA PARA OBTENER MEDICIONES DE DIFERENTES VARIABLES TÉCNICAS.....	101
3.4 AJUSTES EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y REPLANTEAMIENTO EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO	103
3.4.1 ADECUACIÓN EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA	103
3.4.2 REPLANTEAMIENTO EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN	104
3.5 DISPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PRODUCTO DEL BOMBEO	108
3.5.1 RECARGA DE ACUÍFEROS	108
3.5.2 ALIMENTACIÓN A LA RED HIDRÁULICA	110
3.5.3 PARO PROVISIONAL DE POZOS DE ABASTECIMIENTO.....	110
3.6 CONTROLES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA DE ABATIMIENTO MEDIANTE POZOS	110
3.7 CONTROLES DE CALIDAD PARA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA-GEOHIDROLÓGICA.....	114
3.7.1 POZOS DE OBSERVACIÓN.....	114
3.7.2 PIEZÓMETROS ABIERTOS.....	115
3.7.3 PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS	116
3.7.4 INCLINÓMETROS	118
3.7.5 EXTENSÓMETROS DE BARRA.....	119
3.7.6 FICHAS DE INSTALACIÓN.....	120

3.8 EFECTOS A POZOS DE ABASTECIMIENTO ALEDAÑOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA.....	121
3.9 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN INSTRUMENTOS ESPECÍFICOS PARA OBTENER PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	121
3.10 REUSO DE POZOS DE ABATIMIENTO Y DE INSTRUMENTOS	122
3.11 NORMATIVIDAD MEXICANA EN CUANTO A POZOS DE ABATIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN	123
3.11.1 NORMATIVIDAD PARA POZOS DE ABATIMIENTO.....	123
3.11.2 NORMATIVIDAD PARA POZOS DE EL SELLADO DE POZOS	125
3.11.3 NORMATIVIDAD PARA INSTRUMENTOS	126
CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
4.1 CONCLUSIONES	127
4.2 RECOMENDACIONES.....	129
Lista de referencias.....	133
Apéndice.....	135
Vita.....	135

Lista de tablas

<i>Tabla 1.- localización topográfica de los instrumentos instalados.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2.- Elevación topográfica para los inclinómetros.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3.- Estratigrafía de la lumbrera L-12.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4.- Propiedades del subsuelo asociado a la lumbrera L-12.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5.- Resultados de las pruebas de permeabilidad.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6.- Lecturas de la estación piezométrica con 5 bulbos (CFE).....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 7.- Características técnicas del piezómetro eléctrico</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 8.- Características de los pozos de bombeo iniciales.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 9.- Resultados del bombeo de la prueba en el pozo PB-3.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 10.-Litología del pozo PB-3 cercano a la lumbrera L-12.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 11.- Caudales de extracción del sistema de bombeo integral.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 12.- Formaciones geológicas frente al agua (Vallejo C, 2012)</i>	<i>108</i>

Lista de figuras

<i>Figura 1.- Efectos del hundimiento en un pozo de abastecimiento de agua, en el cual sobresale el ademe</i>	02
<i>Figura 2.-Sistema de drenaje principal del Valle de México (SEDEMA, 2018)</i>	03
<i>Figura 3.- Localización del Túnel Emisor Oriente (TEO)</i>	05
<i>Figura 4.- Localización de la lumbrera L-12</i>	06
<i>Figura 5.- Entrada de agua subterránea a la obra</i>	07
<i>Figura 6.- Ejemplo de equipo mecanizado empleado y revestimiento para TEO</i>	09
<i>Figura 7.- Predio de ocupación para la lumbrera L-12</i>	10
<i>Figura 8.- Geología regional</i>	13
<i>Figura 9.- Perfil geológico asociado a la lumbrera L-12</i>	15
<i>Figura 10.- Localización de sondeos geotécnicos</i>	16
<i>Figura 11.- Perfil geotécnico a detalle de la lumbrera L-12 (2010) y su entorno</i>	21
<i>Figura 12.- Presiones de poro e hidrostática de la lumbrera L-12</i>	22
<i>Figura 13.- Ubicación de la instrumentación de la Ingeniería Básica en la lumbrera L-12</i>	26
<i>Figura 14.- Diseño de pozo de observación (POL-L12-01) para la lumbrera L-12</i>	27
<i>Figura 15.- Diseño de pozo de observación para la lumbrera L-12 y detalles constructivos</i>	28
<i>Figura 16.- Diseño de estación piezométrica con 5 bulbos para la lumbrera L-12</i>	29
<i>Figura 17.- Diseño de estación piezométrica con 5 bulbos para la lumbrera L-12 y detalles de construcción</i>	30
<i>Figura 18.- Profundidades de los piezómetros de la estación piezométrica con 5 bulbos</i>	30
<i>Figura 19.- Diseño de extensómetro de barras con 3 anclas para la lumbrera L-12</i>	32
<i>Figura 20.- Diseño de extensómetro de barras con 3 anclas para la lumbrera L-12 y detalles constructivos</i>	33
<i>Figura 21.- Sembrado de instrumentación para la lumbrera L-12 acorde al proyecto ejecutivo</i>	34
<i>Figura 22.- Diseño de inclinómetro para la lumbrera L-12</i>	35
<i>Figura 23.- Diseño de inclinómetro para la lumbrera L-12) y detalles de su construcción</i>	36
<i>Figura 24.- Colocación de tubería para inclinómetro en muro Milán y brocal</i>	36
<i>Figura 25.- Diseño de referencias topográficas para la lumbrera L-12</i>	37

<i>Figura 26.- Diseño de estación piezométrica complementaria con dos bulbos.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 27.- Diseño de piezómetro abierto complementario de proyecto ejecutivo y detalles de construcción.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 28.- Piezómetro eléctrico de cuerda vibrante y detalles de construcción.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 29.- Sembrado de instrumentación utilizado para la lumbrera L-12.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 30.- Censo de pozos (realizado en 2008) en la cercanía de la lumbrera L-12.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 31.-Configuración de la profundidad al nivel estático 2008.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 32.- Configuración de la elevación del nivel estático y dirección de flujo subterráneo 2008.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 33.- Configuración de la evolución del nivel estático de 10 años, vista en planta.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 34.- Configuración de la evolución del nivel estático(años) vista 3D.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 35.- Distribución de agua en el subsuelo, enero 2009.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 36.- Ubicación de 6 pozos iniciales de abatimiento de la presión de poro, enero 2010.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 37.- Diseño del pozo de abatimiento perimetral PB-3.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 38.- Módulo de prueba de bombeo inicial para la lumbrera L-12.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 39.- Comportamiento del pozo PB-3, primera prueba.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 40.- Comportamiento del pozo PB-3, segunda prueba.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 41.- Comportamiento del pozo PB-3, tercera prueba.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 42.- Comportamiento del pozo PB-3, cuarta prueba.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 43.- Comportamiento del pozo PB-3, quinta prueba.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 44.- Comportamiento del pozo PB-3, sexta prueba.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 45.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, primera prueba.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 46.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, segunda prueba.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 47.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, tercera prueba.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 48.-Comportamiento del pozo de observación PB-2, cuarta prueba.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 49.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, quinta prueba.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 50.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, sexta prueba.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 51.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, primera prueba.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 52.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, segunda prueba.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 53.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, tercera prueba.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 54.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, cuarta prueba.....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 55.- Redes de flujo para la lumbrera</i>	62
<i>Figura 56.- Efecto con 10 pozos de bombeo para abatir de la presión de poro</i>	64
<i>Figura 57.- Características generales de la lumbrera L-12, vista en planta</i>	66
<i>Figura 58.-Características generales de la lumbrera L-12, vista en perfil</i>	67
<i>Figura 59.- Consideraciones previas para la construcción de la lumbrera</i>	68
<i>Figura 60.- Secuencia constructiva inicial para construcción de lumbrera</i>	69
<i>Figura 61.- Diseño de brocal para construcción de lumbrera</i>	69
<i>Figura 62.- Construcción de brocales para la lumbrera</i>	70
<i>Figura 63.- Diferentes etapas de construcción de brocal para la lumbrera</i>	70
<i>Figura 64.- Secuencia constructiva de seis procesos para muro Milán</i>	71
<i>Figura 65.- Construcción de muro Milán</i>	73
<i>Figura 66.- Tipo de equipo y maquinaria utilizados en la construcción de muro Milán</i>	74
<i>Figura 67.- Excavación del núcleo de la lumbrera</i>	74
<i>Figura 68.- Excavación mediante método convencional</i>	76
<i>Figura 69.- Habilitado de acero para muro secundario</i>	77
<i>Figura 70.- Habilitado de acero para losa de fondo</i>	78
<i>Figura 71.- Bombeo para la lumbrera L-12</i>	79
<i>Figura 72.- Sistema de bombeo parcial con 10 pozos de bombeo para la lumbrera L-12</i>	80
<i>Figura 73.- Recuperación de los niveles dinámicos por falla de equipo de bombeo</i>	81
<i>Figura 74.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 6 pozos de bombeo</i>	81
<i>Figura 75.- Diseño de pozos adicionales de bombeo (PB-7 a PB-10) para abatimiento de la presión de poro</i>	82
<i>Figura 76.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 10 pozos de bombeo</i>	83
<i>Figura 77.- Resultados del modelo de flujo para abatir las presiones de poro</i>	84
<i>Figura 78.- Sistema de bombeo integral conformado por 18 pozos de bombeo para la lumbrera L-12</i>	85
<i>Figura 79.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 16 pozos de bombeo</i>	86
<i>Figura 80.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 18 pozos de bombeo</i>	87
<i>Figura 81.- Arreglo geométrico del equipamiento de los pozos de bombeo</i>	89
<i>Figura 82.- Monitoreo del pozo de observación POL-L12-02 instalado en la lumbrera L-12</i>	91
<i>Figura 83.- Monitoreo de piezómetros instalados en el entorno de la lumbrera</i>	91

<i>Figura 84.- Comportamiento de las presiones en piezómetros de la ingeniería básica.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 85.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetros abiertos de la ingeniería básica.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 86.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetros abiertos construidos durante la obra.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 87.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetro eléctrico construido durante la obra.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 88.- Monitoreo de los extensómetros de barra.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 89.- Equipo de monitoreo (cortesía RST Instruments) y toma de lecturas en inclinómetro.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 90.- Instrumentación para obtener lecturas en tiempo real de un grupo de piezómetros eléctricos.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 91.- Ajustes propuestos al proyecto de la lumbrera.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 92.- Proyección en planta de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 93.- Proyección de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 94.- Proyección en perfil de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento(complemento).....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 95.- Prueba de recarga en el pozo de bombeo PB-2.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 96.- Pruebas de recarga ante diferentes caudales en el pozo PB-2.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 97.- Interacción entre acuíferos bajo condiciones hidrostáticas.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 98.- Interacción entre acuíferos bajo la condición de flujo entre estos.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 99.-Piezometros eléctricos vandalizados con daños en conexiones y registros.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 100. --Preparación de inclinómetro dentro de armado para muro Milán.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 101. --Componentes principales a considerar en la normatividad para un pozo de abatimiento de la presión de poro.....</i>	<i>124</i>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La presente tesina forma parte de la modalidad de titulación adoptada para obtener el grado de ESPECIALISTA EN GEOTECNIA, la cual es una aplicación práctica adquirida durante los estudios de ingeniería básica, proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO). En particular se tratan los temas técnicos asociados a la lumbrera L-12, referente a flujo (grandes caudales de extracción) y altas presiones de agua subterránea, asociadas al acuífero Cuautitlán- Pachuca, ubicado en el estado de México, para poder abatir las presiones de poro durante la construcción de la lumbrera correspondiente.

OBJETIVOS

- i. Establecer el marco físico con base a los estudios realizados para la lumbrera L-12 del TEO.
- ii. Revisar y analizar las condiciones empleadas para abatir las altas presiones y el flujo subterráneo donde se construyó la lumbrera mencionada anteriormente.
- iii. Establecer mejoras en el procedimiento de abatimiento de las presiones de poro.
- iv. Definir controles de calidad para los pozos de abatimiento y en los instrumentos geotécnicos.
- v. Plantear mejoras en el diseño de piezómetros abiertos y pozos de observación, para la obtención de parámetros hidráulicos con fines geohidrológicos.
- vi. Valorar el agua extraída mediante bombeo, para aprovechamiento y uso secundario.
- vii. Evaluar un uso adicional a los instrumentos empleados, una vez concluida la lumbrera.
- viii. Plantear acciones necesarias para normar los pozos de abatimiento e instrumentación geotécnica-geohidrológica.

PROBLEMÁTICA

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es el principal centro político y económico del país y en materia de agua y drenaje, la ciudad se abastece de pozos de sus propios acuíferos y desde hace más de 30 años importa agua de otras cuencas: Lerma y Cutzamala, proveniente de los estados de México y Michoacán. Por otro lado, desde el Siglo XVIII, descarga sus aguas residuales a la cuenca del río Tula en el estado de Hidalgo. El Sistema de drenaje ha perdido capacidad de desalojo debido a los hundimientos de la ciudad provocados por la sobreexplotación de los acuíferos (véase siguiente figura).



Pozo que demuestra el hundimiento en San Juan de Aragón(Ciudad de México) en el período 1936-2011

7.5 m en 75 años (10 cm por año)

Figura 1.- Efectos del hundimiento en un pozo de abastecimiento de agua, en el cual sobresale el ademe (Fuente: CONAGUA, 2011).

Por otra parte, las grandes obras de infraestructura de drenaje construidas entre 1962 y 1975 se diseñaron para la emisión de aguas pluviales y se consideraron como solución a los problemas de inundaciones de la zona urbana del valle. Sin embargo, el desmedido crecimiento de la metrópoli en los últimos 30 años del siglo XX, aunado a la falta de planeación urbana acorde a los servicios existentes, trajo consigo que las obras de abastecimiento de agua potable y drenaje quedaran rebasadas.

La red de drenaje resulta insuficiente, por lo que en su momento se detectó la necesidad de construir un Túnel complementario (Túnel Emisor Oriente “TEO”), el cual favorecería al incremento en la capacidad de drenaje, lo cual ayudaría al desalojo de las aguas residuales y pluviales fuera del Valle de México generadas en época de lluvias torrenciales. La infraestructura del sistema de drenaje se muestra en la siguiente figura.

IMPORTANCIA DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE (TEO) Y SUS COMPONENTES

El Túnel Emisor Oriente (TEO) surge por la necesidad de contar con un sistema alternativo de drenaje profundo derivado de:

- i. Reforzar el sistema principal de drenaje actual y por la insuficiencia para desalojar el agua residual de la Ciudad de México.
- ii. La falta de un sistema alternativo que permita captar el agua ante condiciones extraordinarias de precipitaciones.
- iii. Flexibilidad en la operación general del sistema de drenaje, permitiendo maniobras de operación conforme la presencia de lluvias aisladas de gran intensidad y la inspección y mantenimiento del drenaje profundo, alternando su funcionamiento con el Túnel Emisor Central (TEC).
- iv. El TEO contribuirá a la mejora del sistema de drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México que está en constante crecimiento, con ello se busca otorgar políticas de operación adecuadas, oportunas y funcionales para el manejo y control de inundaciones.
- v. Otorgar beneficios socioeconómicos generados por el proyecto hidráulico, para que en medida de lo posible se eviten daños a bienes y personas.

La trayectoria del TEO inicia en la confluencia del Gran Canal del Desagüe con el Río de los Remedios (límite de la Ciudad de México con el Estado de México, en la Alcaldía Gustavo A. Madero) y termina en el municipio de Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo, en la cercanía de la salida del Túnel Emisor Central (TEC). En su recorrido cruza varios municipios del Estado de México (Ecatepec de Morelos, Tecámac, Jaltenco, Zumpango, Huehuetoca, entre otros) y de Hidalgo (Melchor Ocampo, Conejos, además de otras poblaciones y ejidos). El túnel tiene 62.4 km de longitud y está diseñado para conducir un caudal de hasta 150 m³/s. El TEO está integrado por 25 lumbreras y un portal de salida (figura 3). La pendiente del Túnel Emisor Oriente es de 1.9 m/km de la lumbrera 0 a la lumbrera 6 y de 1.51 m/km de la lumbrera correspondiente al portal de salida.

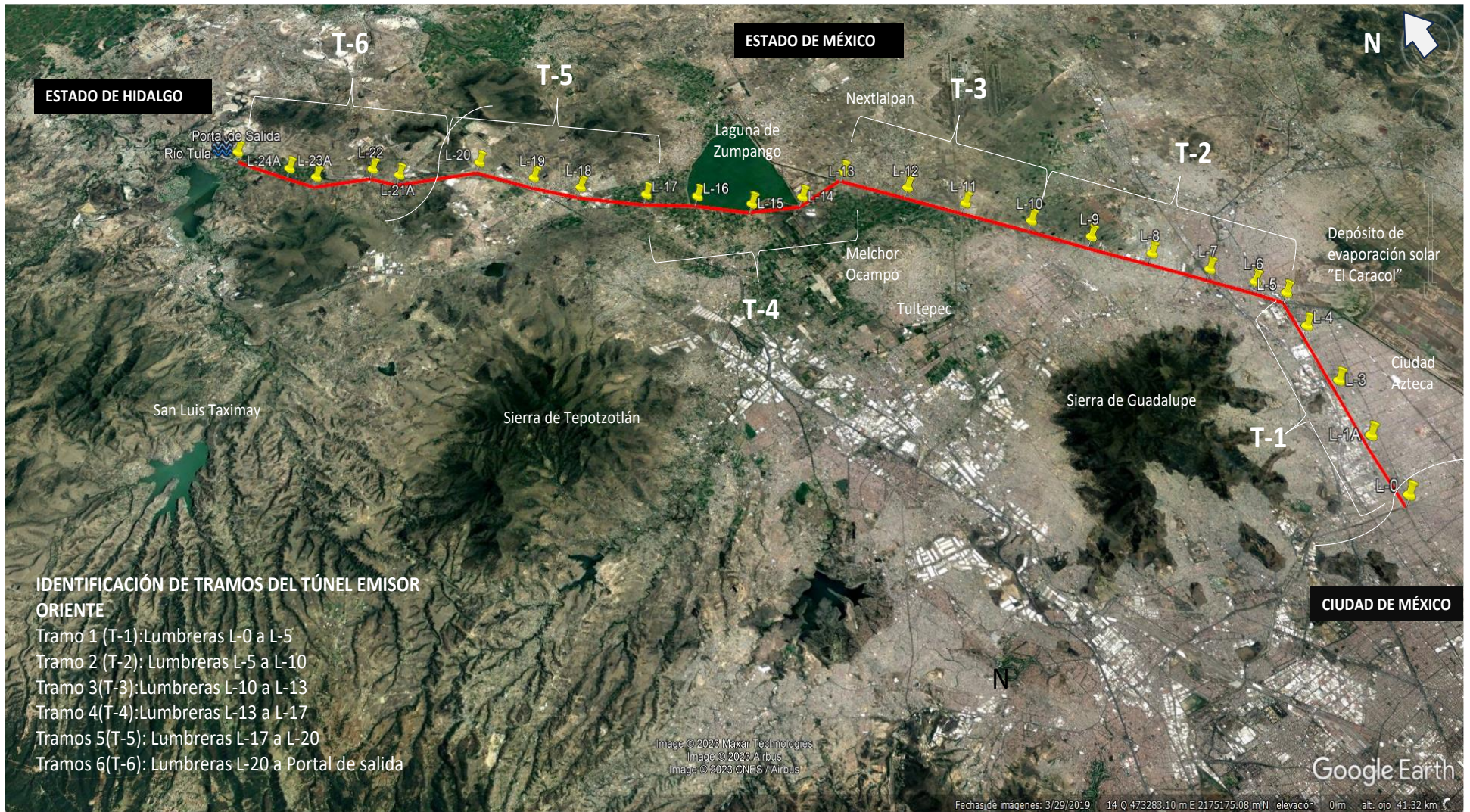


Figura 3.- Localización del Túnel Emisor Oriente "TEO" (Fuente CONAGUA readecuado por S. González, 2023).

Hidráulicamente el Túnel Emisor Oriente trabaja por gravedad y recibe las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y del Interceptor Río de los Remedios, cuyos caudales confluyen en lo que se denomina Lumbreira 0 del TEO. Es aquí desde donde se concibe el TEO hasta el municipio de Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo, con más de 150 metros de profundidad en el (lumbreira 20). Asimismo, a lo largo del TEO se captan las descargas de aguas combinadas que provienen de municipios y poblados contiguos al Gran Canal del Desagüe, en zonas de fuerte asentamiento diferencial, concretamente del municipio de Ecatepec entre las lumbreiras L0 y L5 del TEO. Los estudios de ingeniería básica se efectuaron en 2008, el proyecto ejecutivo y la construcción del TEO se inició en noviembre de 2008 y la obra se inauguró en diciembre de 2019.

UBICACIÓN DE LA LUMBRERA L-12

La lumbreira correspondiente se ubica en el cadenamiento km 27+603.115 del Túnel Emisor Oriente, entre las lumbreiras L11 y L13, a un costado de la población de Santa Ana Nextlalpan, como referencia se encuentra cerca de la laguna de Zumpango, en el estado de México. Sus coordenadas UTM y localización, se muestran en la siguiente figura.

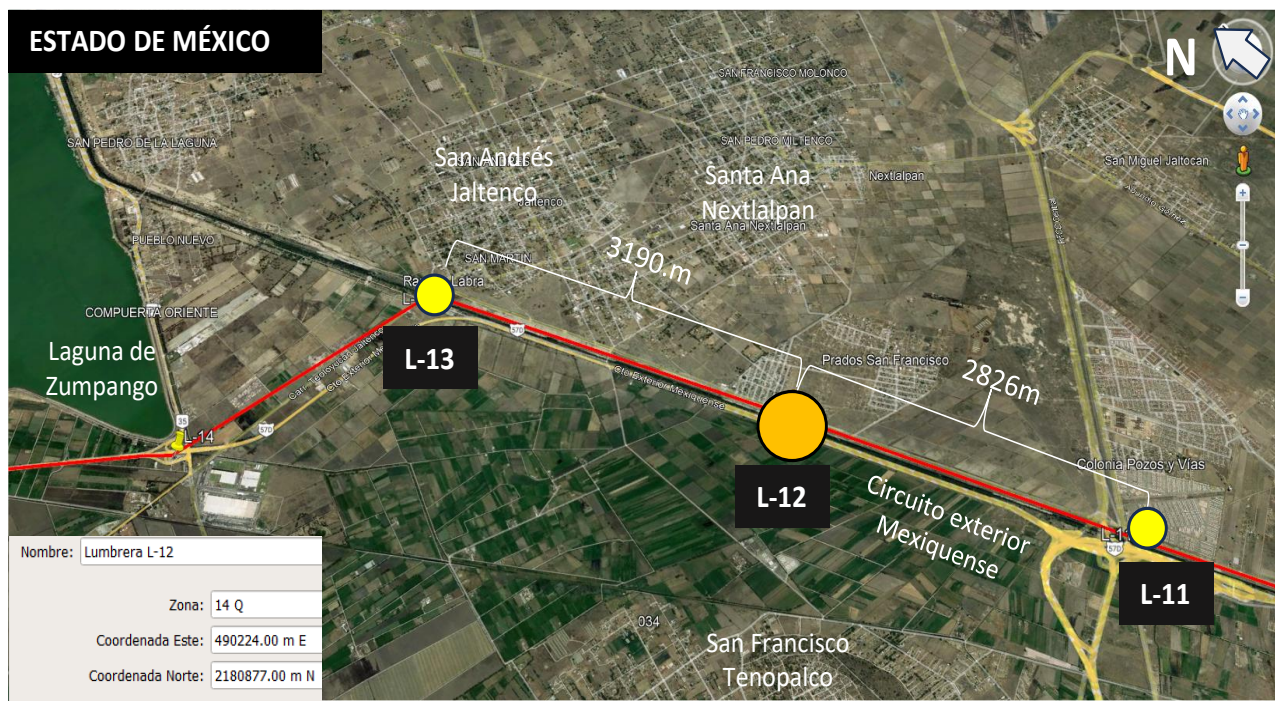


Figura 4.- Localización de la lumbreira L-12 (Fuente CONAGUA readecuado por S. González, 2023).

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y PROBLEMÁTICA DEBIDA AL AGUA SUBTERRÁNEA

Cuando el agua subterránea fluye hacia cualquier excavación realizada, con presencia de agua en el subsuelo o por debajo del nivel freático, se tienen entradas de agua que pueden generar complicaciones y retrasos en la ejecución de cualquier obra, dependiendo de la cantidad de agua, de la conductividad hidráulica del medio geológico que la contiene, de la presión de poro, tipo y características del acuífero, entre otros. El problema se agrava si hacen falta estudios (se pueden tener trabajos incompletos y/o deficientes, que no brinden certeza técnica) o también puede complicarse, si se inducen durante la obra cantidades de agua subterránea innecesarios, hacia la excavación por diseños y sistemas de abatimientos inadecuados que comuniquen estratos o acuíferos superiores con inferiores, acuíferos intermedios con acuíferos inferiores, por proceso constructivo deficiente, entre otros.



Figura 5.- Entrada de agua subterránea a la obra.

Uno de los problemas en el diseño y construcción de muchas obras, son las grandes cantidades de agua del subsuelo que se tienen que bombear ya sea a través de pozos someros, pozos profundos, cárcamos de bombeo, entre otros, lo anterior acompañado de altas presiones de agua. Un caso similar y particular está asociado, a la lumbrera L-12 del TEO, la cual esta alojada en un acuífero importante que es el Cuautitlán-Pachuca, que abastece agua mediante pozos a la Ciudad de México y Estado de México. En el sitio de los trabajos se presentaron altas presiones generadas por el agua subterránea (mayores a 3 bares), así como grandes cantidades de agua que se tuvieron que extraer del subsuelo (gastos mayores a 600 litros por segundo) y se implementó la perforación y construcción de 18 pozos de abatimiento que se utilizaron, para

poder abatir las presiones de poro y lograr construir la obra correspondiente. Otro aspecto importante consiste en evaluar en que se pudo aprovechar el agua extraída del subsuelo.

Es importante mencionar que los pozos de abatimiento deberán estar diseñados para bombeos dirigidos en los estratos de interés que generan problemas por aportación de caudales importantes, falla de fondo por subpresión, entradas de agua en zonas donde se requiere trabajar en seco (colados), interconexiones de túnel-lumbrera, además de otros, para poder contrarrestar la presión de poro, donde realmente sea necesario. Es importante cuidar el proceso constructivo de un pozo de abatimiento, para evitar contaminación y entradas de agua de estratos que no sean de interés.

Resulta conveniente destacar, que no necesariamente un pozo de abatimiento tiene que ser igual o similar a un pozo de extracción, pues con este último lo que se busca es proveer de mayores caudales de abastecimiento para un cierto fin y en el caso de un pozo de abatimiento, se pretende no comunicar hidráulicamente agua de otros estratos o acuíferos, que no sean de interés, pues el propósito de los pozos correspondientes no es abastecer de agua, si no de contrarrestar las presiones de poro y evitar entradas de agua adicionales, que no sean de utilidad y que solo complican el problema durante la construcción de alguna obra de ingeniería.

CAPÍTULO 1.- MARCO FISICO, INGENIERÍA BÁSICA Y PROYECTO EJECUTIVO.

Bajo convenio de CONAGUA con la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se realizaron los estudios de ingeniería básica para el Túnel Emisor Oriente y mediante contrato, el proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente, se llevaron a cabo por el consorcio, Constructora Mexicana de Infraestructura Subterránea, S.A. de C.V (COMISSA), conformado por las empresa Carso Infraestructura y Construcción, S.A.B. de C.V. (CICSA), Empresas ICA, S.A.B. de C.V. (ICA), Construcciones y Trituraciones, S.A. de C.V. (COTRISA), Constructora Estrella, S.A. de C.V. (CESA) y Lombardo Construcciones, S.A. de C.V. El proyecto ejecutivo consideró la construcción mecanizada del túnel (véase figura siguiente), con el empleo de máquinas tuneladoras que permitieron excavar a través de las formaciones geológicas detectadas en el trazo del túnel. De igual manera, el proyecto para la construcción de lumbreras y captaciones a este túnel contempló la aplicación de procedimientos constructivos acordes a la geología del lugar. En el caso particular del presente trabajo, solo se tratan los aspectos geohidrológicos y de instrumentación geotécnica asociados a la construcción la lumbrera de paso L-12 del túnel referido, con el propósito de abatir las presiones de poro y controlar los caudales de aportación de agua subterránea.

Para poder entender de mejor manera o modo más adecuado el contexto, para el manejo de las aguas subterráneas y las presiones de poro, para la construcción de la lumbrera correspondiente, es necesario conocer el marco físico, lo que permite, saber y comprender las condiciones puntuales del sitio de construcción, para implementar soluciones adecuadas.



Figura 6.- Ejemplo de equipo mecanizado empleado y revestimiento para TEO.

1.1 TOPOGRAFÍA

Referente a esta actividad, en términos generales se realizó la delimitación del predio de ocupación de la lumbrera (véase siguiente figura) así como localización y nivelación topográfica de la instrumentación instalada tanto en la etapa de ingeniería básica (IB) y en el proyecto ejecutivo (PE). Las coordenadas UTM de los instrumentos georreferenciados se muestran en la siguiente tabla. Para poder realizar esta actividad, se tomó como punto de control principal el banco de nivel Atzacolco y posteriormente se instalaron

diversos bancos de nivel profundo en sitios estratégicos del Túnel Emisor Oriente, los cuales sirvieron como puntos de control principal, para los trabajos topográficos.



Figura 7.- Predio de ocupación para la lumbrera L-12 (Fotografía Cortesía de S. Maldonado, 2023).

El banco de nivel profundo es un patrón de referencia fijo desplantado a profundidad adecuada, dentro de la masa del subsuelo, sobre un estrato firme y está integrado de manera general, por una serie de tubos de acero galvanizado cédula 40 de 1 ¼” de diámetro acoplados entre sí y anclados a un tubo de acero cédula 40 de 3” de diámetro relleno de concreto, que funciona como un muerto de concreto, con el propósito de proteger y aislar el tubo galvanizado de los asentamientos del subsuelo circundante, se le coloca alrededor una camisa de lámina galvanizada de 3” de diámetro; y finalmente se coloca en el brocal del barreno un registro de protección contra golpes y vandalismo.

Los datos topográficos de ubicación de los bancos de nivel profundo, de interés fueron los siguientes:

Lumbrera L-10:

- Coordenadas: X = 492,710.468; Y = 2,175,419.537; Z = 2,238.596
- Profundidad de instalación: 85.0 m
- Estrato de apoyo: Arena fina y media, poco gruesa sálica y pumíticas, limosa, café amarillento y café olivo.

Lumbrera L-13:

- Coordenadas: X = 488,823.828; Y = 2,183,672.377; Z = 2,240.170
- Profundidad de instalación: 100.0 m
- Estrato de apoyo: Arena fina y media poco gruesa basáltica, limosa, café y gris olivo.

Los datos topográficos obtenidos para la lumbrera L-12 son los siguientes:

- Nivel de Plataforma de Trabajo y Brocales: 2,236.79 msnm
- Plantilla de túnel: 2,156.393 msnm
- Profundidad: 80.397 m.
- Diámetro de la lumbrera=12m

Como complemento a los trabajos correspondientes, se realizó la localización topográfica a la instrumentación geotécnica y geohidrológica instalada, consistente en 7 piezómetros abiertos, 1 piezómetro eléctrico, 2 pozos de observación, 3 extensómetros de barras y 4 inclinómetros de acuerdo con la siguiente tabla.

Nomenclatura	Instrumento	Coordenada X	Coordenada Y
Ingeniería básica			
PZAL-L12-C-01	Piezómetro abierto	490207.649	2180892.58
PZAL-L12-C-02	Piezómetro abierto		
PZAL-L12-C-03	Piezómetro abierto		
PZAL-L12-C-04	Piezómetro abierto		
PZAL-L12-C-05	Piezómetro abierto		
POL-L12-01	Pozo de observación	490224.468	2180853.09
EXTL-L12-01	Extensómetro	490221.715	2180857.748
EXTL-L12-02	Extensómetro		
EXTL-L12-03	Extensómetro		
Proyecto ejecutivo y construcción			
PZAL-L12-C-06	Piezómetro abierto	490226.179	2180889.823
PZAL-L12-C-07	Piezómetro abierto		
INCL-L12-01	Inclinómetro	490220.607	2180885.092
INCL-L12-02	Inclinómetro	490231.736	2180880.669
INCL-L12-03	Inclinómetro	490220.558	2180869.323
INCL-L12-04	Inclinómetro	490215.963	2180874.120
POL-L12-02	Pozo de observación	490230.381	2180885.853
PZEL-L12-01	Piezómetro eléctrico	490237.14	2180873.460

Tabla 1.- Localización topográfica de los instrumentos instalados (Fuente: CONAGUA-CFE-COMISSA).

Las elevaciones a los inclinómetros se indican en la siguiente tabla y las correspondientes a los piezómetros abiertos, piezómetro eléctrico, pozo de observación y extensómetros de barra se indican en el apartado de instrumentación.

Nomenclatura	Instrumento	Elevación Z
INCL-L12-01	Inclinómetro	2236.846
INCL-L12-02	Inclinómetro	2236.860
INCL-L12-03	Inclinómetro	2237.237
INCL-L12-04	Inclinómetro	2236.805

Tabla 2.- Elevación topográfica para los inclinómetros (Fuente: COMISSA).

1.2 GEOFÍSICA Y GEOLOGÍA

La geofísica fue un área de apoyo en los trabajos de geología, geotecnia y geohidrología y se utilizó con el propósito de identificar interferencias (tuberías enterradas) en el sitio de la lumbrera y apoyar en la determinación del marco geológico y en el tipo de suelo y roca. De esta actividad de exploración geofísica, se destaca lo siguiente:

- a) Magnetometría: con este método se descartó la presencia de tubería enterrada,
- b) Tomografía eléctrica dipolar (TED), los resultados indican que el suelo es arcilloso hasta la profundidad investigada a 5m de profundidad con 3 líneas geofísicas.
- c) Sondeo eléctrico Vertical (SEV) permitió conocer el tipo de suelo existente in situ.

De la geofísica se pudo establecer que en el sitio de la lumbrera no se detectaron grietas ni cavernas. Por otra parte, la geología regional se indica en la siguiente figura.

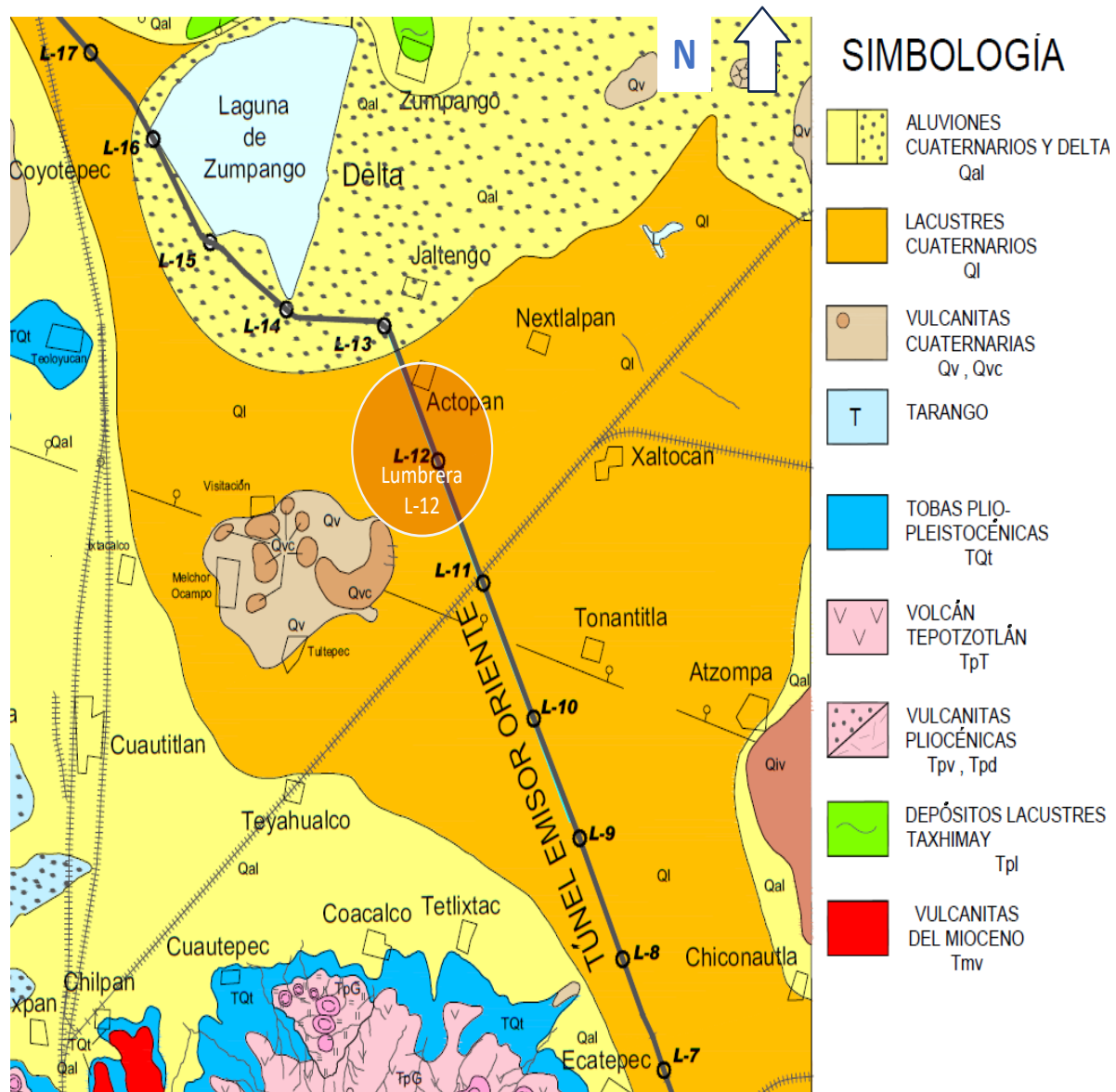


Figura 8.- Geología regional (Fuente: Mooser, et al, 2010).

Las unidades geológicas de interés y su descripción son las siguientes (Mooser, 2010):

a) Lacustres cuaternarios (Ql)

La unidad correspondiente consiste en arcillas y limos, contiene interestratificadas arenas; además capas de pómez y cenizas, productos de erupciones volcánicas caídas en un lago de aguas dulces someras. Entre los componentes de la unidad geológica referida, se tiene el río de las avenidas de Pachuca, el cual depositó

sedimentos arenosos finos que se interestratificaron por Zumpango con las arcillas lacustres y cenizas, formando algo que se asemeja a un delta.

b) Aluviones cuaternarios y delta (Qal)

Esta unidad se caracteriza por contar con depósitos fluvio-aluviales del Río de las avenidas (Delta): color amarillo con puntos negros, también esta unidad está asociada con extensos rellenos aluviales y lacustres.

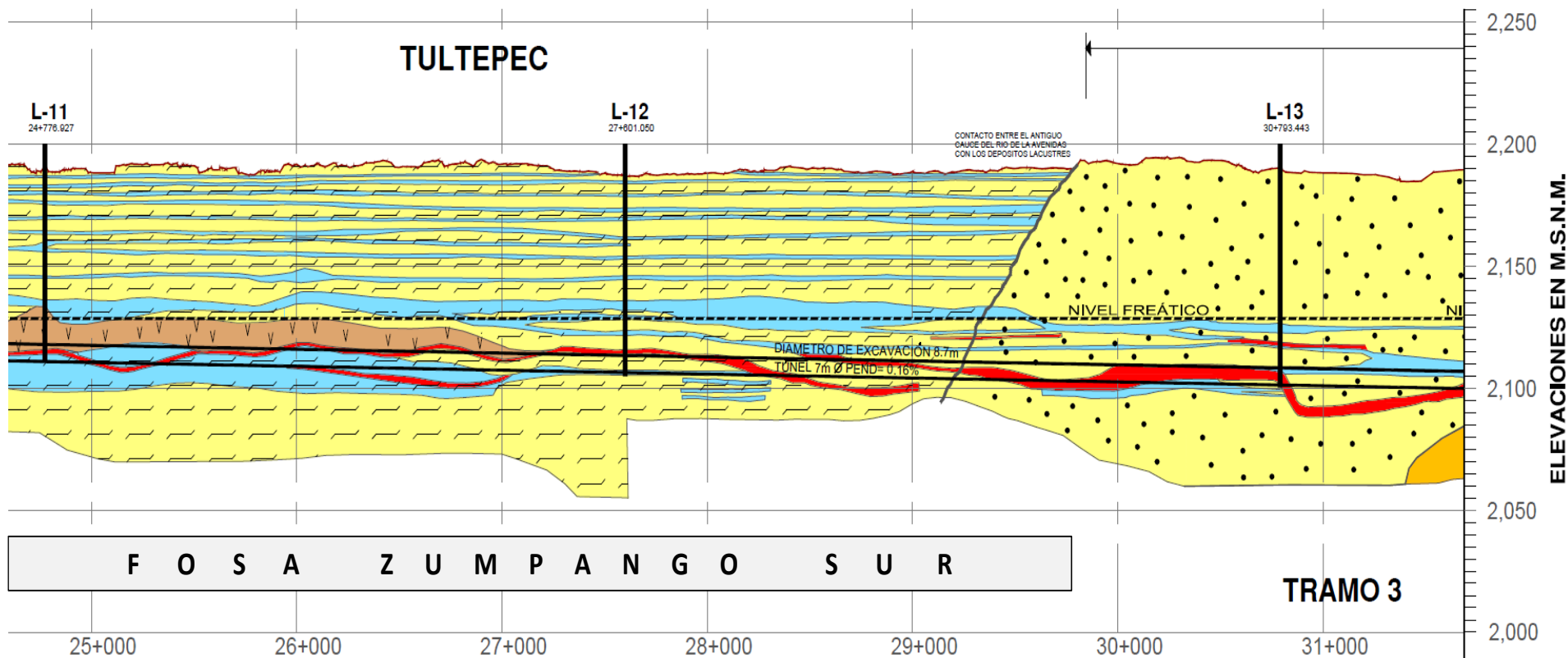
c) Vulcanitas cuaternarias (Qv y Qvc)

A esta unidad geológica se le asigna el símbolo Qv (lavas y tobas), que distingue a las vulcanitas y que en su mayoría se componen de elementos y unidades fenobasálticas o andesíticas y a veces más ácidas. Se designan a las vulcanitas del grupo Chichinautzin con sus conos (Qvc) y domos (Qvd).

En cuanto a la geología del subsuelo, la descripción de las unidades geológicas locales identificados a lo largo de toda la profundidad para la lumbrera L-12, se muestran en la siguiente figura, siendo estas:

- i) Secuencia lacustre del norte
- ii) Abanicos aluviales y tobas rojas
- iii) Aluvión
- iv) Cenizas volcánicas.

De manera puntual, en el apartado de geotecnia se indica con mayor detalle el tipo de suelo identificado in situ.



SIMBOLOGÍA



Figura 9.- Perfil geológico asociado a la lumbrera L-12 (Fuente: Mooser, et al, 2010)

1.3 GEOTECNIA

Los objetivos del estudio geotécnico consistieron en apoyar en el tema del sistema de abatimiento de las aguas subterráneas mediante un sistema de pozos profundos, para obtener factores de seguridad confiables para ello fue necesario: a) La definición del modelo geotécnico del sitio de la lumbrera L-12, a partir de sondeos geotécnicos exploratorios y de pruebas de laboratorio y b) Análisis geotécnico de la lumbrera (revisión de falla por subpresión), lo que permitió contar con elementos técnicos para saber cuánto fue necesario abatir la presión de poro, para poder construir la lumbrera referida.

1.3.1 MODELO GEOTÉCNICO

El conocimiento de la estructura y propiedades del subsuelo resulta primordial para poder llegar a un diseño apropiado para la lumbrera. Es por ello, que uno de los puntos claves del proyecto fue, el programa de exploración, integrado por los trabajos ejecutados directamente en el campo y complementado con los ensayos de laboratorio para posteriormente conjuntar los resultados en gabinete, hasta llegar a un modelo del sitio. En la siguiente figura se muestra la ubicación de los sondeos realizados en la ingeniería básica (IB) y en el proyecto ejecutivo (PE).



Figura 10.- Localización de sondeos geotécnicos (Fuente: CONAGUA-CFE-COMISSA).

Ingeniería básica

La CFE realizó un sondeo de penetración estándar (SPT-L12-IB) y otro sondeo de tipo mixto (SM-L12-IB), a profundidades de 90m y 97.5 m respectivamente, utilizando un equipo de perforación tipo Mobil Drill montado sobre camión. En el sondeo de penetración estándar, se usó la metodología descrita en la norma ASTM D1586 hasta la profundidad programada. La secuencia de perforación consistió en la recuperación de muestras alteradas mediante la prueba de penetración estándar a cada 45 cm, así como la obtención de resistencia en número de golpes (N_{SPT}). En el sondeo mixto se alternó la técnica de muestreo inalterado descrita en la norma ASTM D1587 con la de penetración estándar hasta la profundidad programada. Inicialmente el muestreo inalterado se ejecutó mediante tubo shelby de 10 cm de diámetro. Cuando el material tenía consistencia media a dura o compacidad media a densa se utilizó tubo Shelby dentado. Por último, cuando se encontró suelo muy duro o denso, el muestreo fue mediante barril Denison o con muestreo alterado con la prueba de penetración estándar y barril NQ.

- ***Estratigrafía obtenida en la ingeniería básica (CFE)***

De acuerdo con los resultados de los trabajos de exploración y de laboratorio, se encontraron los estratos que a continuación se describen.

- Costra superficial desecada (CS)**, de 0 a 2 m de profundidad. Compuesta principalmente de limos arcillosos café claro de consistencia firme, con arena fina (depósitos lacustres, de suelo residual y rellenos).
- Formación arcillosa superior (FAS)**, de 2 a 6.2 m de profundidad. Compuesta principalmente de arcillas de alta plasticidad gris verdosa, de consistencia muy blanda a media, muy compresible. Dentro de esta formación se encuentran estratos de limos arenosos y arenas, de consistencia y compacidad variables (depósitos lacustres).
- Capa dura (CD)**, de 6.2 a 11.2 m de profundidad. Compuesta principalmente por limos arenosos gris verdosos de consistencia dura (depósitos lacustres) con intercalaciones de ceniza volcánica color negro altamente compacta.
- Formación arcillosa inferior (FAI)**, de 11.2 a 13.5 m de profundidad. Compuesta por arcilla de alta plasticidad gris verdosa, de consistencia firme a dura.
- Serie estratificada superior (SES)**, de 13.5 a 23.2 m de profundidad. Consiste principalmente en limos arenosos de consistencia dura y arenas limosas en estado compacto. En esta formación se presentan a diferentes profundidades algunas intercalaciones arcillosas de espesor pequeño (menor de 1.5 m), de consistencia firme a dura y poco compresible. Con objeto de conformar el modelo

- geotécnico se incluyó en este estrato a la Formación arcillosa inferior (FAI), que presenta un espesor del orden de 1.50 m (depósitos lacustres).
- vi. **Formación arcillosa profunda (FAP)**, de 23.2 a 31.5 m de profundidad. Se forma de arcillas de alta plasticidad, color gris verdoso, consistencia de blanda a dura (depósitos lacustres).
 - vii. **Serie estratificada inferior (SEI)**, de 31.5 a 59 m de profundidad, serie errática de suelos arenosos, limosos y arcillosos en los que el factor común es alta variabilidad de consistencia, compacidad y compresibilidad (depósitos lacustres). La unidad se subdivide en SEI-1 que va de 31.50 a 41.80 m con NSPT de 29 y en SEI-2 de 41,80 a 59 m de profundidad con NSPT de 49.
 - viii. **Limo arenoso cementado de origen lacustre (LC-1)**, de 59 a 84.7 m de profundidad intercalaciones de materiales con una mayor consolidación, de origen lacustre color gris verdoso (destacan los materiales arenosos, limosos, arena limosos, limos arenosos, así como cenizas con arcillas escasas).
 - ix. **Segunda formación arcillosa profunda (SFAP)**. De 84.7 a 87.2 m de profundidad intercalaciones de arcillas y limos de alta plasticidad de consistencia muy dura, color café grisáceo y negro, con escasa arena fina, material de origen aluvial.
 - x. **Limo arenoso cementado (LC-3)**. De 87.2 a 92 m de profundidad, limos arenosos, limos y arenas gris claro de consistencia dura y compacidad densa.
 - xi. **Tercera formación arcillosa profunda (TFAP)**, De 92 m al fin del sondeo 97.5m, formada por arcillas y limos de consistencia dura, color gris oscuro y café verdoso, con algunos lentes de ceniza volcánica color gris oscuro y claro.

Proyecto ejecutivo (COMISSA)

Para la elaboración del modelo se realizó un sondeo mixto “SM”, a una profundidad de 95.05m. El sondeo se ejecutó combinando el penetrómetro estándar de 60 cm de longitud, hincándose a percusión con obtención de muestras alteradas representativas y el muestreo inalterado empleando el tubo Shelby. De los diferentes estratos, se obtuvieron las propiedades índices de los suelos con el muestreo alterado y con el muestreo inalterado las mecánicas.

- *Laboratorio*

A todas las muestras recuperadas se les determinó su contenido natural de agua, y se realizó su clasificación visual y al tacto. Selectivamente se efectuaron pruebas de límites de consistencia, porcentaje de finos y granulometría por mallas, atendiendo al tipo de material de que se tratara. Con estos datos se obtuvo la

clasificación SUCS de los diversos materiales. De las muestras inalteradas se determinaron los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante.

- *Descripción estratigráfica*

Para esta actividad se tomaron en cuenta las propiedades índice como lo son: a) Determinación de límites de consistencia, mediante la copa Casagrande para el límite líquido y la prueba del límite plástico, b) Contenido natural de agua, c) Análisis granulométrico, d) Clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), además del conocimiento geológico previo de la zona, que sirve para identificar grandes paquetes de formaciones geológicas como las que se tienen en el Valle de México.

Con base a los trabajos de exploración y de laboratorio realizados en la ingeniería básica (IB) y proyecto (PE) ejecutivo se obtuvo la secuencia estratigráfica en la zona de la lumbrera L-12 así como las propiedades del suelo, las cuales se indica en las siguientes tablas.

Unidad	Profundidad(m)	Descripción	Wprom(%)	Nspt promedio
A	De 0 a -2	Costra superficial formada por limo arenoso de consistencia dura.	40	15
B	De -2 a -6.2	Limo arcilloso de alta y baja plasticidad de consistencia blanda.	110	5
C	De -6.2 a -11.2	Limo arenoso de baja y alta plasticidad de consistencia dura a muy dura.	50	>50
D	De -11.2 a -13.5	Arcilla de alta plasticidad con arena de consistencia blanda a media	40	20
E	De -13.5 a -23.2	Intercalaciones de limos y limos arenosos de consistencia dura a muy dura.	40	50
F	De -23.2 a -31.5	Limos y arcillas de alta plasticidad de consistencia media a dura.	80	20
G	De -31.5 a -41.8	Limos y arcillas de alta plasticidad de consistencia media a dura.	60	25
H	De -41.8 a -59	Intercalaciones de limo arenoso y arena limosa de consistencia dura a muy dura.	30	>50
I	De -59 a -84.7	Intercalaciones de limos y limos arenosos de consistencia dura a muy dura.	30	>50
J	De -84.7 a -87.2	Limos de alta plasticidad de consistencia media a dura.	80	20
K	De -87.2 a -92	Intercalaciones de limo arenoso y arena limosa de consistencia dura a muy dura.	40	>50

Tabla 3.- Estratigrafía de la lumbrera L-12 (Fuente: COMISSA)

Unidad	Profundidad(m)	γ (t/m ³)	C_u (t/m ³)	Φ_u (°)
A	De 0 a -2	1.6	5	20
B	De -2 a -6.2	1.27	1.5	10
C	De -6.2 a -11.2	1.75	1.7	33
D	De -11.2 a -13.5	1.3	4	10
E	De -13.5 a -23.2	1.76	5.14	15
F	De -23.2 a -31.5	1.6	5.37	14
G	De -31.5 a -41.8	1.7	9.49	31
H	De -41.8 a -59	1.8	10.7	18
I	De -59 a -84.7	1.7	27.58	25
J	De -84.7 a -87.2	1.6	42	35
K	De -87.2 a -92	1.7	58	17

Tabla 4.- Propiedades del subsuelo asociado a la lumbrera L-12 (Fuente: COMISSA)

De la tabla anterior se tiene que:

γ (t/m³) = peso volumétrico

C_u (t/m³) = cohesión en condiciones no drenadas

Φ_u (°) = ángulo de fricción en condiciones no drenadas

En la siguiente figura se muestra el perfil geotécnico a detalle local y del entorno, generado a partir de la información obtenida (geofísica, geología y geotecnia), de la ingeniería básica y del proyecto ejecutivo. Donde se puede apreciar que la lumbrera se tienen dos paquetes importantes de arenas limosas por debajo del nivel freático y por debajo de la interconexión túnel lumbrera, que seguramente generan subpresión.

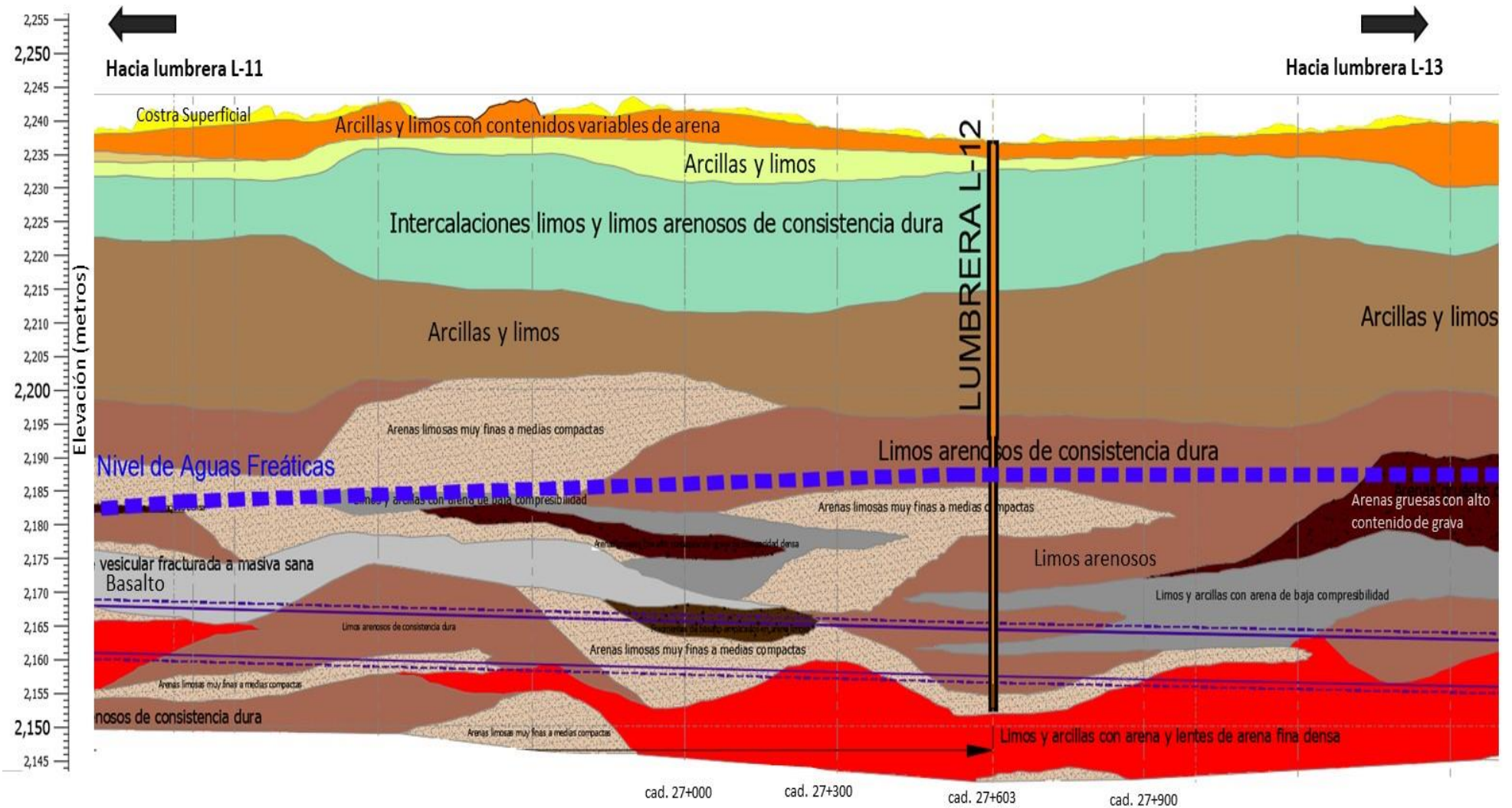


Figura 11.- Perfil geotécnico a detalle de la lumbrera L-12 (2010) y su entorno (Fuente: COMISSA readecuado por S. González, 2023).

1.3.2 CONDICIONES PIEZOMÉTRICAS Y PRESIÓN DE PORO

En el sitio de la lumbrera L12, se realizó la instalación de estaciones piezométricas, cuyo diseño y detalles técnicos se muestran en el apartado de instrumentación, así como de pozos de observación. Con estos piezómetros se realizó el monitoreo de las variaciones de la presión de poro y del nivel freático, desde su instalación y permitieron registrar las presiones y niveles antes, durante y después de la construcción de la lumbrera. Cabe señalar que ubicación de los bulbos atendió a la presencia de estratos drenantes en la interfase Muro Milán y zona de excavación convencional, así como fondo de la lumbrera. En la siguiente tabla se muestran las condiciones piezométricas antes de la construcción de la lumbrera L12.

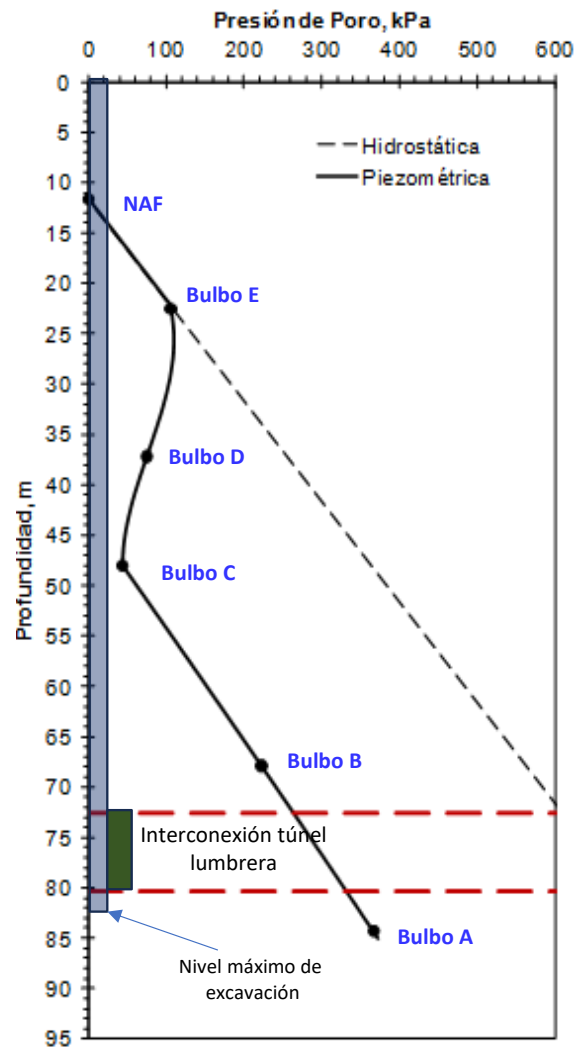


Figura 12.- Presiones de poro e hidrostática de la lumbrera L-12 (Fuente CONAGUA-COMISSA readecuado por S. González, 2023).

La presión piezométrica se encuentra abatida (por debajo de la hidrostática), especialmente debajo de los 25 m de profundidad; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que estas presiones se acerquen a la hidrostática durante o después de la construcción de dicha lumbrera, producto de la recarga de los acuíferos o comunicación hidráulica.

1.3.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Dado que el nivel de desplante de la lumbrera se ubicó en una zona con presencia de agua subterránea, fue necesario evaluar la falla de fondo por subpresión, la cual es causada por la presión del agua que puede producir el levantamiento del suelo en el fondo de la excavación. Para evitar este tipo de falla es necesario el abatimiento (mediante pozos y bombeo de achique), de los niveles freáticos o piezométricos, para ello resulta adecuado la instrumentación geotécnica para observación y el monitoreo de las presiones de poro, sobre todo si se tiene conocimiento de las condiciones geohidrológicas del sitio (acuíferos y/o estratos permeables), cercanos o en de la capa del fondo de la excavación, por lo que se busca se tenga mayor seguridad durante los trabajos de excavación y construcción de la lumbrera ante la posible falla por subpresión.

Revisión de falla por subpresión

Esta condición se revisó utilizando la siguiente ecuación para evaluar su estabilidad ante la falla por subpresión:

$$FS = \frac{(H - D_f) \gamma_m}{u}$$

Donde,

H= Profundidad donde inicia el estrato drenante

D_f= Profundidad de excavación

γ_m = Peso volumétrico del suelo desde D_f y hasta H

u = Presión del agua

Considerando las siguientes variables para la ecuación, la profundidad máxima de excavación de D_f=84.5m, y que el estrato (unidad K) sensiblemente drenante inicia a 87.2m, se estima un peso volumétrico de 1.7 t/m³, sin tomar en cuenta el efecto de bombeo, se consideró una presión del agua del orden de 41 t/m², por lo tanto, el factor de seguridad FS=0.11, es menor que el mínimo admisible de 1.3. De acuerdo con el análisis del proyecto ejecutivo para poder alcanzar el nivel máximo de excavación sin que se presente falla, será

necesario que el nivel del agua se abata hasta los -88m de profundidad, para poder trabajar en condiciones "secas".

Flujo de agua y abatimiento del Nivel de aguas freáticas (NAF)

Considerando que el flujo de agua a través de medios porosos está gobernado por la Ley de Darcy, la cual se aplicó para la estimación del caudal por bombeo en la excavación del núcleo de la lumbrera a partir de 42m de profundidad.

$$Q = K * A * i$$

Donde:

Q= Caudal de extracción de agua subterránea

A= Área de la sección transversal del filtro

i = Gradiente hidráulico, expresado como la pérdida de carga entre la longitud de desplazamiento del flujo.

Inicialmente se consideró un sistema de bombeo de 6 pozos profundos, distribuidos uniformemente en el exterior de la lumbrera perforados entre 94m y 101m de profundidad. En cada pozo, entre 39.7m y 42.7m están cementados para reducir la afectación al manto freático hasta a esa profundidad, por lo tanto, la zona de filtro para dichos pozos se instaló a partir de ese punto hasta la profundidad de cada pozo. El sistema de bombeo profundo referido se complementa con bombeo de achique en el interior de la excavación del núcleo de la lumbrera. El bombeo se planteó para iniciar después de haber concluido el muro Milán y antes de iniciar la excavación del núcleo.

En la lumbrera L-12, se realizaron 16 *Pruebas de permeabilidad* tipo Lefranc, para determinar los valores de permeabilidad(k) de los materiales a distintas profundidades. Las pruebas correspondientes se realizaron en tramos de 5m de longitud (al considerarse en los tramos establecidos, se tiene la desventaja de promediar valores k de suelos diferentes, en lugar de un solo suelo). En la siguiente tabla se indican los resultados de las pruebas realizadas.

Con base a los resultados obtenidos de los ensayos de permeabilidad, los suelos tienen en general un mal drenaje, lo cual puede ser atribuido a la cantidad de finos que contienen. Los suelos de la lumbrera L-12, son principalmente son una intercalación de suelos granulares con matrices importantes de suelos finos y suelos finos plásticos.

No	Profundidad(m)	K (cm/s)	Clasificación CFE (Guia 10000-73)
1	5	4.35E-03	Material muy conductivo (muy permeable)
2	10	7.19E-04	Material conductivo (permeable)
3	15	5.13E-04	Material conductivo (permeable)
4	20	2.35E-04	Material conductivo (permeable)
5	25	1.87E-04	Material conductivo (permeable)
6	30	5.28E-04	Material conductivo (permeable)
7	35	5.10E-04	Material conductivo (permeable)
8	40	9.26E-05	Material poco conductivo (poco permeable)
9	45	3.08E-04	Material conductivo (permeable)
10	50	1.54E-04	Material conductivo (permeable)
11	55	1.90E-04	Material conductivo (permeable)
12	60	1.85E-04	Material conductivo (permeable)
13	65	2.46E-04	Material conductivo (permeable)
14	70	2.24E-04	Material conductivo (permeable)
15	75	2.37E-04	Material conductivo (permeable)
16	80	2.35E-04	Material conductivo (permeable)

Tabla 5.- Resultados de las pruebas de permeabilidad (Fuente: COMISSA, readecuado por S. González 2023).

Con los datos obtenidos se realizó la estimación teórica del caudal de bombeo del orden de 4.6 l/s, considerando que a partir de los 45m de profundidad se tendrían suelos con baja aportación de flujo subterráneo, por ello se planteó en su momento que cada pozo (de un total de 6), tenía que generar un caudal de 0.77 l/s. La obtención del caudal de bombeo, no considero el análisis por debajo de los 80m de profundidad, que es la zona donde se presentó subpresión. Esta condición, no indica el caudal real (el cual resulto ser mucho mayor), obtenido durante las pruebas de aforo de los pozos de abatimiento, se evaluó la capacidad de extracción del sistema de bombeo de manera gradual apoyada con instrumentación geotécnica y geohidrológica a fin de contar con mayores elementos técnicos.

1.4 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA

Durante el desarrollo de la ingeniería básica, la CFE realizó la instalación de piezómetros abiertos, piezómetros eléctricos, pozos de observación y extensómetros, localizados con base a las condiciones geotécnicas, geohidrológicas y aspectos de construcción de la lumbrera (tales como medir las presiones de poro por debajo de la losa de fondo, la interconexión túnel lumbrera, zonas acuíferas que interfieran en la obra, entre otros). El Sistema de Auscultación implementado en esta etapa quedo integrado por los instrumentos referidos, lo que permitió determinar el nivel freático, presión de poro, el comportamiento de

los niveles piezométricos, comportamiento del suelo por efectos de la extracción de agua durante el bombeo mediante pozos, además de otros. En la etapa de proyecto ejecutivo realizada por COMISSA, se complementó la instrumentación mediante la instalación de inclinómetros, referencias superficiales y piezómetros eléctricos y abiertos adicionales.

1.4.1 INSTRUMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA BÁSICA

La Instrumentación instalada en la etapa de ingeniería básica (véase siguiente figura), corresponde a un pozo de observación, una estación piezométrica con cinco bulbos y extensómetro de barra. La elevación de la boca de los piezómetros abiertos, pozos de observación y extensómetros de barra están referidos al banco de nivel Atzacalco ubicado en calle Cabo Finisterre, lado poniente, cerca con avenida General Martín Carrera, en la colonia Nueva Atzacalco, delegación Gustavo A. Madero.

SIMBOLOGÍA

PO= POZO DE OBSERVACIÓN
EPZ= ESTACIÓN PIEZOMETRICA CON 5 BULBOS
EXT=EXTENSOMETROS DE BARRAS



Figura 13.- Ubicación de la instrumentación de la Ingeniería Básica en la lumbrera L-12 (Fuente: CFE, 2008).

1.4.1.1 POZO DE OBSERVACIÓN (PO) SOMERO

El instrumento permite conocer el nivel freático y está integrado de manera general, en este caso, por una serie de tubos de P.V.C., tipo hidráulico cédula 40, los cuales están unidos mediante una conexión con rosca. El arreglo de tubos está ranurado en su parte inferior y la profundidad del barreno está en función del perfil litológico obtenido previamente durante la exploración o, en su defecto, durante la etapa de perforación. El

tubo se acomoda dentro de la perforación y el espacio anular entre el barreno y el tubo se rellena totalmente con un filtro de grava de ¼” de diámetro. En las siguientes figuras se muestra el diseño del pozo de observación. La primera lectura corresponde con un nivel estático de 12.51m realizada el 13 de agosto de 2008 y de 12.68m para el día 1 de septiembre de 2018.

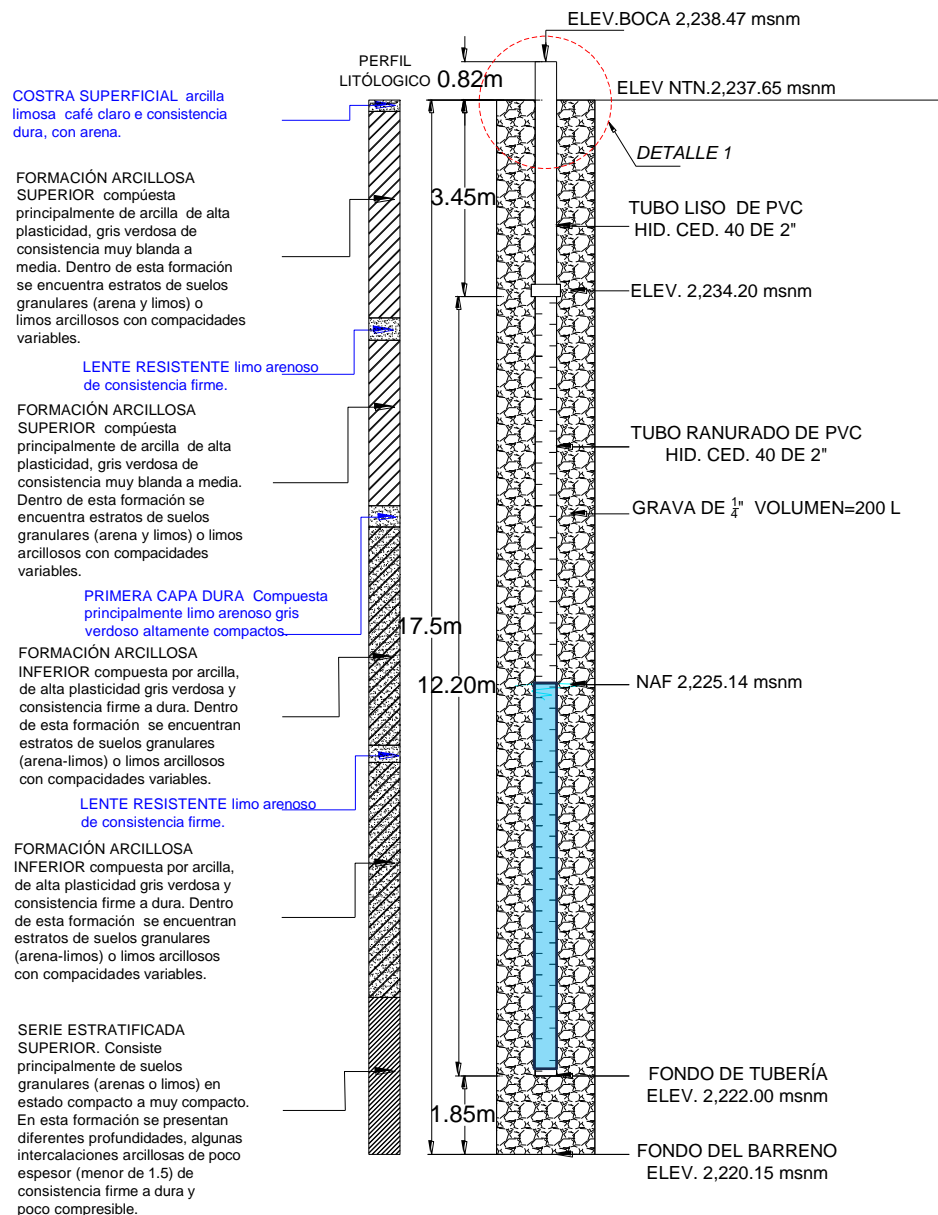


Figura 14.- Diseño de pozo de observación (POL-L12-01) para la lumbrera L-12 (Fuente: CFE 2008, readecuado por S. González 2023).

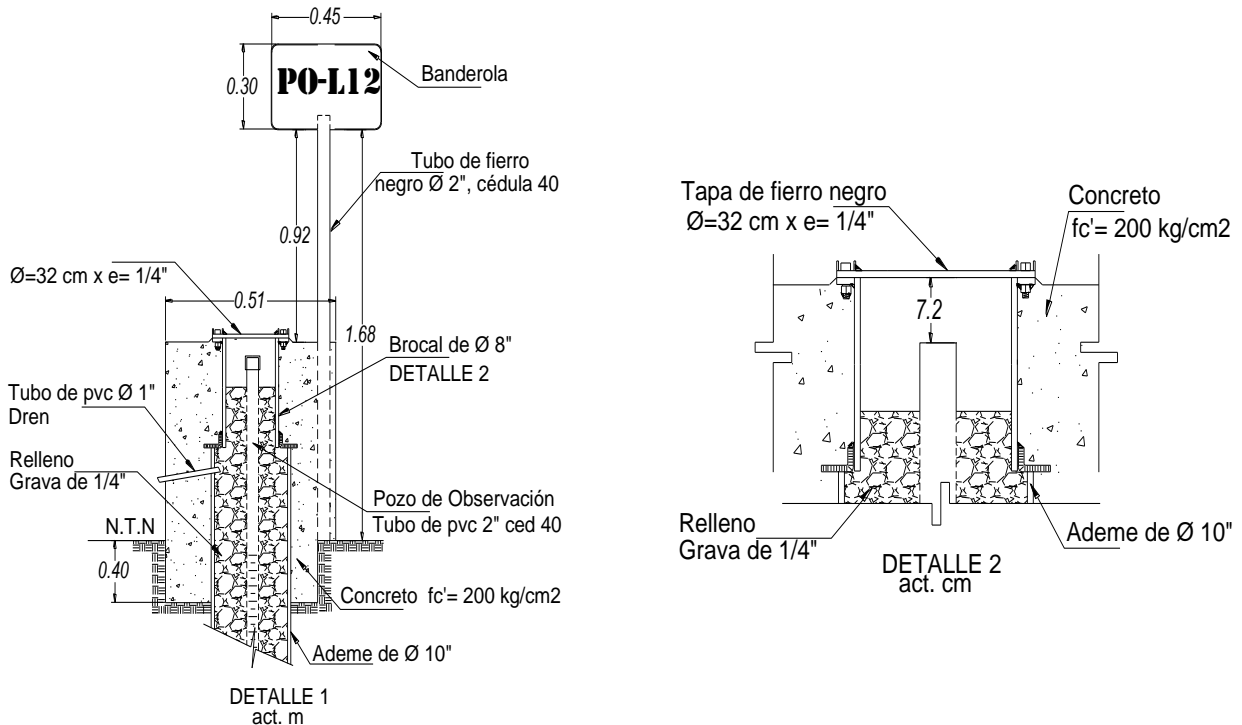


Figura 15.- Diseño de pozo de observación para la lumbrera L-12 y detalles constructivos (Fuente: CONAGUA-CFE, 2008).

1.4.1.2 ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA

La estación piezométrica abierta está conformada por cinco bulbos aislados en un solo barreno (véase siguiente figura). El piezómetro abierto, permite conocer el nivel del agua subterránea y la presión del agua dentro de un punto específico del subsuelo, que corresponde a la ubicación del bulbo piezométrico. Está formado básicamente por una serie de tubos de PVC de 1" de diámetro de tipo hidráulico cédula 40, unidos con coples del mismo material, y en su parte inferior lleva un tramo ranurado de 1,0 m de longitud (bulbo), cuya posición dentro del barreno está en función del perfil litológico obtenido durante una exploración previa y/o durante la etapa de perforación. La cámara piezométrica del instrumento está formada con un filtro de grava alrededor del bulbo; seguida de materiales arenosos de transición y finalmente de un tapón de lechada de cemento.

Cabe mencionar, que en los pozos de observación y en piezómetros abiertos, la toma de lecturas del nivel se lleva a cabo mediante una sonda piezométrica que consta de un sensor de bronce, cinta conductora graduada en milímetros con longitud de 0 a 150 m, acoplada a un carrete con dispositivo de señal acústica y luminosa.

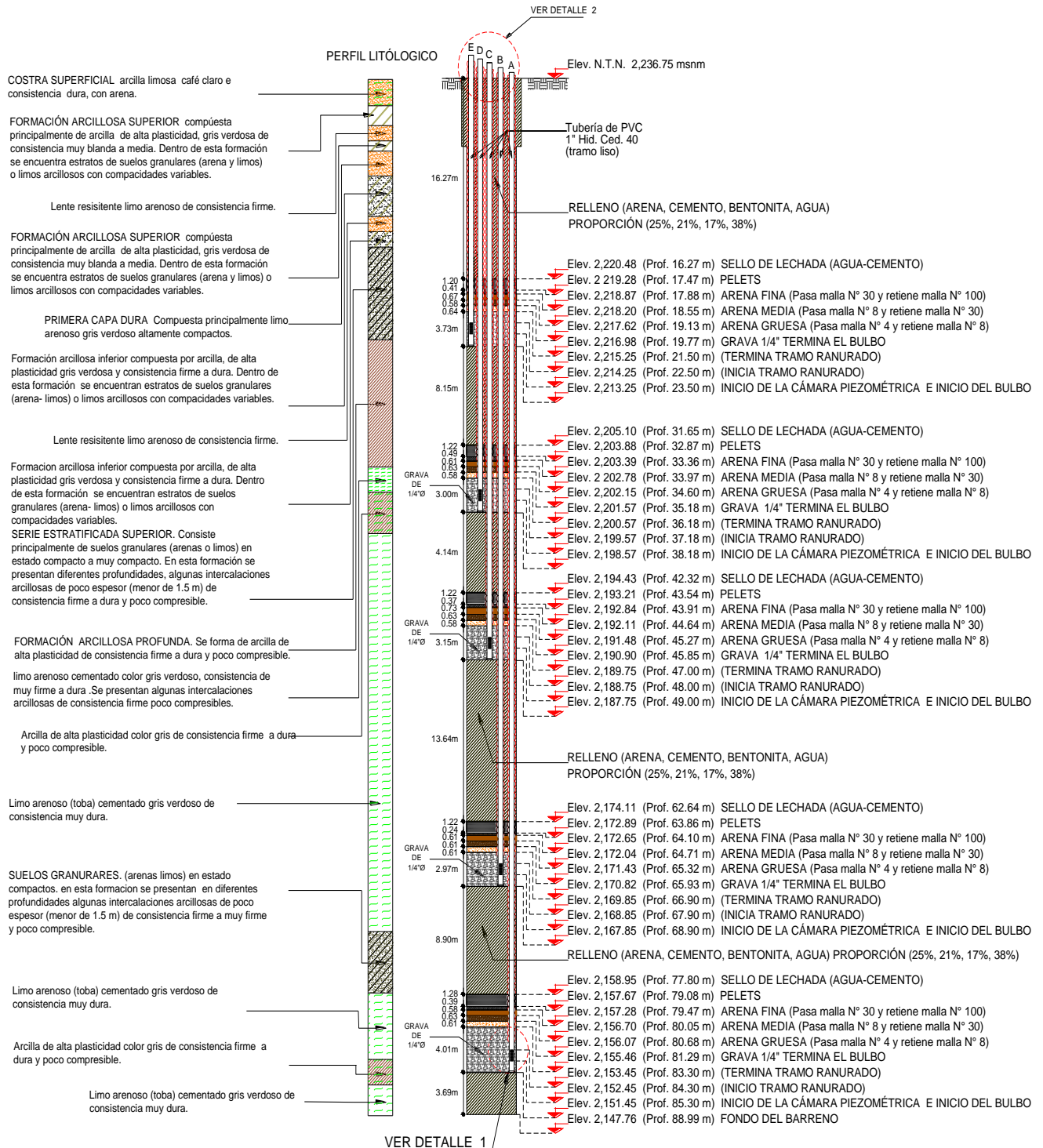


Figura 16.- Diseño de estación piezométrica con 5 bulbos para la lumbrera L-12 (Fuente CONAGUA-CFE, 2008).

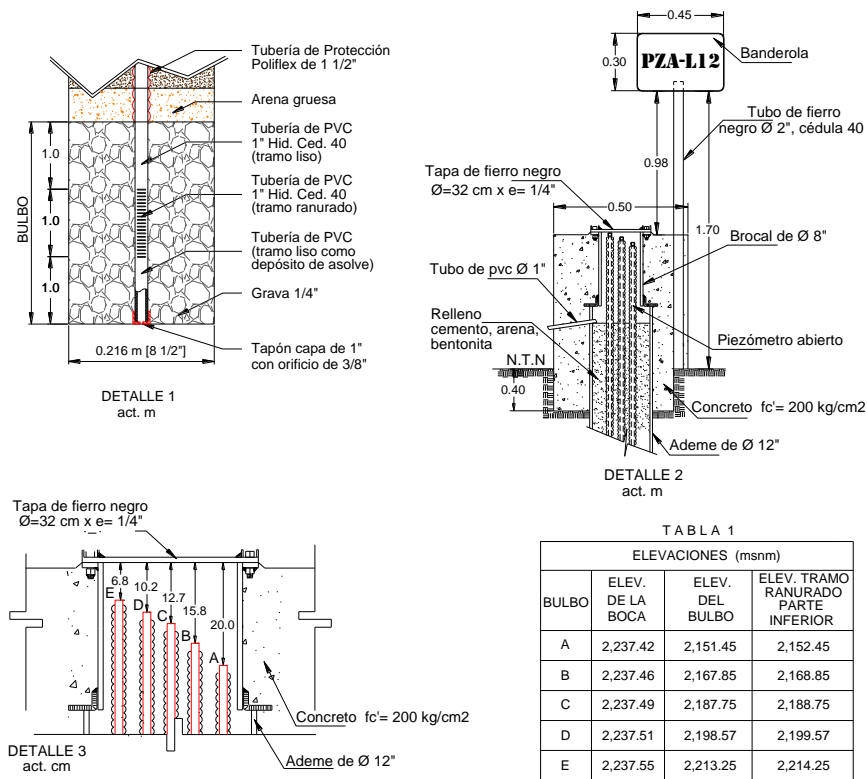


Figura 17.- Diseño de estación piezométrica con 5 bulbos para la lumbrera L-12 y detalles de construcción (Fuente: CONAGUA-CFE, 2008).

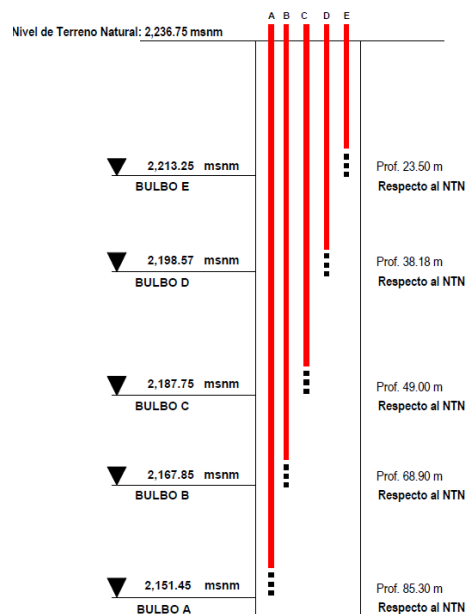


Figura 18.- Profundidades de los piezómetros de la estación piezométrica con 5 bulbos (Fuente: CONAGUA-CFE, 2008).

Los registros con fecha del 1 de septiembre de 2008 indican las siguientes lecturas para cada piezómetro.

Nomenclatura	Instrumento	Profundidad al nivel piezométrico (m)	Presión de poro (t/m ²)
PZAL-L12-C-01 (Bulbo A)	Piezómetro abierto	47.34	37.96
PZAL-L12-C-02 (Bulbo B)	Piezómetro abierto	44.46	24.44
PZAL-L12-C-03 (Bulbo C)	Piezómetro abierto	41.34	7.66
PZAL-L12-C-04 (Bulbo D)	Piezómetro abierto	24.95	13.23
PZAL-L12-C-05 (Bulbo E)	Piezómetro abierto	12.72	10.78

Tabla 6.- Lecturas de la estación piezométrica con 5 bulbos (Fuente: CFE, 2008).

1.4.1.3 EXTENSÓMETRO DE BARRAS (EXT)

Este tipo de extensómetro permite obtener el asentamiento de los estratos de interés a través del tiempo de manera puntual en la zona donde se ubican las anclas. En este caso, está conformado por barras de aluminio de 3/8” de diámetro acopladas con un espárrago de 1/4”. En el extremo superior se coloca la terminal de medición y en el extremo inferior de la barra es colocada el ancla, la cual está constituida por un tramo de varilla corrugada de 3/4” con rosca. Una vez que la barra tiene la longitud requerida es protegida con manguera poliflex de 1/2”, con el fin de que la barra quede libre del contacto con el suelo y solo registre el asentamiento presentado en el sitio de interés donde se colocó el ancla. Después de introducir el extensómetro en el barreno, se cementa el ancla con una lechada agua-cemento y con esto anclar el extensómetro. El barreno es rellenado con agua-cemento-bentonita y por último se coloca un cabezal de medición en el cual se realizan las mediciones. En la siguiente figura se muestra el diseño del extensómetro para la lumbrera L-12.

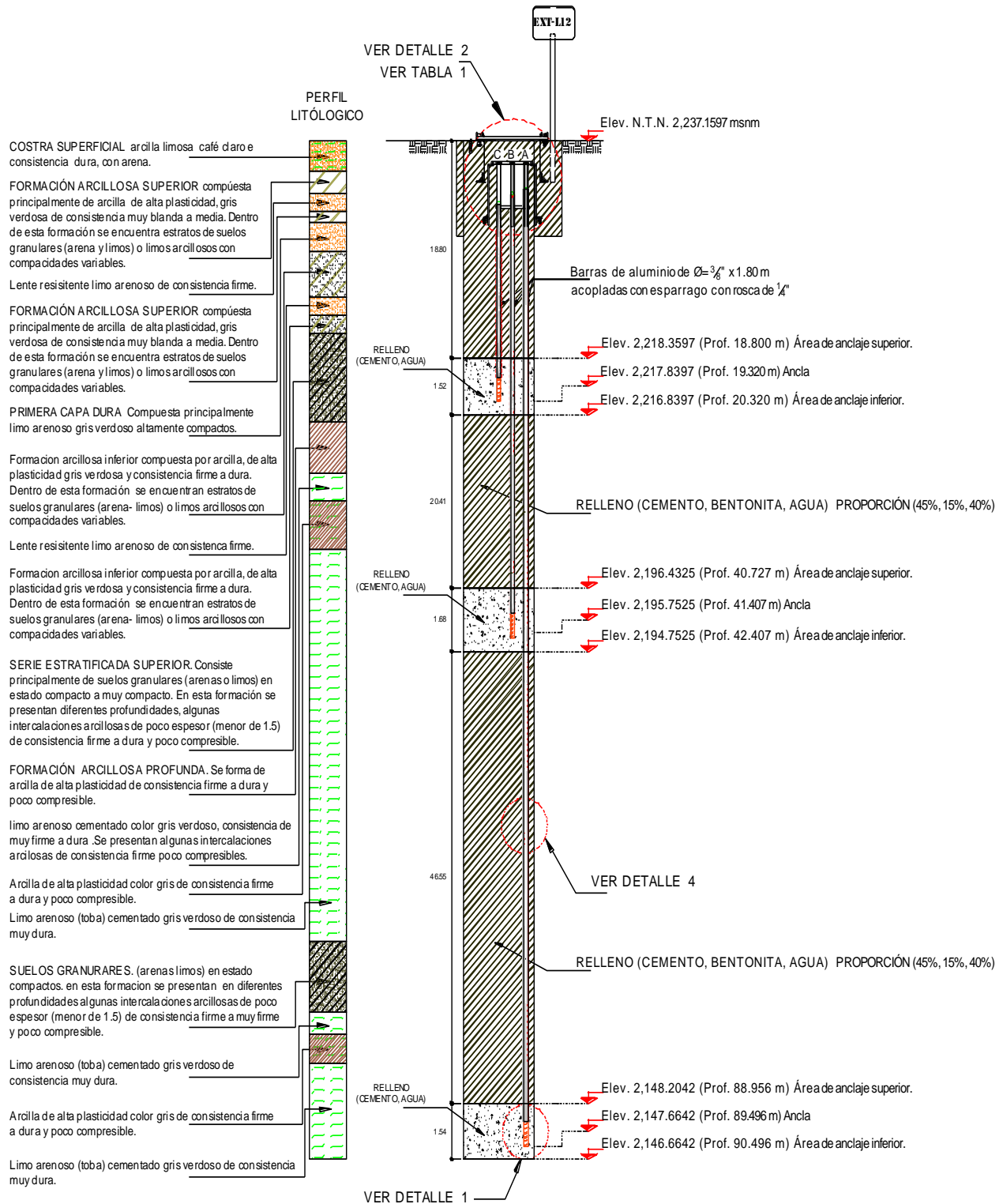


Figura 19.- Diseño de extensómetro de barras con 3 anclas para la lumbrera L-12(Fuente: CONAGUA-CFE, 2008).

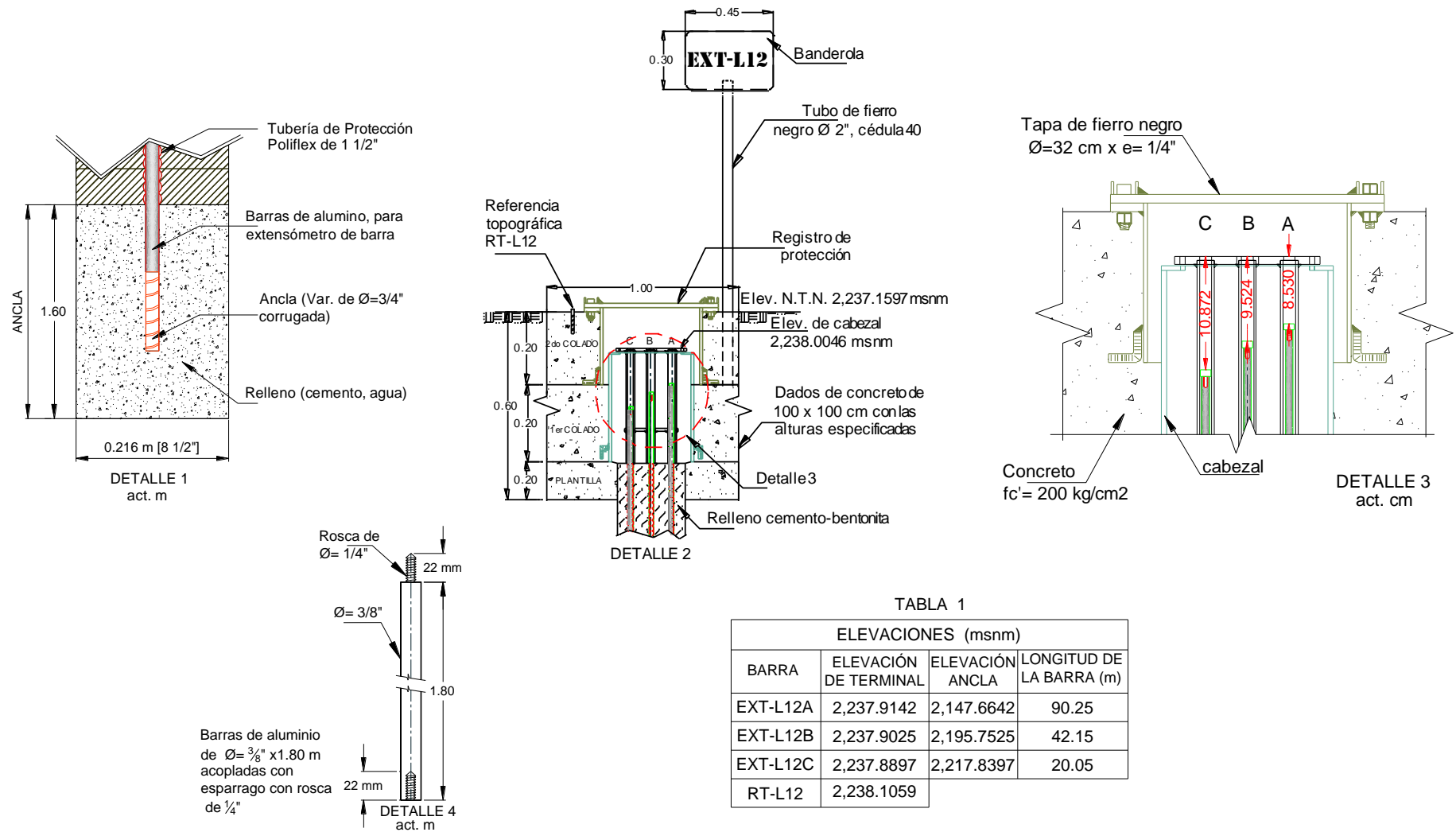


Figura 20.- Diseño de extensómetro de barras con 3 anclas para la lumbrera L-12 y detalles constructivos (Fuente: CONAGUA-CFE, 2008).

1.4.2 INSTRUMENTACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO

Para el proyecto ejecutivo se consideró la instalación inicial de instrumentos, consistente en cuatro inclinómetros IN 01, IN 02, IN-03 así como IN-04, dos piezómetros abiertos (PZA C-01 proyectados a 95m de profundidad y PZA C-02 considerado a 45m de profundidad, el primero ubicado por debajo de la losa de fondo de la lumbrera y el segundo en la interfase de muro Milán y la excavación convencional), 16 referencias superficiales tipo mojonera y 4 pernos con cruz, de acuerdo con el arreglo en planta indicado en la siguiente figura. La instrumentación se complementó con instrumentos adicionales (los cuales se indican a posteriori) durante el desarrollo de la obra, de acuerdo con las condiciones encontradas durante la ejecución de los trabajos de construcción de la lumbrera.

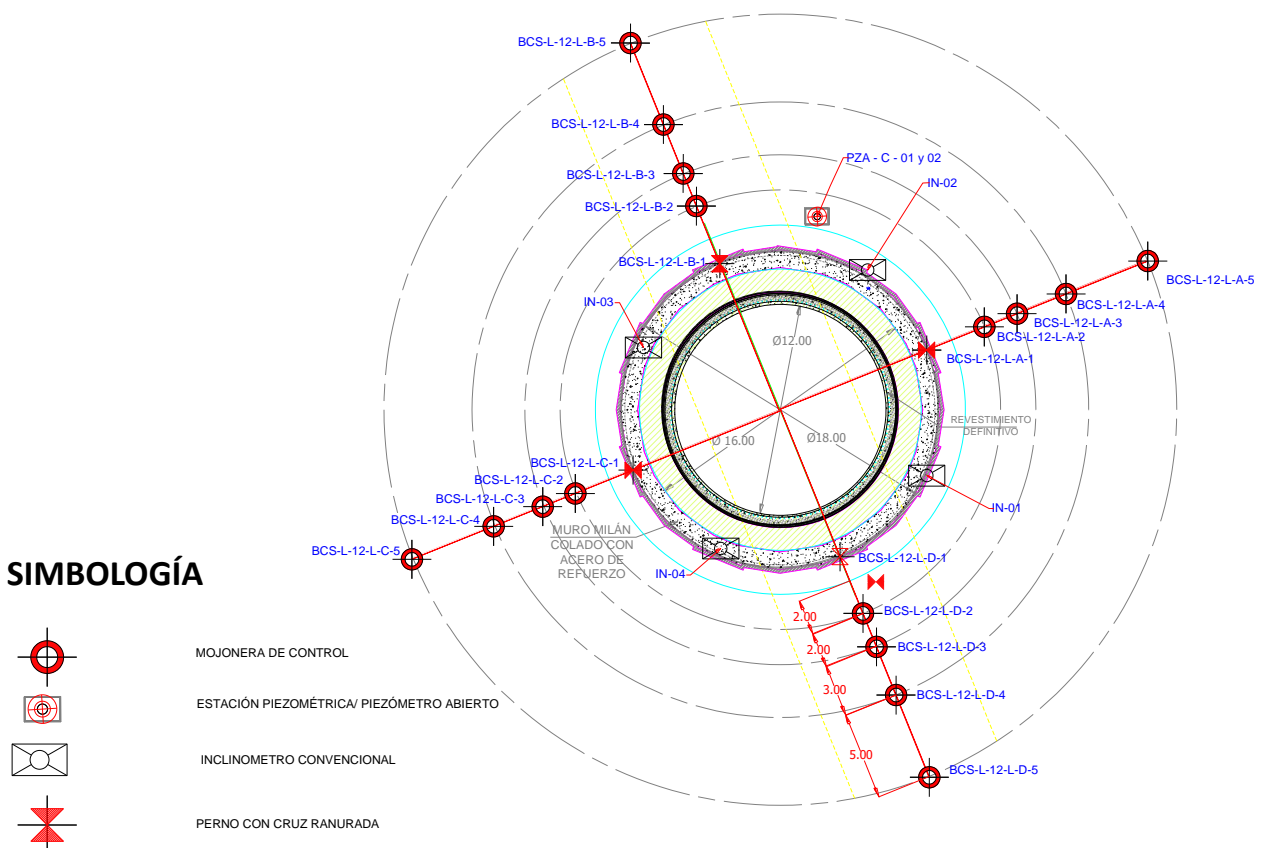


Figura 21.- Sembrado de instrumentos para la lumbrera L-12 acorde al proyecto ejecutivo (Fuente: CONAGUA).

1.4.2.1 INCLINÓMETROS (IN)

Los cuatro inclinómetros, previstos en el proyecto ejecutivo, dos se instalaron a 42m de profundidad (INC-L12-02 y INC-L12-04) y los otros dos a 92.5m de profundidad (INC-L12-01 y INC-L12-03). Los primeros

se colocaron dentro del muro Milán de la lumbrera y los más profundos se construyeron dentro de muro Milán, pero continúan en la misma dirección hasta su profundidad proyectada. Los inclinómetros permitieron: a) obtener información del comportamiento del suelo, derivado de la extracción de agua mediante pozos de abatimiento, b) además los inclinómetros a 42 m de profundidad permitieron medir el comportamiento real del muro Milán durante la excavación y c) los inclinómetros profundos, se pudo obtener el comportamiento del suelo bajo el muro Milán, durante la excavación con método convencional. Estos dos últimos incisos (b y c), no son objeto de los alcances del presente trabajo.

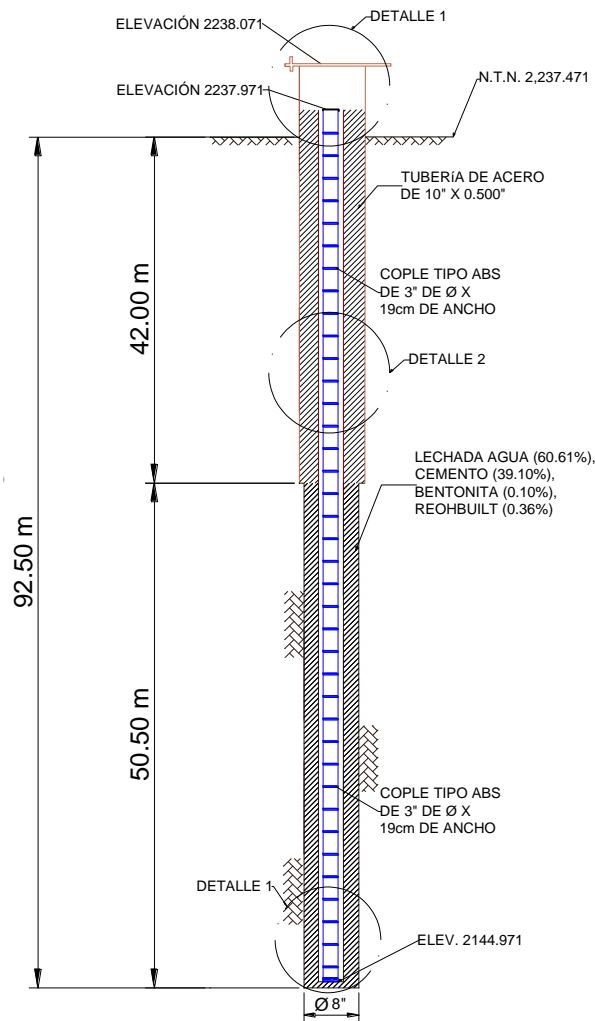


Figura 22.- Diseño de inclinómetro para la lumbrera L-12 (Fuente: COMISSA, 2011).

Se instalaron tubos de reservación dentro de los armados de muro Milán, asegurando la firme fijación de estos al acero de refuerzo. Para los inclinómetros a 92.5 m de profundidad, los tubos de reservación llegaron hasta 42 m de profundidad y fueron sellados en su parte inferior y con una tapa en su parte superior. Una

vez instalados los tubos de reservación y concluida la construcción del panel de muro Milán correspondiente, se realizó la re-perforación desde 42 m y hasta 92.5 m para los inclinómetros profundos.

CONFORMACIÓN DEL INCLINÓMETRO DENTRO DEL BARRENO

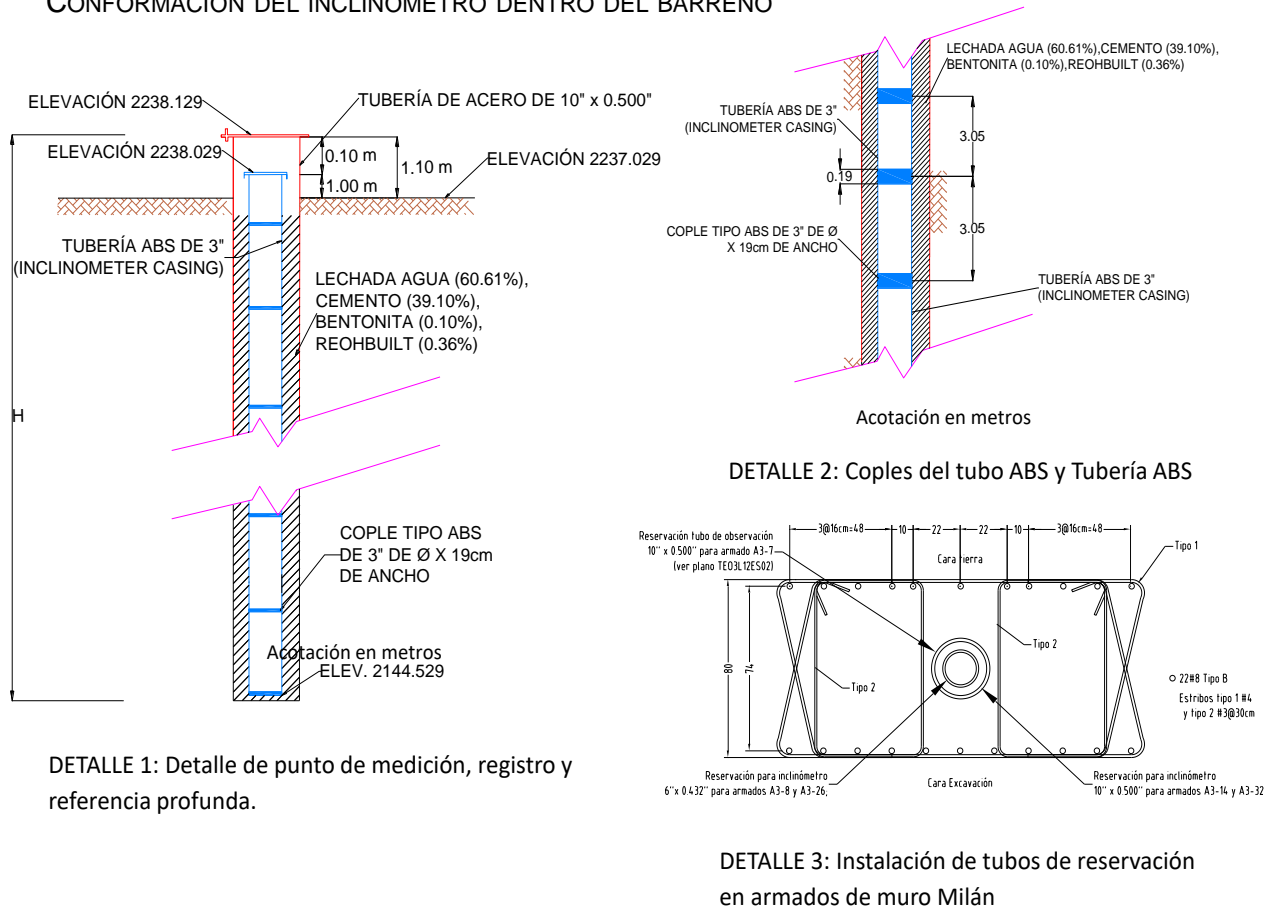


Figura 23.- Diseño de inclinómetro para la lumbrera L-12 y detalles de su construcción (Fuente: CONAGUA-COMISSA, 2011)



Figura 24.- Colocación de tubería para inclinómetro en muro Milán y brocal.

1.4.2.2 REFERENCIAS SUPERFICIALES

Con el propósito de medir posibles efectos relacionados con el hundimiento por la extracción de agua subterránea, se realizó la instalación de referencias superficiales tanto en terreno natural como en los muros Milán de la lumbrera. El diseño de las referencias se muestra en las siguientes figuras.

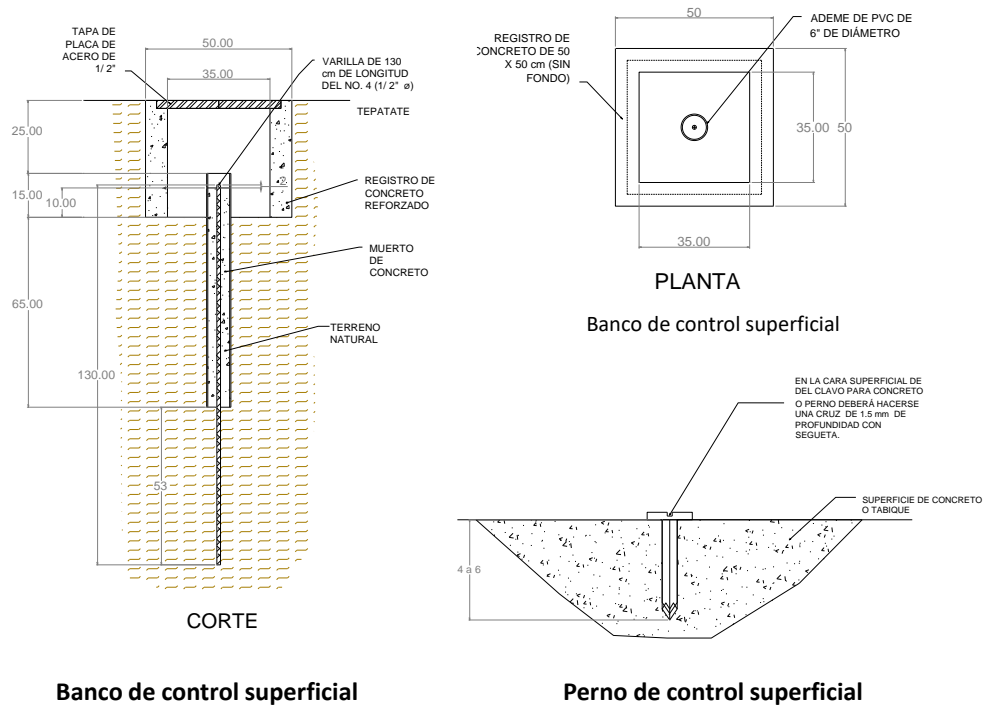


Figura 25.- Diseño de referencias topográficas para la lumbrera L-12 (Fuente: CONAGUA).

Las mojoneras o bancos de control superficial se instalaron en terreno natural y los pernos en el muro Milán, esto de acuerdo con el arreglo geométrico, indicado en el apartado referente a instrumentación del proyecto ejecutivo.

1.4.2.3 PIEZÓMETROS ABIERTOS COMPLEMENTARIOS

Se realizó la instalación de dos piezómetros abiertos tipo Casagrande a los cinco adicionales instalados en la ingeniería básica, los cuales se denominaron PZAL-L12-C-06 y PZAL-L12-C-07, instalados a 95m y a 45m de profundidad, respectivamente. Los registros al 19 de julio de 2010 indican que la profundidad al nivel piezométrico correspondía a 67.5m para el primer instrumento y 36.5m para el segundo instrumento. Las presiones de poro para cada caso fueron de 28 t/m² y de 9 t/m². Cabe mencionar que para las fechas indicadas ya se había iniciado la operación del sistema de bombeo de la lumbrera L-12.

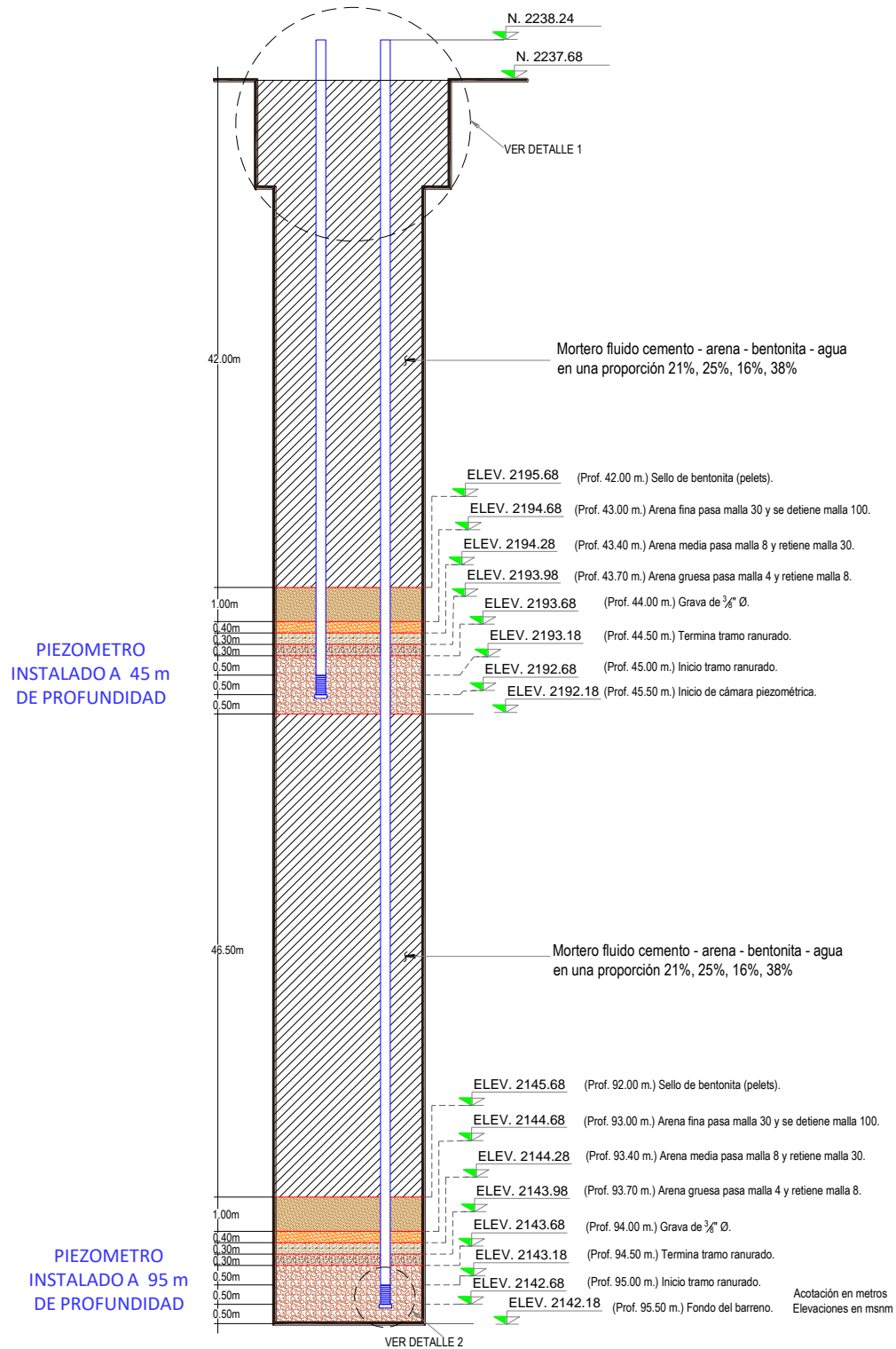
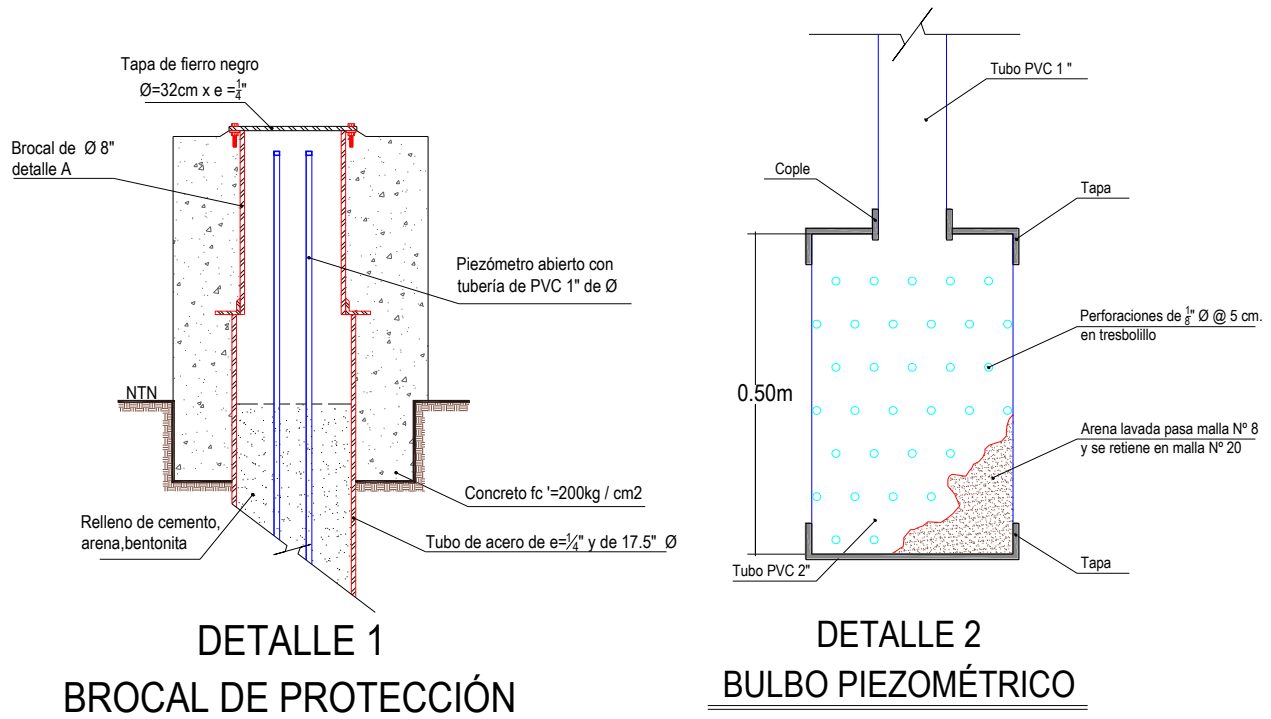


Figura 26.- Diseño de estación piezométrica complementaria con dos bulbos (Fuente CONAGUA-COMISSA, 2010).



ELEVACIONES (msnm)		
BULBO	ELEV. DE LA BOCA	ELEV. DEL BULBO
01	2238.24	2142.68
02	2238.24	2192.68

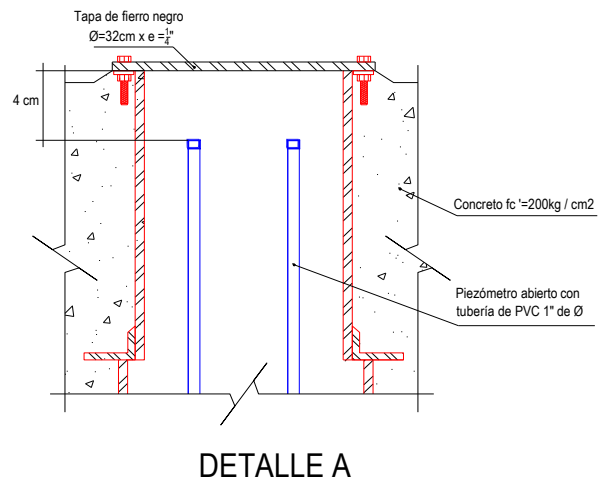


Figura 27.- Diseño de piezómetro abierto complementario de proyecto ejecutivo y detalles de construcción (Fuente CONAGUA-COMISSA, 2010).

1.4.2.4 POZO DE OBSERVACIÓN PROFUNDO

Se llevó a cabo la instalación de un pozo de observación adicional al existente realizado en la ingeniería básica. El instrumento fue instalado a una profundidad de 92.50m y se le asignó el nombre POL-C-L12-02, su lectura inicial corresponde con un nivel estático de 49.36m realizada el 21 de abril de 2011. El pozo de

observación cuenta con tubería de PVC de 2" de diámetro, de los cuales 44m corresponden a tubería lisa (ciega) y 48.50m de tubería ranurada, instalada en un barreno de 12 1/4" de diámetro, con su respectivo filtro granular.

1.4.2.5 PIEZÓMETRO ELÉCTRICO DE CUERDA VIBRANTE

El instrumento correspondiente permite conocer la presión de poro en el punto donde queda instalado el sensor eléctrico. Está integrado por una celda porosa contenida en un tubo metálico sellado herméticamente y dentro del cual existe un transductor de presión de cuerda vibrante que transforma la presión de agua detectada por la celda porosa en una señal eléctrica, misma que será leída a distancia en una unidad de registro manual. El sensor permite en convertir la presión hidrostática a una señal de frecuencia (Hz), vía un diafragma y un alambre de acero a tensión. Este instrumento está diseñado para que un cambio en la presión del diafragma provoque un cambio en la tensión del alambre. Cuando es excitado por una bobina magnética el alambre vibra con una frecuencia natural, la vibración del alambre en la proximidad de la bobina genera una señal de frecuencia que se transmite a un dispositivo de lectura, el cual procesa la señal y despliega una lectura misma que se convierte a unidades de ingeniería, en este caso a kg/cm^2 . Las características técnicas y especificaciones del piezómetro eléctrico se indican en la siguiente tabla.

Característica	Valor
Tipo de sensor	De cuerda vibrante con un termistor incluido para medición de temperatura
Alcances de medición	7 bar, (7.13 kg/cm^2)
Exactitud	± 0.1 % de la escala total
Resolución	0.025 % de la escala total
Presión máxima	10.71 kg/cm^2
Temperatura de operación	-45 0C a 100 0C
Intervalo de operación de temperatura	-10 0C a 50 0C
Material de fabricación	Acero inoxidable
Dimensiones	19 x 195 mm
Cable de señal	Cable blindado con 4 conductores de cobre cal. 22 con camisa de poliuretano
Unidad de medición manual	Con pantalla digital de cristal líquido de cuarzo (LCD), compatible con sensores de cuerda vibrante, RTDs y termistores, con capacidad de realizar más de 2000 mediciones y transferirlas a una computadora personal para procesar la información obtenida.

Tabla 7.- Características técnicas del piezómetro eléctrico (Fuente CONAGUA-COMISSA, 2010).

Se realizó la instalación de un piezómetro eléctrico de cuerda vibrante a 90m de profundidad, el cual se denominó PZEL-L12-01. La primera lectura realizada corresponde al 3 de septiembre de 2010, con una presión de poro de 27.05 t/m^2 . La ficha de instalación correspondiente se indica en la siguiente figura.

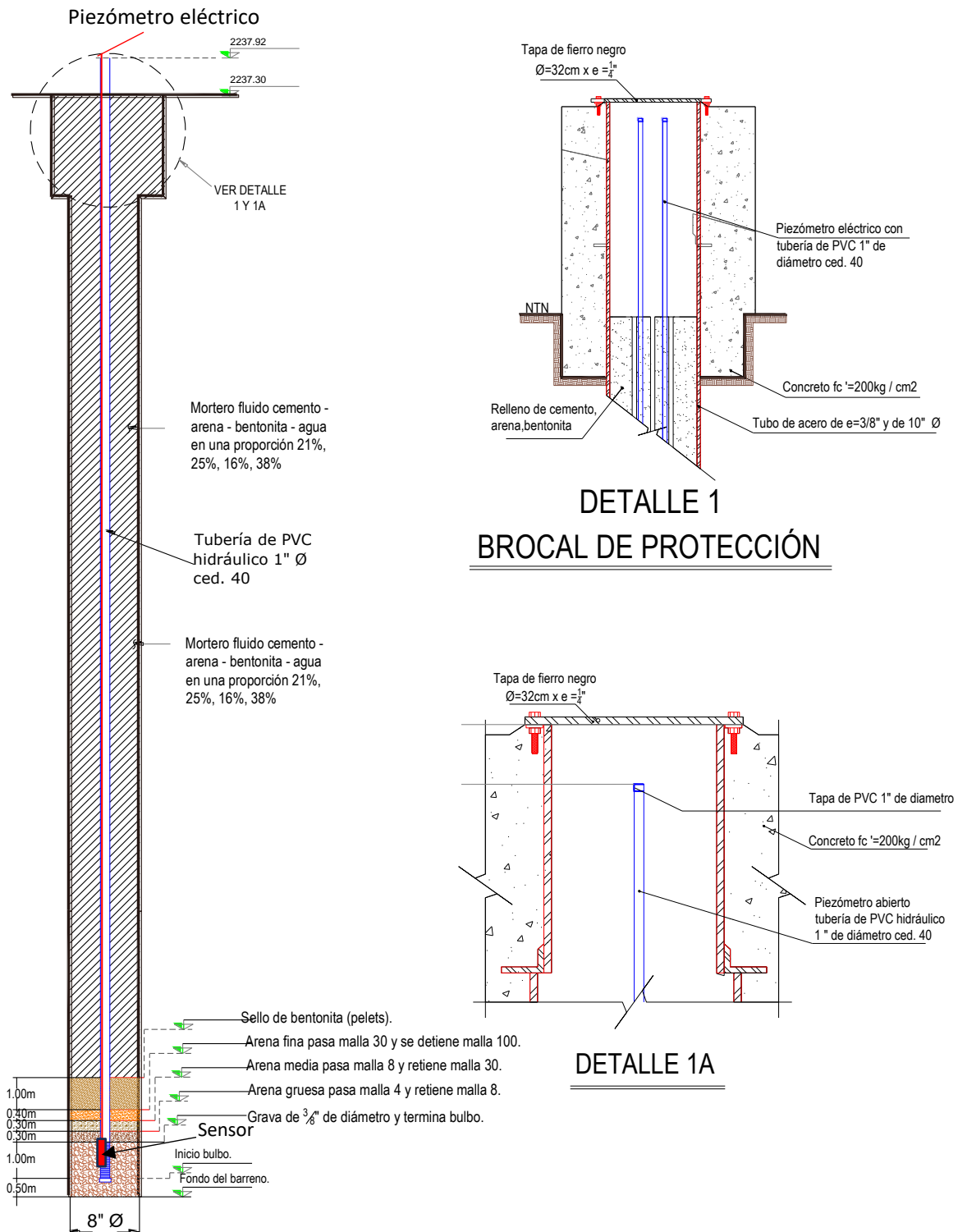


Figura 28- Piezómetro eléctrico de cuerda vibrante y detalles de construcción (Fuente CONAGUA-COMISSA, 2010).

1.4.3 INSTRUMENTACIÓN TOTAL INSTALADA

La instrumentación instalada en la ingeniería básica, proyecto ejecutivo y construcción se muestra en la siguiente figura (se indican las profundidades de instalación de cada instrumento).

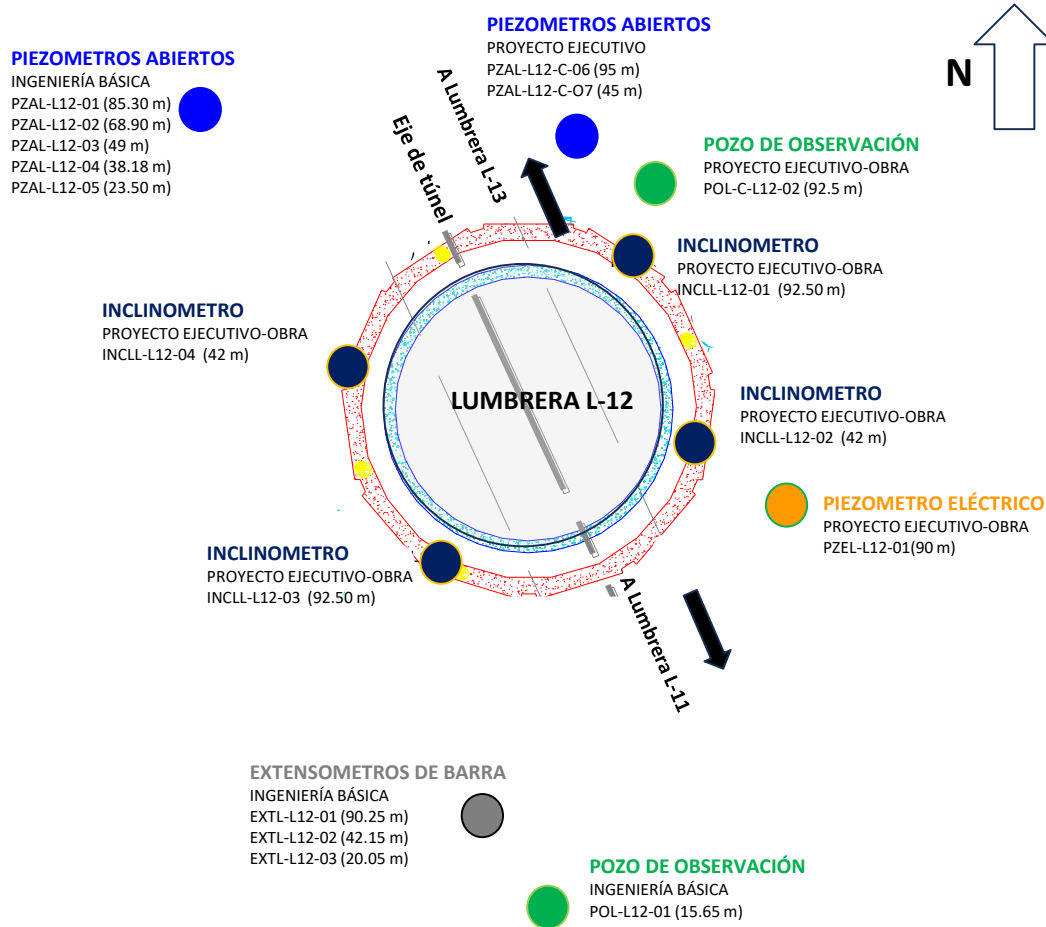


Figura 29.- Sembrado de instrumentación utilizada para la lumbrera L-12 (Fuente: CONAGUA-CFE-COMISSA).

1.5 GEOHIDROLOGÍA

La importancia de este estudio radica en conocer donde se tiene la presencia de agua subterránea en el subsuelo, el orden de magnitud y si esta incide en la construcción de la obra, para poder plantear un manejo adecuado, esto implica contar con una radiografía de la zona, para saber si existe la presencia de acuíferos, acuitardos, estratos permeables, entre otros que aporten agua al sitio de los trabajos donde se planteó llevar a cabo la lumbrera L-12. Entre los alcances de estos trabajos es definir un sistema de bombeo para lograr

abatir las presiones de poro hasta las profundidades requeridas de proyecto. Cabe mencionar que la perforación, construcción y definición del número de pozos de bombeo se realizó en la etapa de proyecto ejecutivo y construcción de la lumbrera L-12.

De acuerdo a lo establecido por la Comisión Nacional de Agua el área de estudio corresponde a la región hidrológica administrativa número XIII “Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala” y en el caso de la lumbrera L-12 esta se ubica dentro el acuífero No.1508, identificado como Cuautitlán-Pachuca, el cual provee de agua subterránea para abastecimiento mediante baterías o ramales de pozos, al Estado de México y cubre en gran parte el suministro para la Ciudad de México, el agua es utilizada para diversos usos (domésticos, industrial y de servicios, entre otros), situación que refleja la presencia de agua en el subsuelo en el sitio de la obra, quedando por saber a qué profundidad y de que ordenes de magnitud.

1.5.1 MARCO GEOHIDROLÓGICO

Conforme a lo indicado en el estudio de Determinación de la Disponibilidad de agua en el acuífero Cuautitlán-Pachuca de la CONAGUA, el acuífero correspondiente se localiza al norte de la Ciudad de México, en el límite sureste del Estado de Hidalgo, comprendiendo alrededor de un 10% de su superficie total al Estado de México y cubre una superficie 2850 km² y de manera regional se identifican los siguientes cuerpos: el superior presenta sedimentos de origen lacustre, material arcillo-arenoso, con presencia de tobas permeables con intercalaciones de derrames lávicos. Le subyace una secuencia de basaltos, brechas y tobas intercaladas con material piroclástico fino, a esta secuencia se le estima una alta permeabilidad. El cuerpo inferior está compuesto por riolitas, dacitas y andesitas del Terciario. Se caracteriza por ser un sistema acuífero semiconfinado y se encuentra actualmente sobreexplotado, motivado por la extracción excesiva de agua subterránea y de pozos construidos de forma ilegal, situación que con el paso de los años ha provocado una depresión piezométrica.

1.5.2 CENSOS DE APROVECHAMIENTOS

Esta actividad permitió contar con información de la zona de interés y en el entorno, lo que permitió obtener datos de los pozos existentes de la zona que indicaran la situación que guarda las aguas subterráneas, entre ellos, datos de profundidad, caudal de producción, piezométricos, entre otras características. Del censo realizado en 2008, se pudo establecer la existencia de diversas baterías de pozos (ramales Ferrocarril, Castera y Los Reyes Ecatepec) cercanas a la lumbrera L-12, además de otros pozos aislados, como se puede apreciar en la siguiente figura, lo que implica la presencia de agua en la zona dada la cantidad de pozos de abastecimiento.

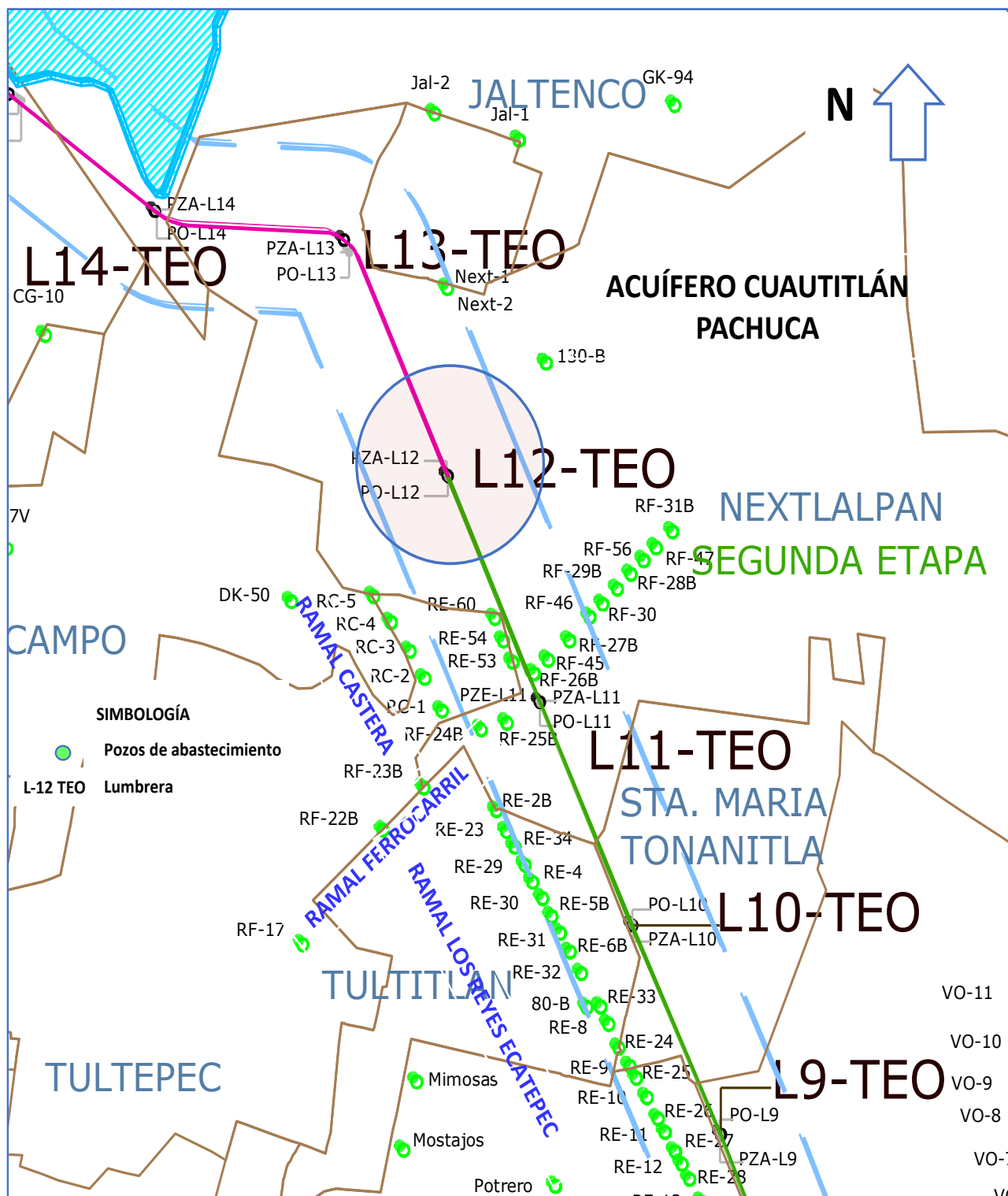


Figura 30.- Censo de pozos (realizado en 2008) en la cercanía de la lumbrera L-12 (Fuente CONAGUA-CFE, 2008 readecuado por S. González, 2023.).

Las profundidades de los pozos de abastecimiento fueron variables, en promedio eran del orden de 250m. En lo que respecta a los caudales de extracción (diciembre de 2007) también eran distintos, de manera general se tiene lo siguiente: a) Ramal Castera los caudales variaron entre 45 l/s y 76 l/s, encontrándose el agua subterránea entre 63m y 66m (nivel estático de los pozos), b) Ramal Ferrocarril, los caudales variaban dependiendo de los pozos, pero estos, se encontraban entre 49 l/s y 93 l/s, detectándose el nivel estático entre 34m y 76.7m de profundidad y c) Ramal Los Reyes Ecatepec, en este caso los gastos máximos eran del orden de 68 l/s, con profundidades de los niveles estáticos diferentes en cada pozo, entre 60m y 80m. Al respecto cabe mencionar que el nivel máximo de excavación de la lumbrera considerada corresponde a los 84.55m, con la información mencionada se puede notar, que la presencia de agua del acuífero (nivel estático de los pozos), es menor que el nivel de excavación, indicativo de la necesidad de realizar bombeo para extraerla durante su construcción. Por otra parte, la lumbrera se construyó mediante procedimiento convencional a partir de los 42m de profundidad, por lo que a partir de este un punto y hasta la profundidad máxima de excavación, se tuvieron filtraciones provenientes de diferentes estratos con permeabilidad y aportación de flujo asociada al acuífero.

1.5.3 PIEZOMETRÍA-PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO

En la siguiente figura se aprecia una configuración local y regional sobre las profundidades del nivel estático de los pozos de abastecimiento en la zona para el año 2008. Destacando que en esas fechas la profundidad del agua asociado al sitio de la lumbrera se detectó entre 60m y 65m de acuerdo con las isocurvas de la figura correspondiente.

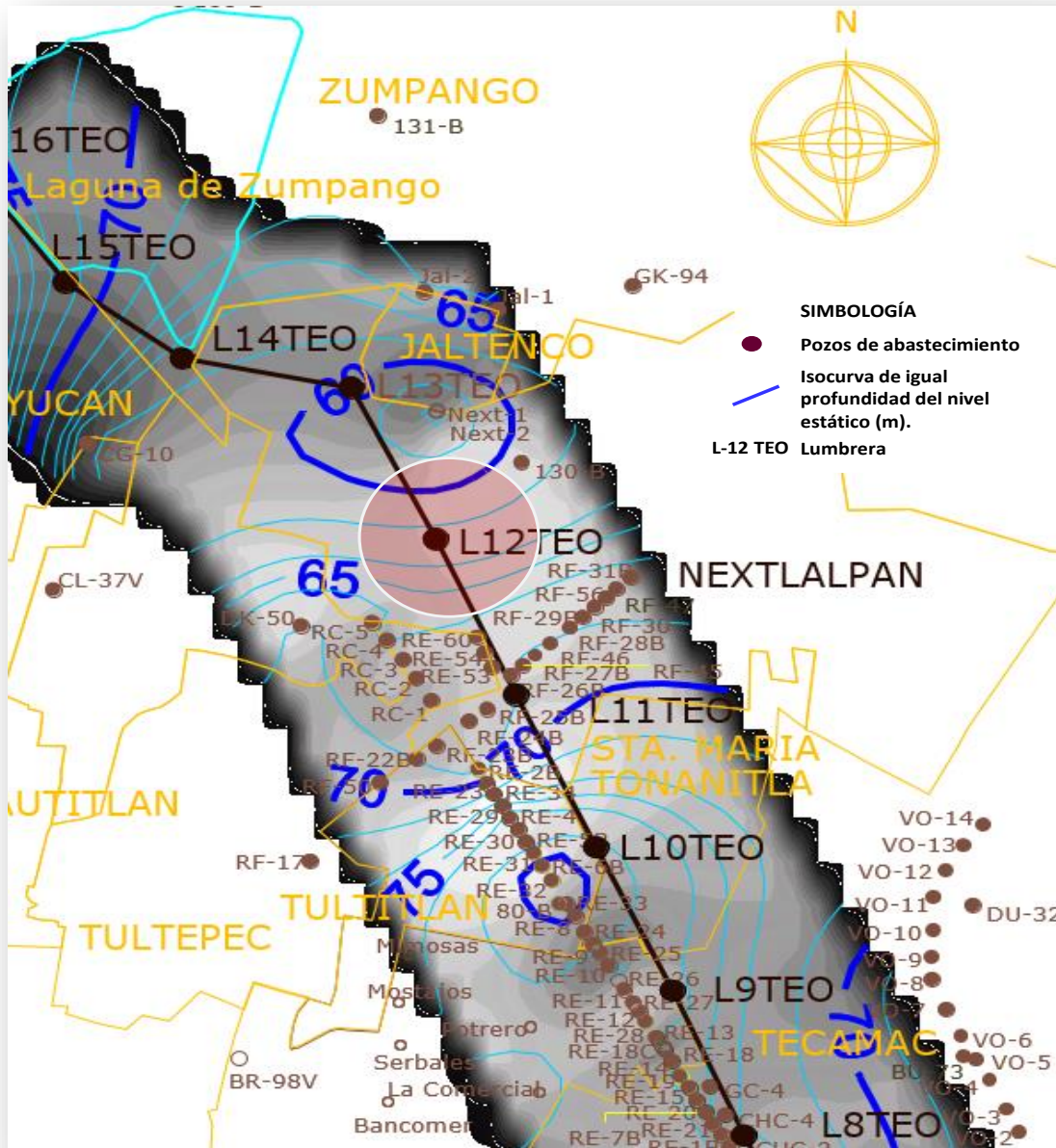


Figura 31.-Configuración de la profundidad al nivel estático 2008 (Fuente: CONAGUA - CFE, 2008 readecuado por S. González, 2023).

1.5.4 PIEZOMETRÍA-ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO Y DIRECCIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO

Con apoyo de las configuraciones de la elevación del nivel estático realizadas en 2008 durante la ingeniería básica, se pudo definir las diferentes direcciones de flujo del agua subterránea para la zona asociada a la lumbrera L-12. En este sentido se puede observar en la siguiente figura, que el sitio de interés se recarga con

agua proveniente de zonas más altas, con dos componentes principales Noroeste (NE) y Noreste (NE) y que incidieron en cuanto a la cantidad de agua presente in situ.

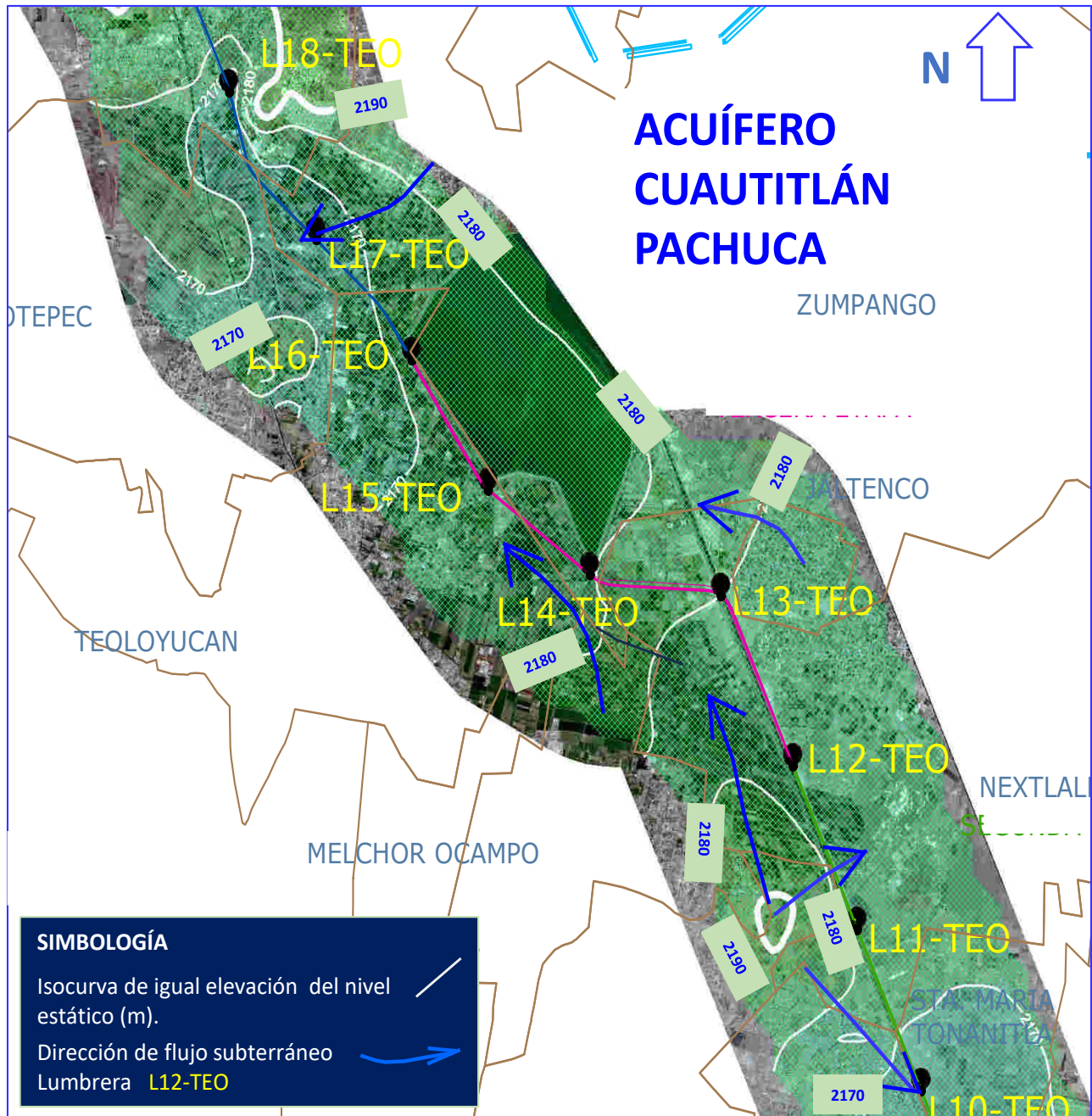


Figura 32.- Configuración de la elevación del nivel estático y dirección de flujo subterráneo 2008. (Fuente: CONAGUA- CFE readecuado por S. González, 2023.).

1.5.5 PIEZOMETRÍA-EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Con base a la información analizada de 1997 a 2007 de 10 años, los abatimientos de los niveles de agua subterránea asociada con mediciones históricas en los pozos de abastecimiento indican valores de hasta 10m, lo que quiere decir que la tasa de abatimiento era de 1m por año. La configuración de la evolución se muestra en las siguientes figuras.

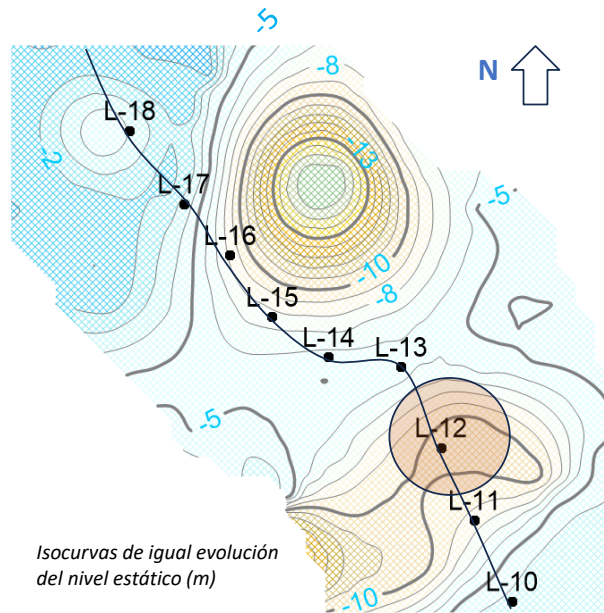


Figura 33.- Configuración de la evolución del nivel estático de 10 años, vista en planta. (Fuente CFE, 2008 readecuado por S. González, 2023.).

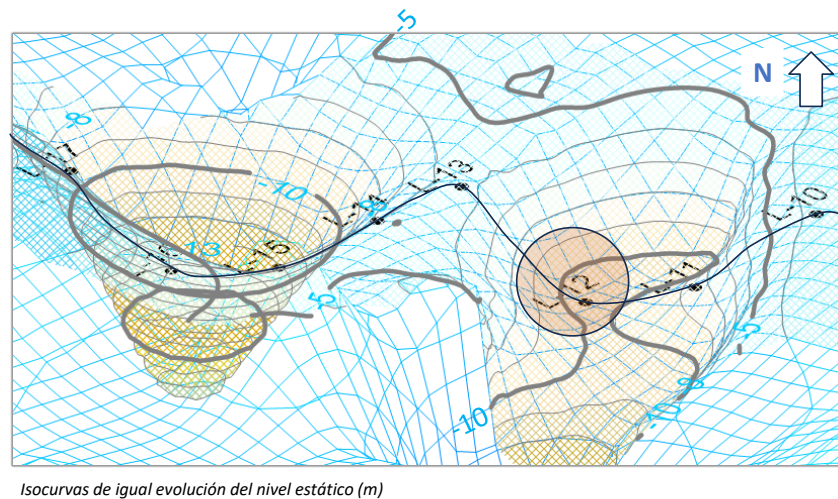


Figura 34.- Configuración de la evolución del nivel estático(años) vista 3D (Fuente CFE, 2008 readecuado por S. González, 2023.).

1.5.6 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL SUBSUELO

Con base a la información obtenida de los diferentes estudios realizados en la ingeniería básica, en la siguiente figura se muestra la distribución de agua en el subsuelo antes del inicio de los trabajos de la construcción de la lumbrera L-12. La información piezométrica mostrada corresponde a marzo de 2009.

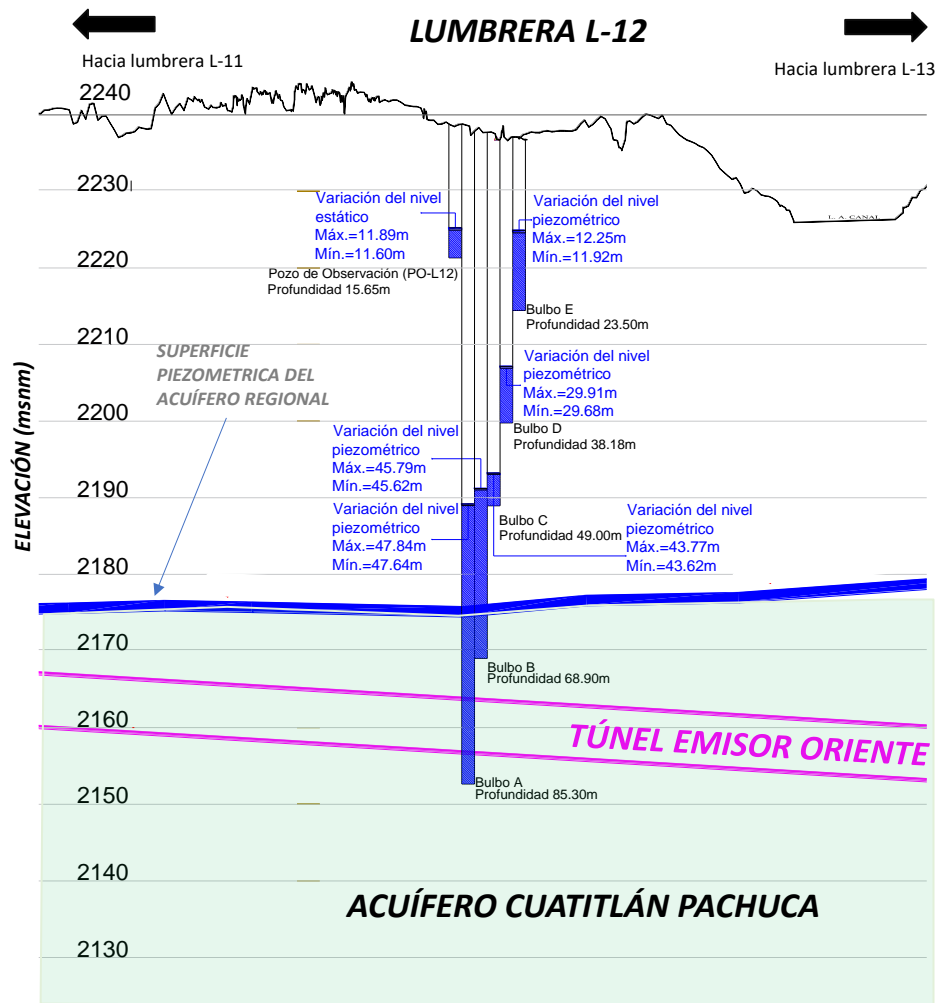


Figura 35.- Distribución de agua en el subsuelo, enero 2009 (CFE readecuado por S. González, 2023).

En la figura anterior se indica que los piezómetros abiertos de la lumbrera L-12 (PZAL-L12-C-01, Bulbo A y PZAL-L12-C-02, Bulbo B), son los que se encuentran en la zona de excavación convencional, interconexión túnel lumbrera y por debajo nivel máximo de excavación de la lumbrera. En este caso las presiones de poro que se tenían se indican en la figura correspondiente, así como la superficie piezométrica asociada al acuífero regional (línea azul), se detectó aproximadamente en la cota 2175 msnm, por arriba del túnel y por la tanto, indicativo de la presencia de agua subterránea.

1.5.7 DISEÑO DE POZOS DE ABATIMIENTO

Derivado de la falta de parámetros hidráulicos en la etapa de ingeniería básica, para diagnosticar la capacidad de producción de los estratos permeables y acuíferos para abatir las presiones de poro hasta niveles adecuados y confiables, se definió en la etapa de proyecto ejecutivo y obra, un sistema inicial que consistió en 6 pozos de bombeo (PB-1 a PB-6) para abatir la presión de poro. La ubicación de estos y sus características se muestran a continuación.

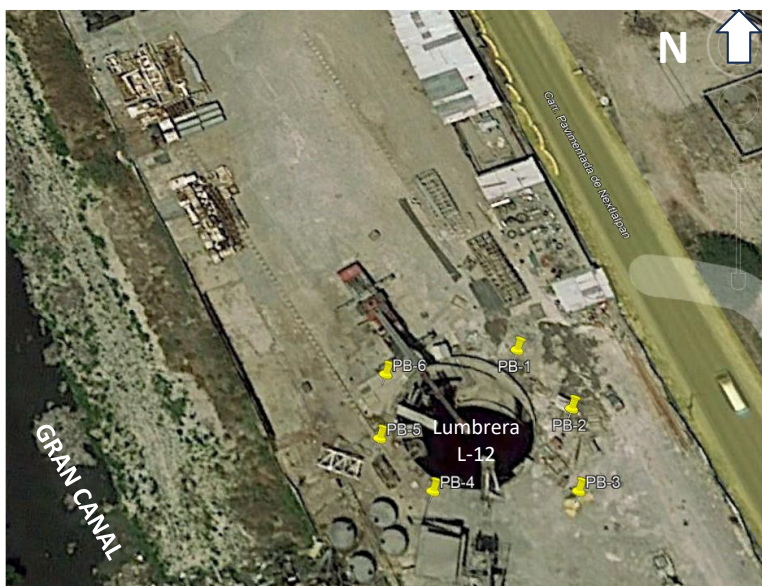


Figura 36.- Ubicación de 6 pozos iniciales de abatimiento de la presión de poro, enero 2010. (Fuente: CONAGUA-COMISSA).

Las características de los pozos construidos (véase siguiente tabla) corresponden con profundidades entre 94m y 101m, con diámetros de perforación 17 1/2", tubería de ademe liso de acero al carbón entre 39.7m y 42.7m de 12" pulgadas de diámetro y tubería de ademe ranurada de acero al carbón de 12" de diámetro entre 51.4m y 61.8, con tapón de fondo de 50 cm de espesor a base de concreto, el filtro para los pozos fue grava de cuarzo redondeada de 1/2" a 1/4". El diseño del pozo PB-3, se muestra en la siguiente figura.

Pozo	Diámetro	Profundidad (m)	Longitud de ademe liso (m)	Longitud de ademe ranurado (m)	longitud de la zona de sello (m)
PB-1	17 1/2"	101	42.7	58.3	38.00
PB-2	17 1/2"	101	42.7	58.3	38.00
PB-3	17 1/2"	95	42.6	52.4	42.00
PB-4	17 1/2"	94	42.6	51.4	40.00
PB-5	17 1/2"	100.2	39.7	60.5	39.00
PB-6	17 1/2"	100.5	39.7	60.8	37.00

Tabla 8.- Características de los pozos de bombeo iniciales (Fuente: CONAGUA- COMISSA).

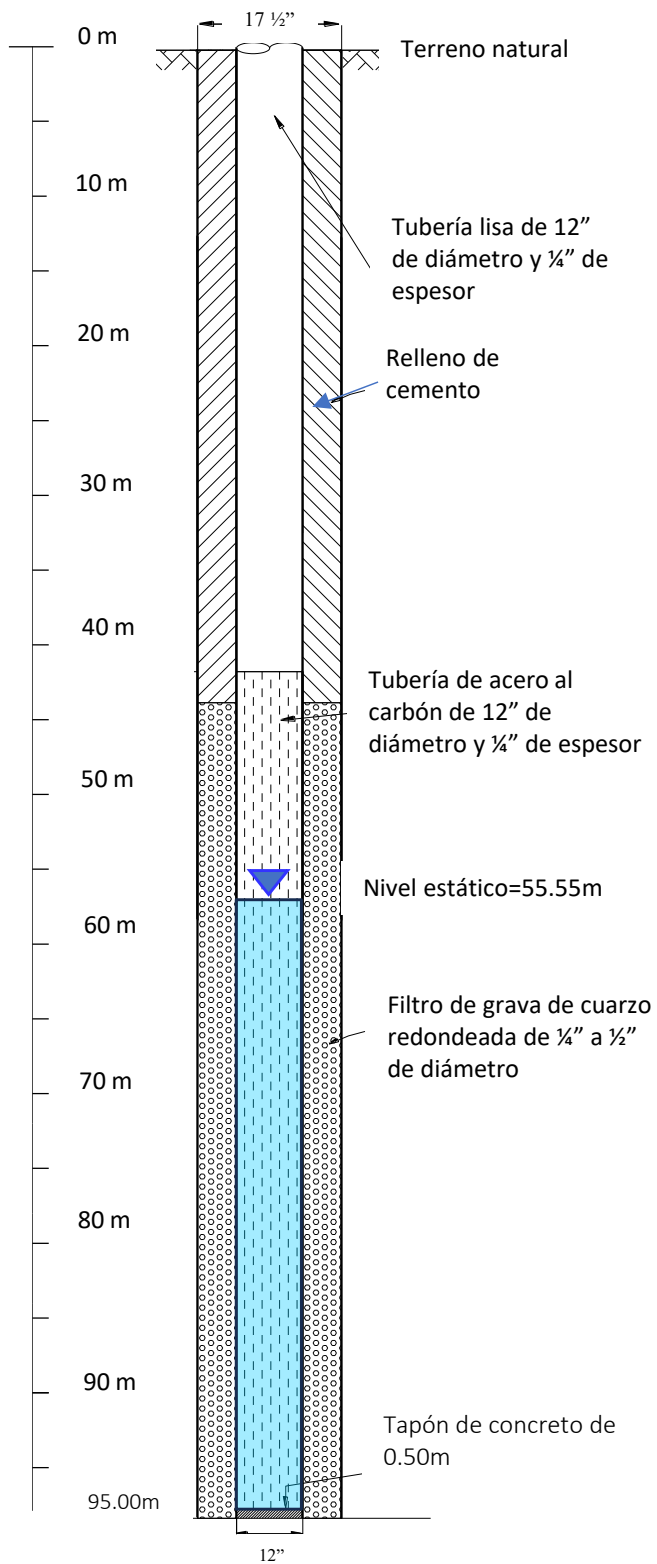


Figura 37.- Diseño del pozo de abatimiento perimetral PB-3(Fuente: CONAGUA- COMISSA).

1.5.8 MÓDULO PARA PRUEBA DE BOMBEO

Los trabajos realizados consistieron en la construcción de un módulo de bombeo constituido por un pozo de prueba (PB-3) y dos pozos de observación de la lumbrera L-12 (PB-2 y PB-4). En este último caso, se aprovecharon los pozos de bombeo como de observación.

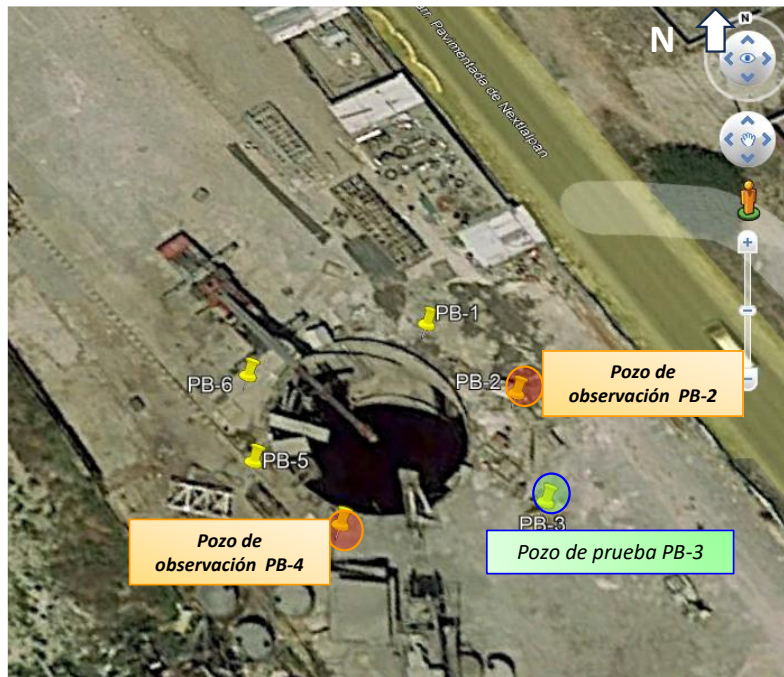


Figura 38.- Módulo de prueba de bombeo inicial para la lumbrera L-12 (Fuente: CONAGUA-COMISSA).

Concluidos los trabajos de construcción del módulo de bombeo (enero de 2010), se instaló en el pozo de prueba PB-3 una bomba de 10" diámetro del tipo 10HC, con una longitud de columna de 92 m con 8" de diámetro y accionada por un motor de combustión interna de 8 cilindros con capacidad para 1000 a 1800 revoluciones por minuto, el equipo de bombeo conto con una salida del tipo orificio calibrado de 8" de diámetro.

Antes del realizar la prueba de bombeo se llevó a cabo el desarrollo del pozo, precediendo al bombeo del mismo con la finalidad de terminar su limpieza mediante la extracción de los residuos de lodos utilizada durante la construcción del mismo y para tener una idea preliminar de los caudales y descensos que presentara el pozo durante los bombeos de prueba, es conveniente indicar que también se realizó la toma de los descensos o variaciones piezométricas en los pozos de observación durante el desarrollo. Para la toma de datos, en el pozo de prueba y los pozos de observación, se utilizaron sensores electrónicos de presión,

los que se programaron para la toma de lecturas a intervalos de tiempo de un minuto, durante la etapa de desarrollo. Terminado el desarrollo del pozo, se iniciaron las pruebas de bombeo.

Las pruebas de bombeo consisten en la toma de datos del nivel estático en el pozo y en cada uno de los pozos de observación antes del inicio del bombeo, realizado lo anterior se colocan los sensores de presión, en el pozo de prueba y los pozos de observación programados a intervalos de tiempo constantes de un minuto a partir del inicio de la prueba de caudal variable. Los resultados de las pruebas de bombeo realizada el 9 de enero de 2010, en el pozo PB-3 fueron los siguientes:

Nivel estático (m)	Caudal (l/s)	Nivel dinámico (m)	Abatimiento (m)	Capacidad específica(l/s/m)
55.55	0.00	55.55	0.00	0.00
55.55	24.61	58.06	2.51	9.80
55.55	32.40	58.79	3.24	10.00
55.55	42.63	60.56	5.01	8.51
55.55	51.24	61.89	6.34	8.08
55.55	55.41	62.77	7.22	7.67
55.55	62.92	66.31	10.76	5.85

Tabla 9.- Resultados del bombeo de la prueba en el pozo PB-3 (Fuente: COMISSA, 2010).

Durante la ejecución de las pruebas realizadas por COMISSA, se obtuvo la sensibilidad sobre el comportamiento de los niveles ante la extracción de agua subterránea (6 caudales) en el pozo PB-3 así como en los pozos considerados como de observación, mismos que se indican en las siguientes figuras.

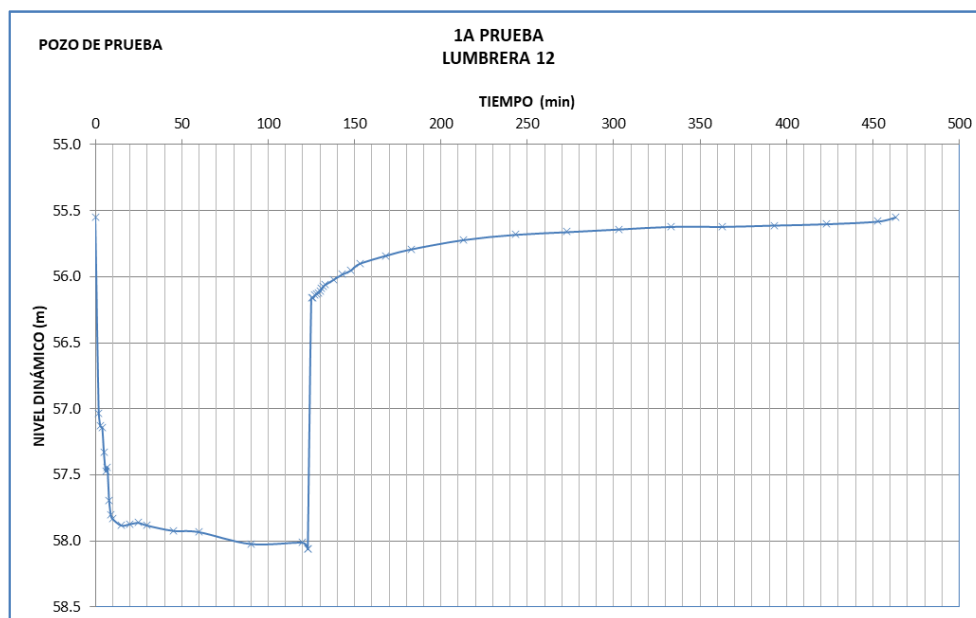


Figura 39.- Comportamiento del pozo PB-3, primera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

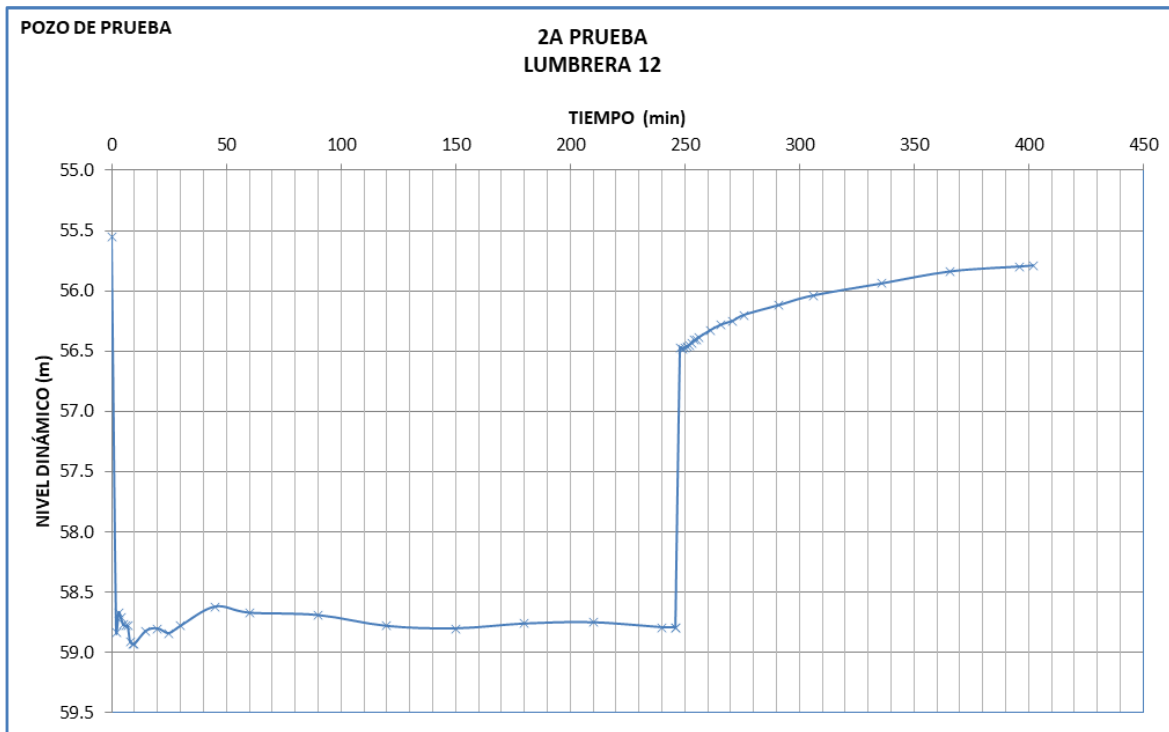


Figura 40.- Comportamiento del pozo PB-3, segunda prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

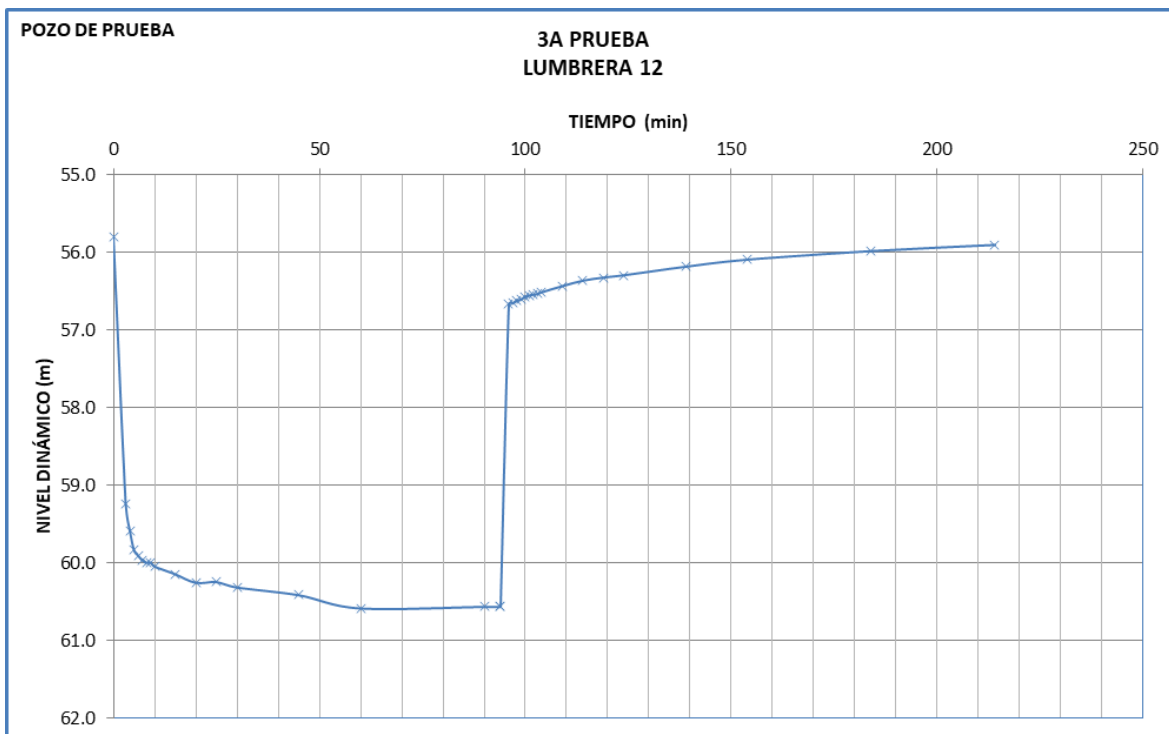


Figura 41.- Comportamiento del pozo PB-3, tercera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

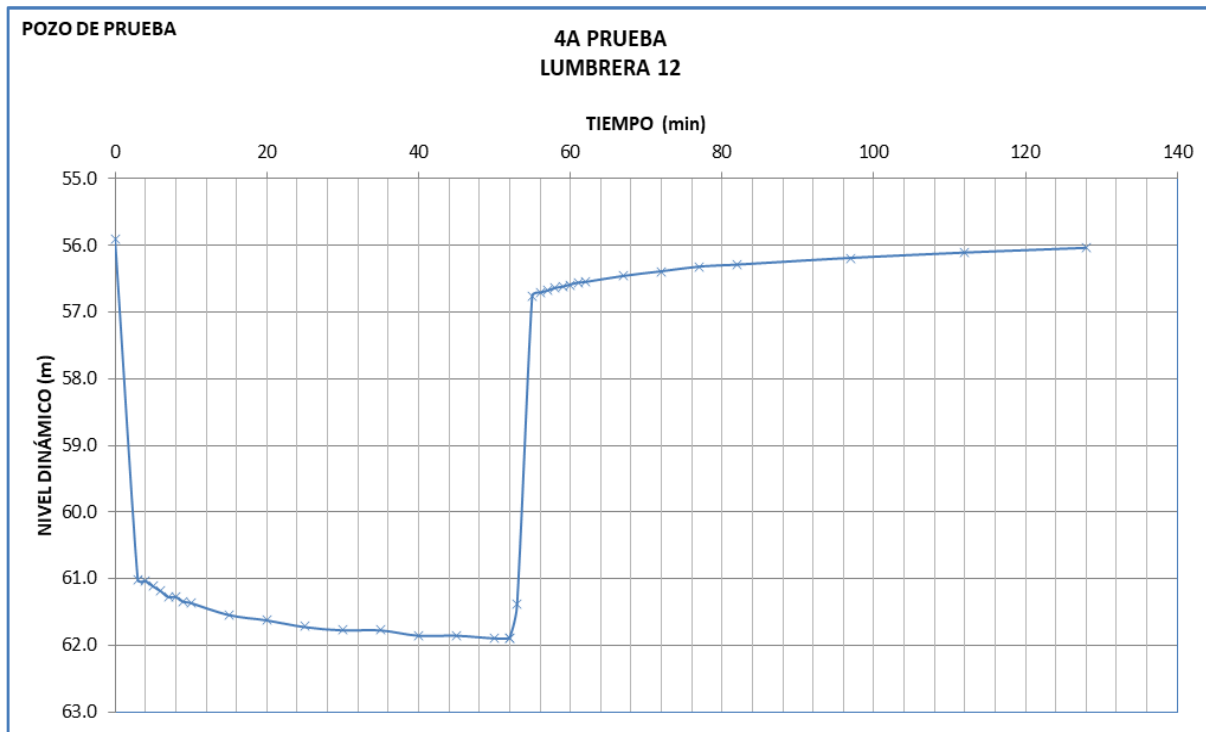


Figura 42.- Comportamiento del pozo PB-3, cuarta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

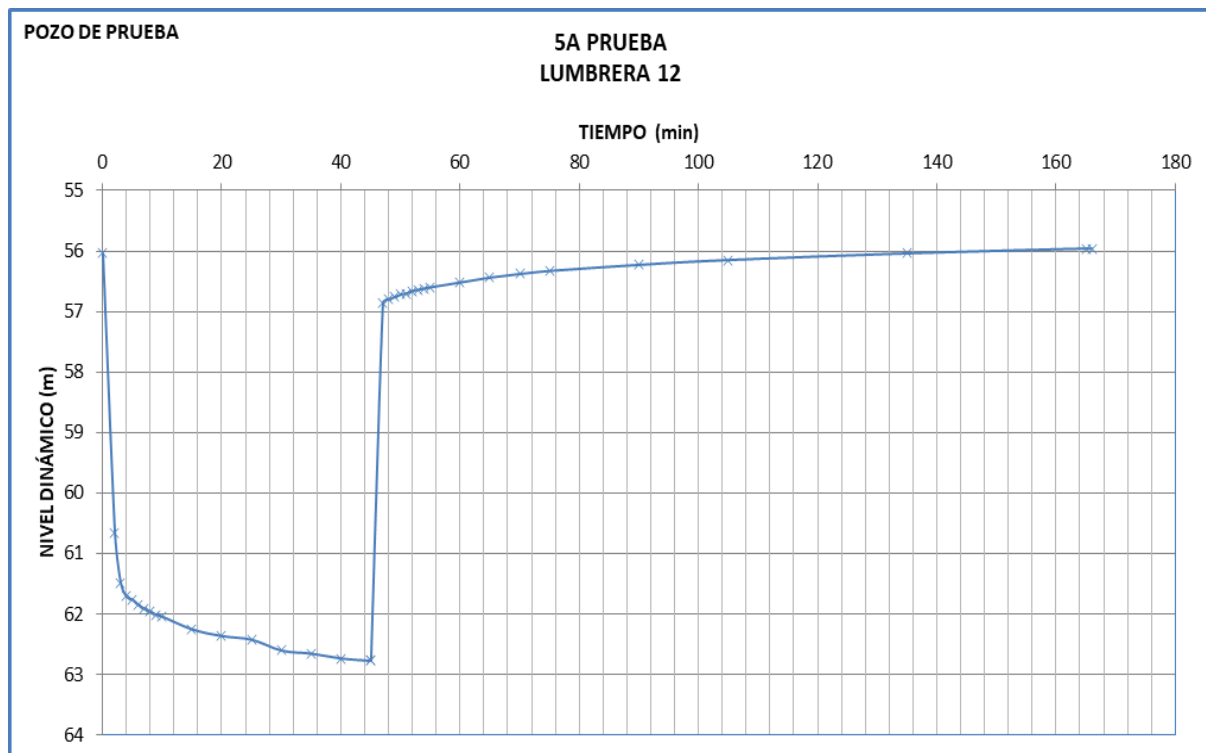


Figura 43.- Comportamiento del pozo PB-3, quinta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

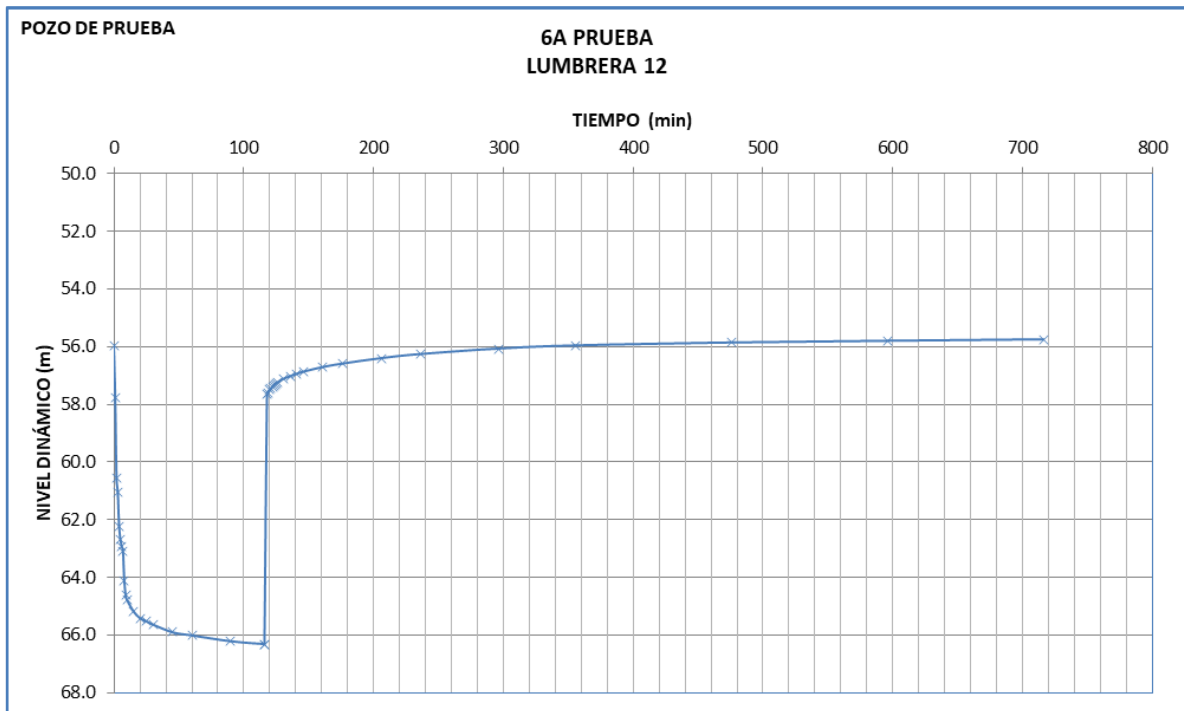


Figura 44.- Comportamiento del pozo PB-3, sexta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

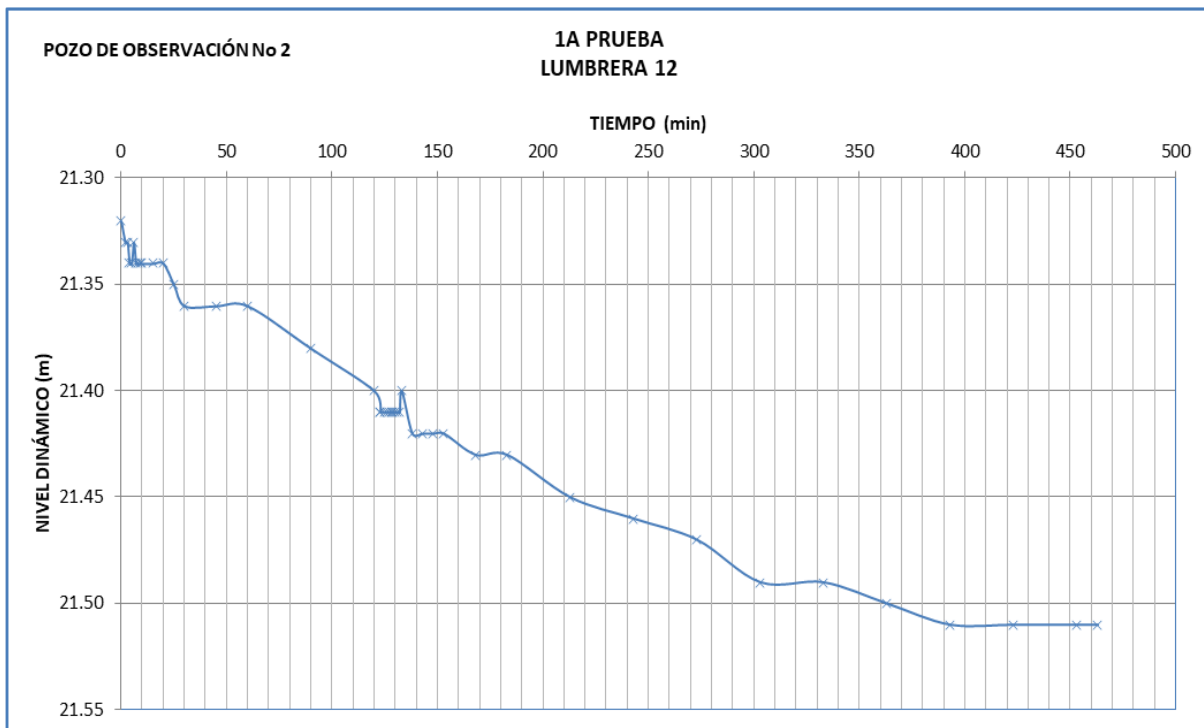


Figura 45.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, primera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

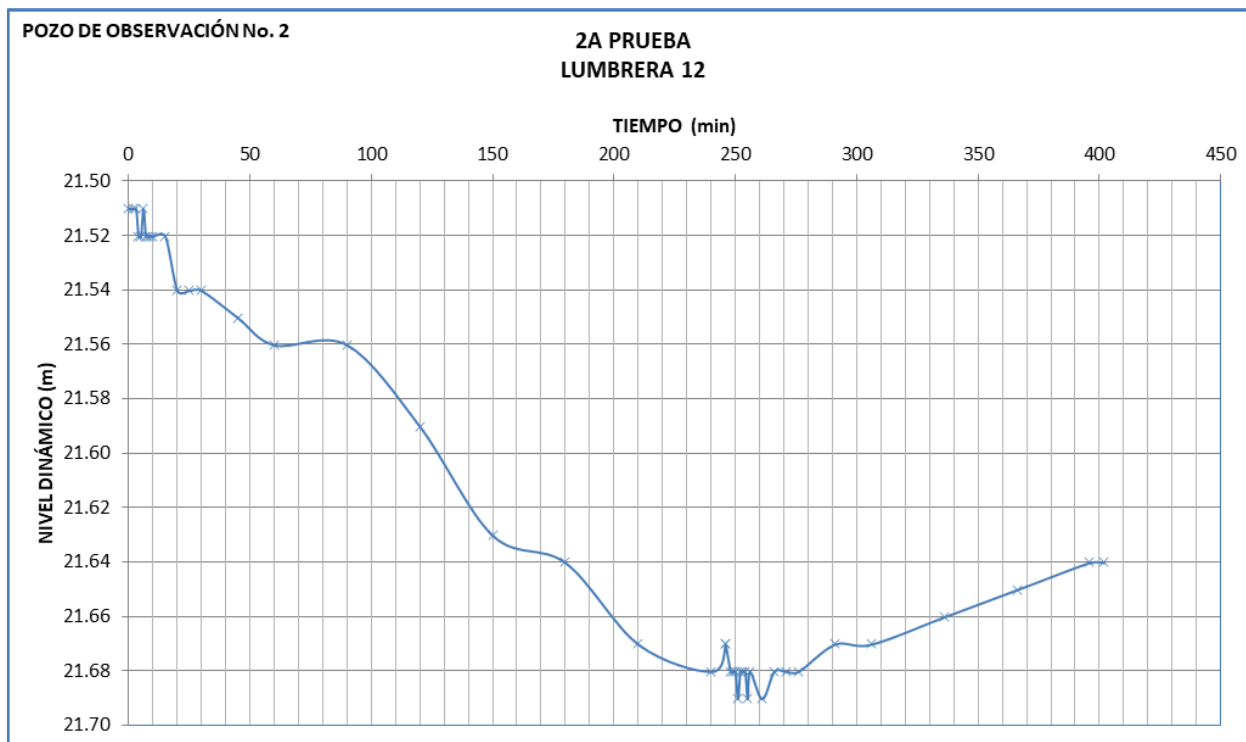


Figura 46.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, segunda prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

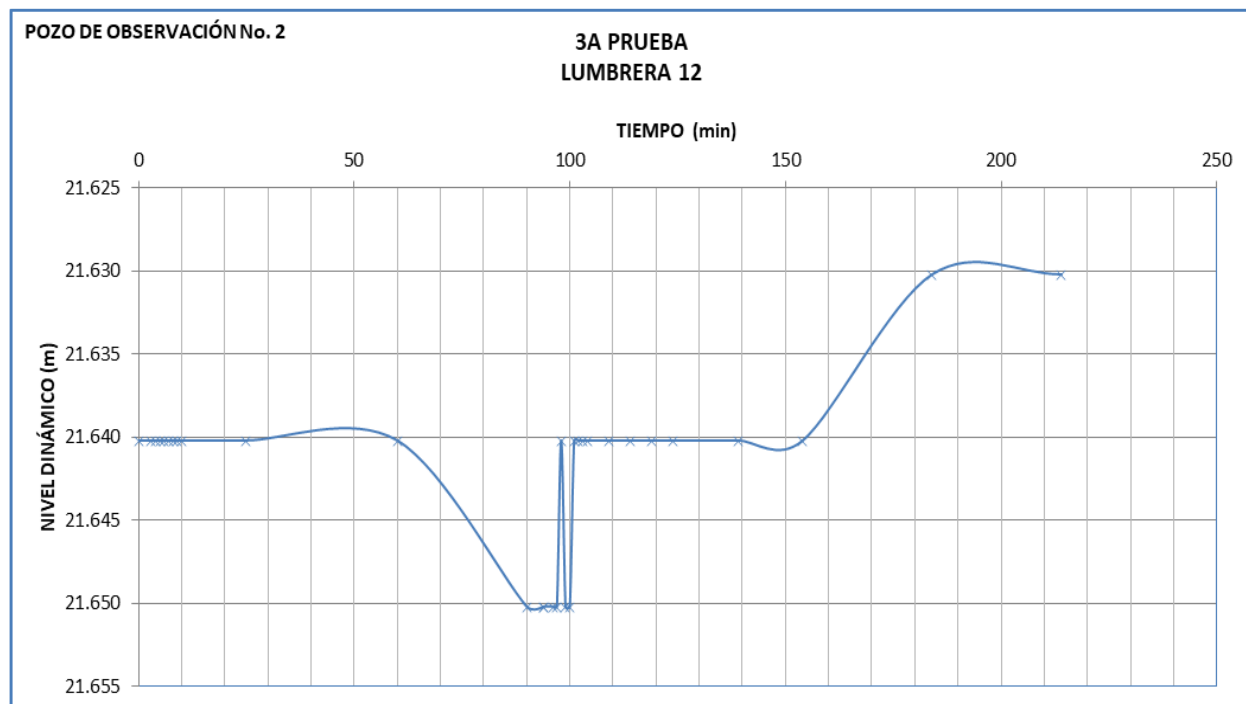


Figura 47.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, tercera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

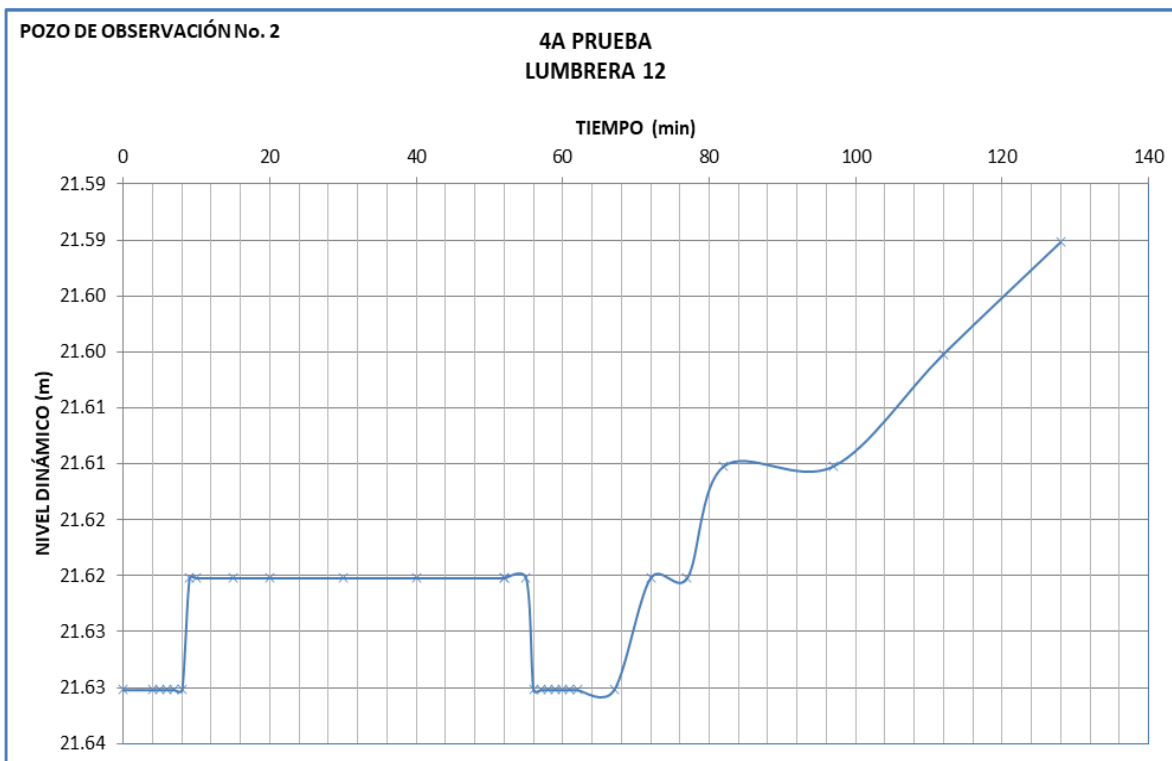


Figura 48.-Comportamiento del pozo de observación PB-2, cuarta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

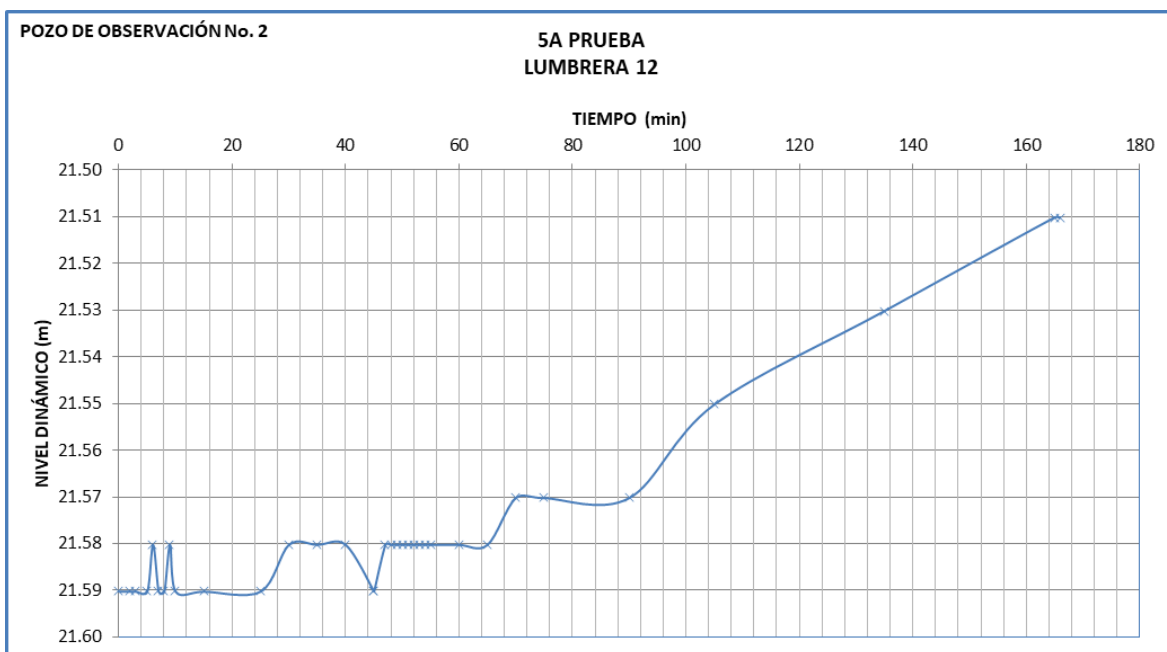


Figura 49.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, quinta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

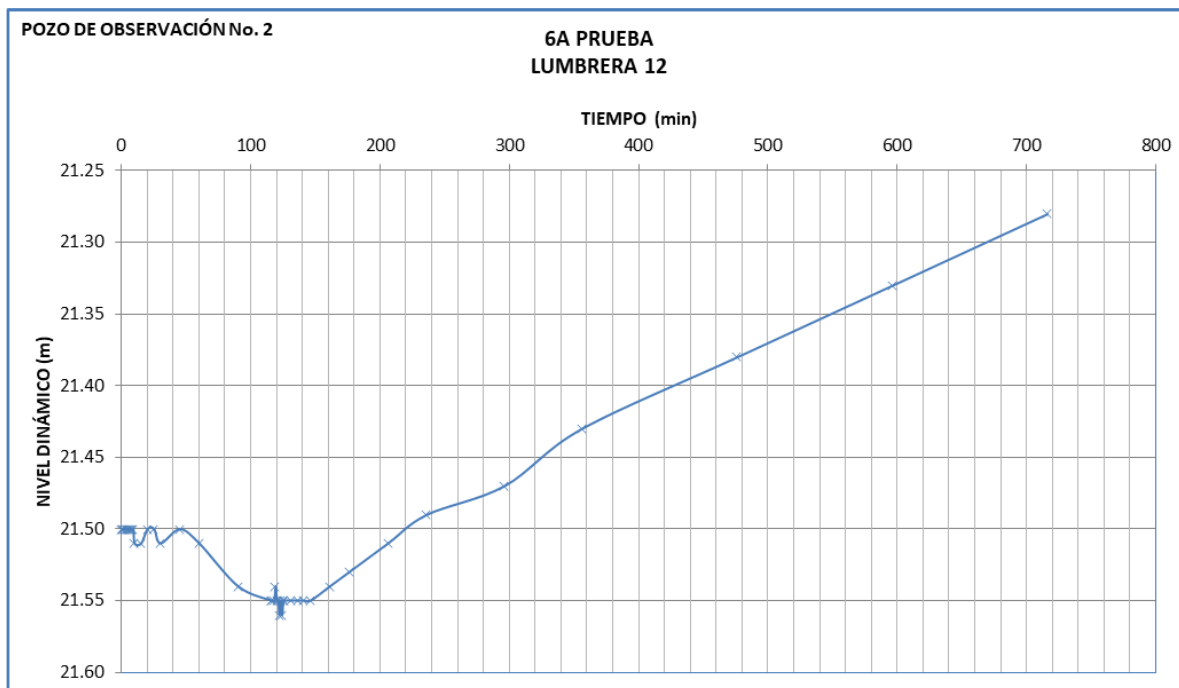


Figura 50.- Comportamiento del pozo de observación PB-2, sexta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

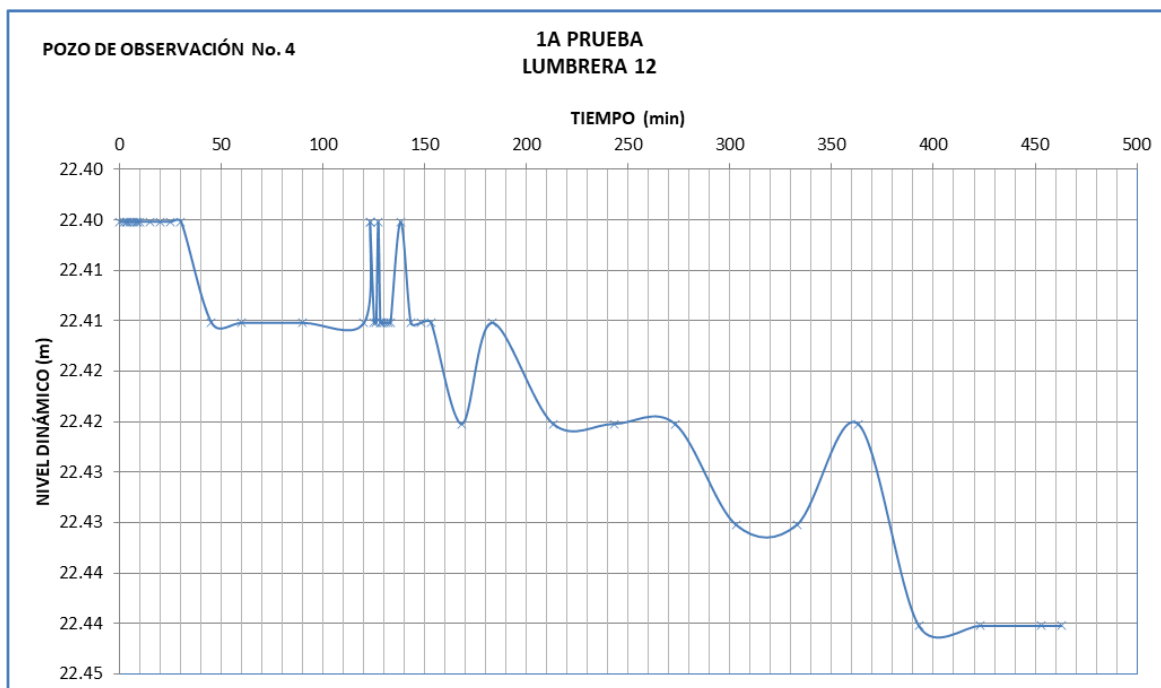


Figura 51.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, primera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

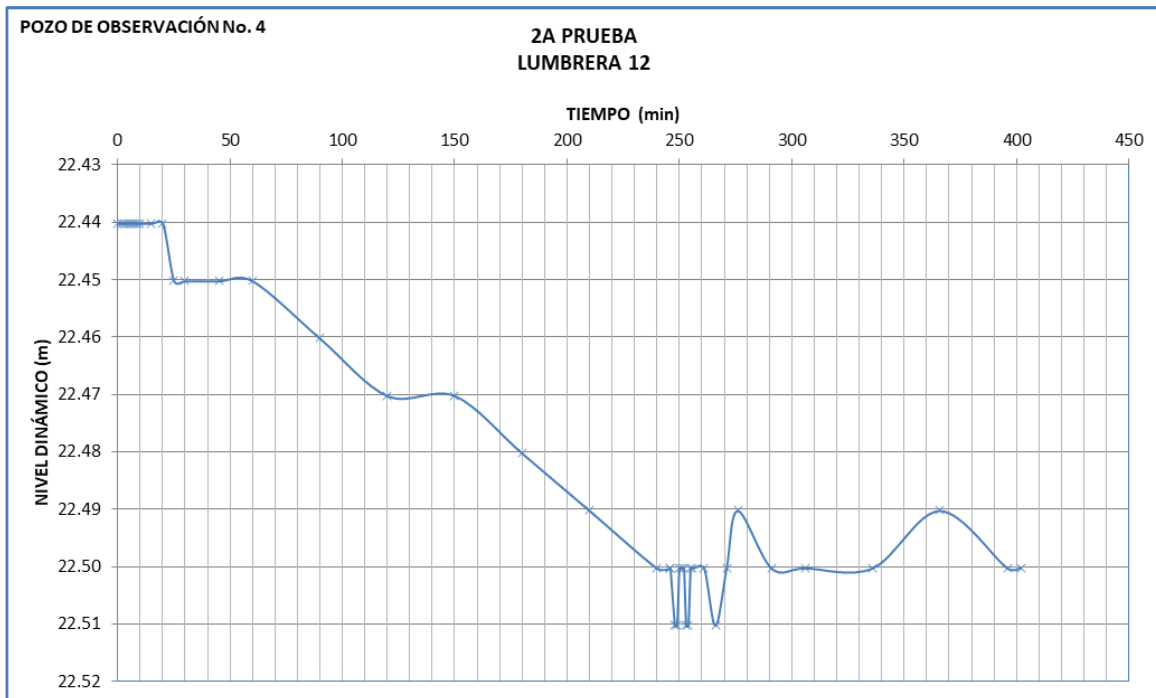


Figura 52.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, segunda prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

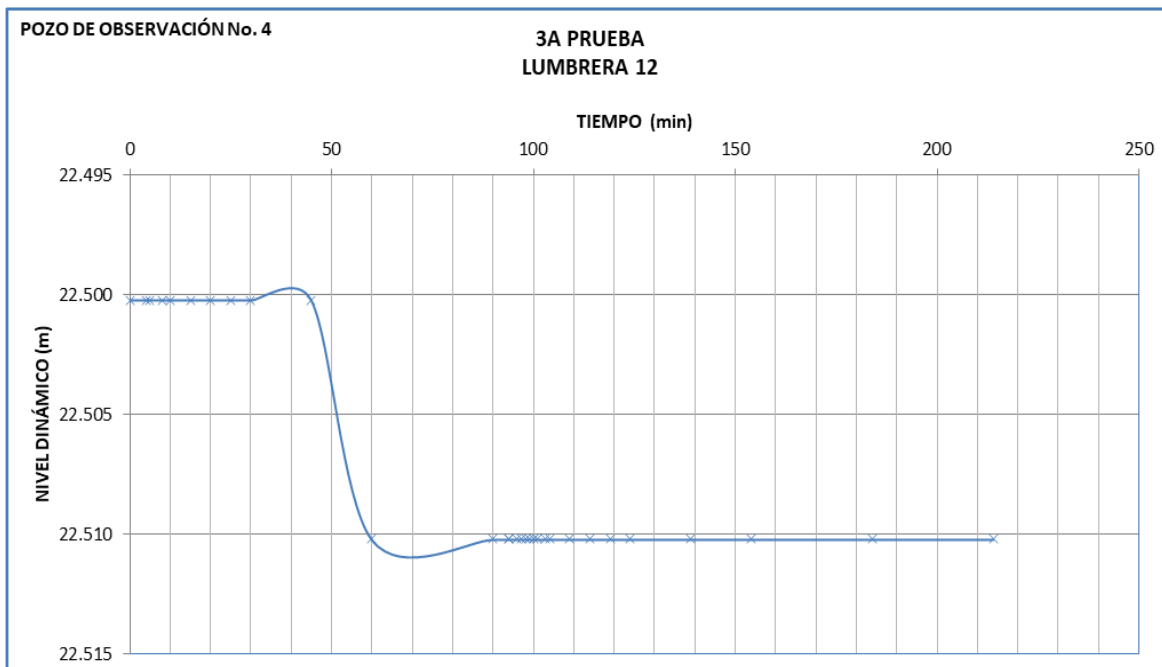


Figura 53.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, tercera prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

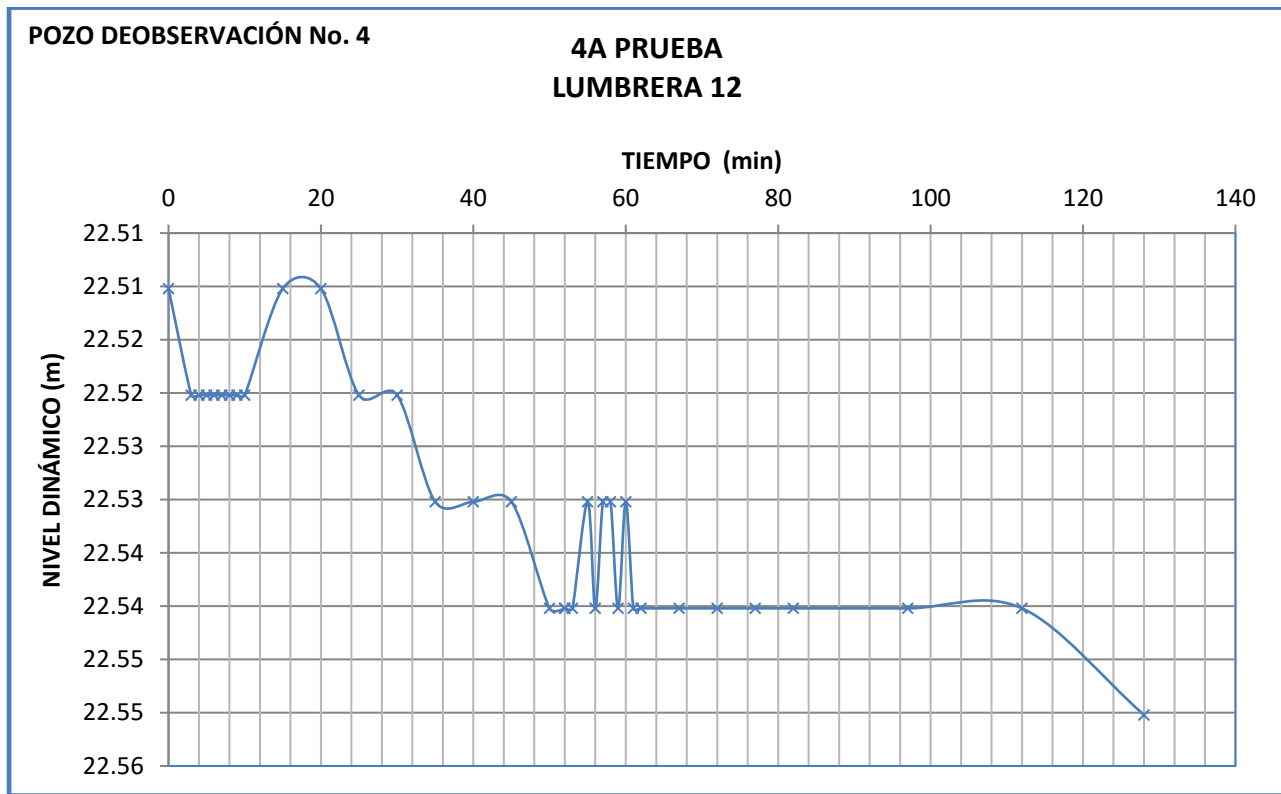


Figura 54.- Comportamiento del pozo de observación PB-4, cuarta prueba. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

Durante la ejecución de la prueba se identificaron dos acuíferos, alojados principalmente en gravas y arenas, los cuales estarían dentro de la zona de excavación de la lumbrera y por debajo del nivel estático. El primer acuífero tiene un caudal de aporte estimado de 54.74 l/s y el segundo acuífero aporta un gasto estimado de 9.34 l/s. Sin embargo, fue necesario considerar el aporte total del acuífero de la zona en la etapa de construcción de la lumbrera. Para este análisis se considera que la lumbrera funciona como un pozo de gran diámetro.

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE LA LUMBRERA.

Considerando que el acuífero existente tiene un aporte similar al de la siguiente figura y tomando en cuenta que una lumbrera tendría un funcionamiento similar al de un pozo se determina el caudal (Q) esperado mediante la fórmula del Thiem.

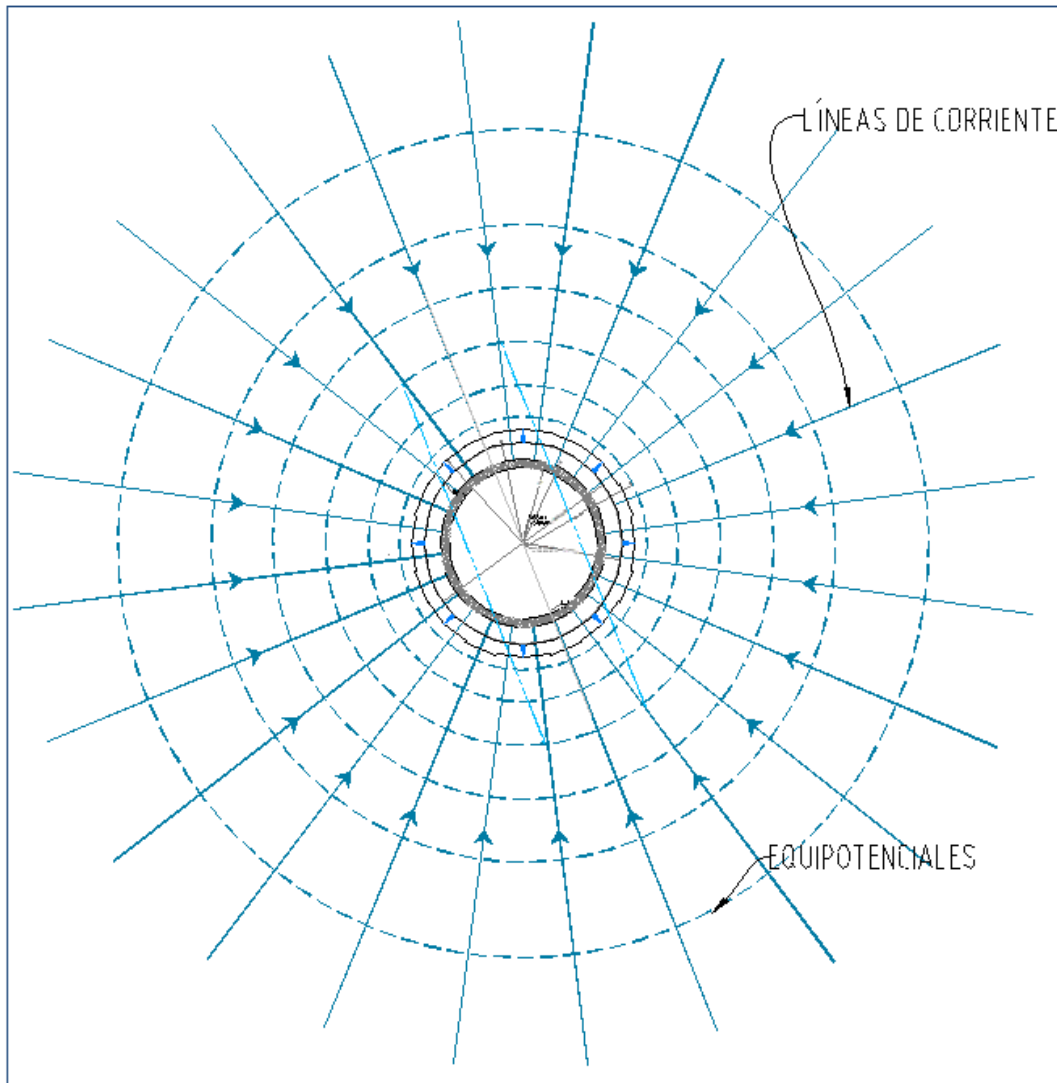


Figura 55.- Redes de flujo para la lumbrera. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

Cálculo para la lumbrera trabajando como un pozo de gran diámetro, utilizando la fórmula de Thiem, para pozos en régimen permanente, se tiene que:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r}$$

Datos de la lumbrera: profundidad de la rasante del túnel: 80.399 m.

En este caso se tomarán dos cálculos del caudal (Q) de aporte a la lumbrera ya que se definieron dos acuíferos con características hidráulicas de gran relevancia. De las pruebas de bombeo se obtuvieron sus parámetros hidráulicos.

Para el primer acuífero

Considerando que:

$$R = 304.256 \text{ m}$$

$$r = 6.00 \text{ m}$$

$$T = 1381.72 \text{ m}^2/\text{día}$$

$s = 6.93 \text{ m}$ (considerando el límite del primer acuífero 62.48 m y un nivel estático de 55.55 m)

Despejando Q

$$Q = \frac{2\pi Ts}{\ln \frac{R}{r}}$$

Se tiene que:

$$Q = 15323.984 \text{ m}^3/\text{día} = 177.36 \text{ l/s}$$

Para el segundo acuífero

De manera similar el acaso anterior, se considera:

$$R = 304.256 \text{ m}, r = 6.00 \text{ m}, T = 436.33 \text{ m}^2/\text{día}$$

$s = 22.92 \text{ m}$ (considerando el límite del primer acuífero 62.48 m y el nivel de la rasante de la lumbrera.

Despejando Q

$$Q = \frac{2\pi Ts}{\ln \frac{R}{r}}$$

Se tiene que:

$$Q = 16004.119 \text{ m}^3/\text{día} = 185.23 \text{ l/s}$$

Sumando ambos caudales se tiene que la lumbrera tendría una aportación de **362.59 l/s**. Se considero necesario perforar por lo menos 10 pozos de abatimiento, con lo que se tendría que el caudal que debería de extraer cada pozo era del orden de 36.259 l/s, tomando un margen de error del 20% se consideró para los cálculos un caudal de 43.51 l/s por pozo.

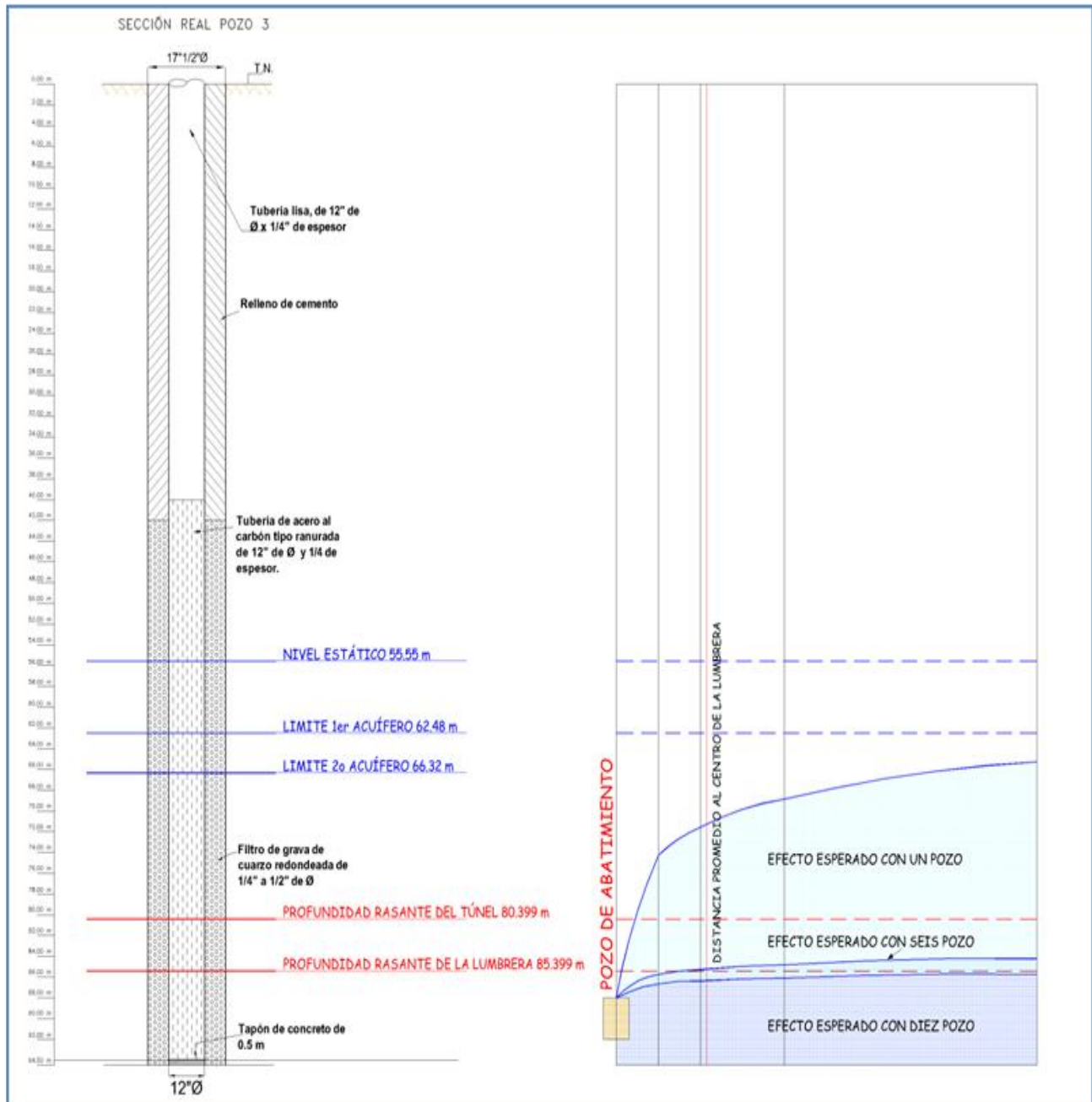


Figura 56.- Efecto con 10 pozos de bombeo para abatir de la presión de poro (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de la litología determinada en el pozo de bombeo PB-3 de la lumbrera L-12, el cual se complementó mediante exploración geofísica con un registro eléctrico con 10 curvas para identificar el tipo de suelo y zonas con permeabilidad.

Profundidad (m)	Litología	Permeabilidad
0-43	Deposito arcillo-limoso con pequeñas intercalaciones de arenas	Baja a impermeable
43-60	Horizonte de gravas con pequeñas intercalaciones de limos y arcillas.	Media
60-82	Depósito de arenas finas con limos	Baja
82-88	Depósito de arenas con limos y arcillas.	Media a Baja
88-92	Depósito de arenas finas con limos	Baja

Tabla 10.- Litología del pozo PB-3 cercano a la lumbrera L-12. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010).

De acuerdo con el registro eléctrico del pozo PB-3, todos los estratos presentan saturación a partir de los 10 m, sin embargo, los horizontes de mayor permeabilidad son las unidades de depósitos de gravas y arenas con pequeñas intercalaciones de limos y, por lo tanto, son las principales unidades litológicas aportadoras de agua subterránea.

CAPÍTULO 2.- REVISIÓN Y ANÁLISIS EMPLEADO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA L-12, PARA ABATIR EL FLUJO Y LAS PRESIONES EN EL ACUÍFERO DE ALTA PRESIÓN

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LUMBRERA Y SUS INTERCONEXIONES CON EL TÚNEL

Las principales características geométricas, topográficas y componentes de la lumbrera se muestran en las siguientes figuras tanto en planta como en perfil, destacando los siguientes datos: a) Cadenamiento: 27+603.115, b) diámetro de la lumbrera 12m, c) profundidad del muro Milán de 44m, d) espesor del muro Milán de 1m, e) nivel de plantilla (rasante hidráulica) en la interconexión túnel lumbrera a 80.397m, f) nivel máximo de excavación de 84.55m de profundidad y g) excavación convencional a partir donde concluyen los muros Milán y hasta el nivel máximo de excavación.

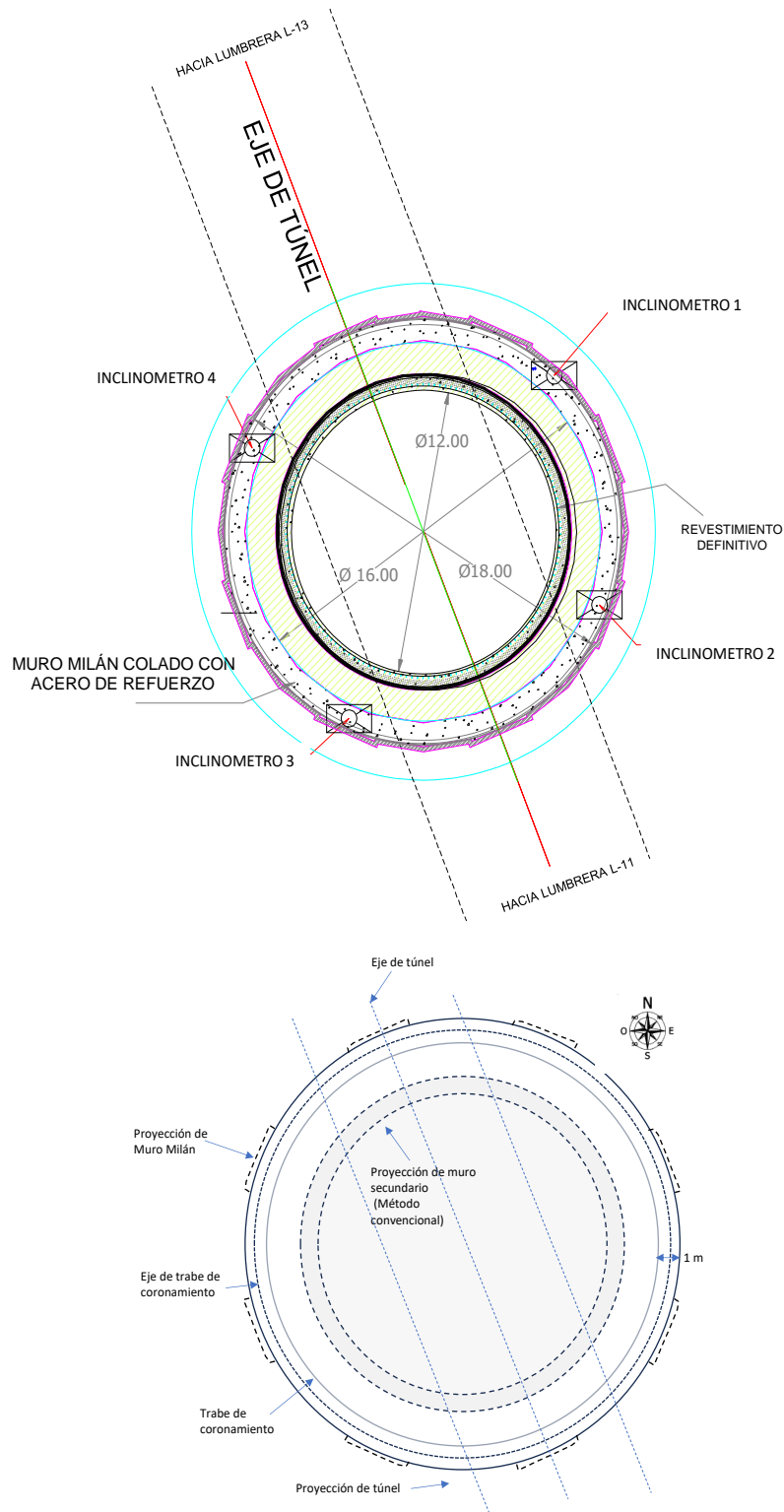


Figura 57.- Características generales de la lumbrera L-12, vista en planta. (Fuente: CONAGUA- COMISSA readecuado por S. González, 2023).

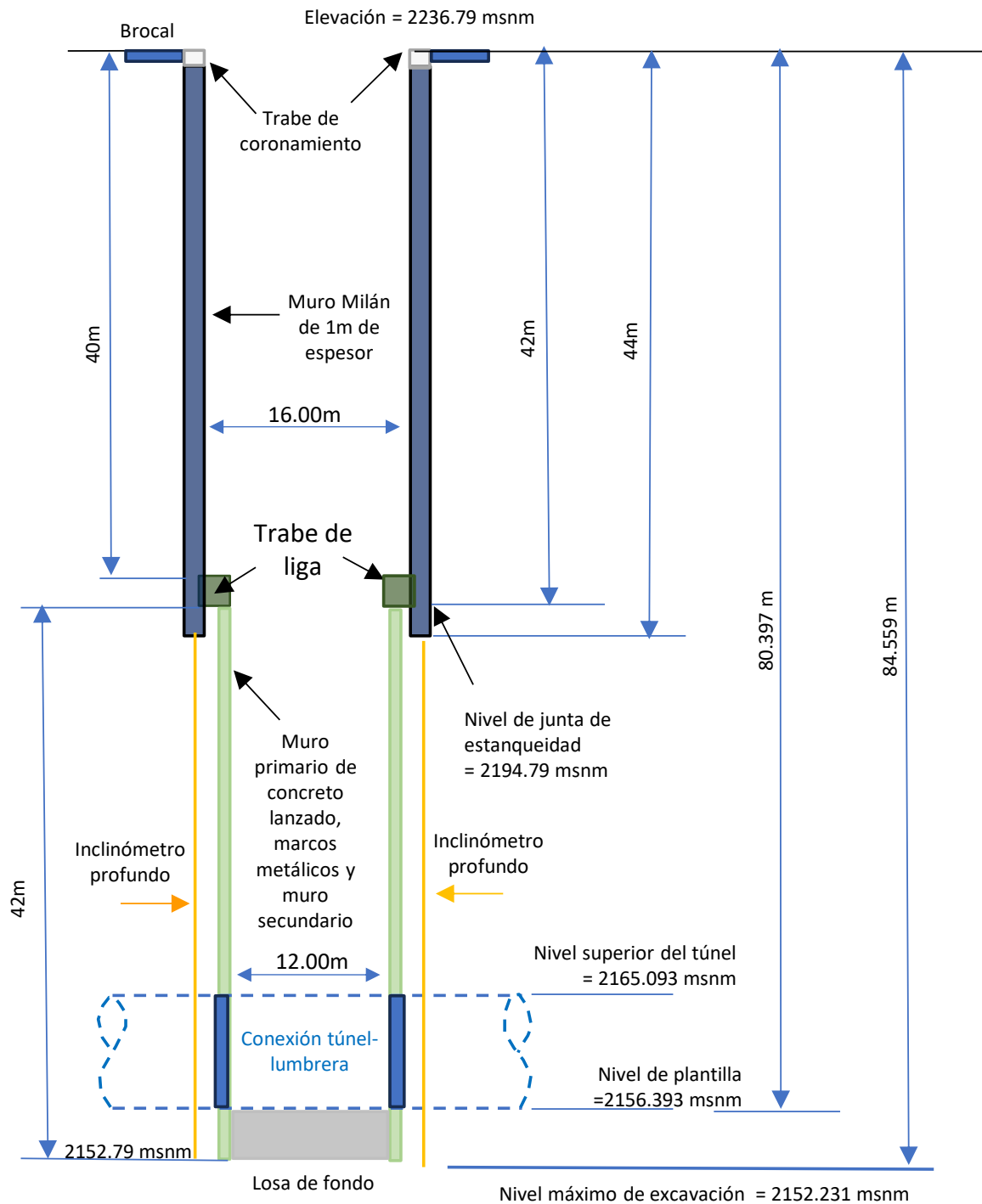


Figura 58.-Características generales de la lumbrera L-12, vista en perfil (Fuente: CONAGUA- COMISSA, readecuado por S. González 2023).

2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO GENERAL DE LA LUMBRERA

Se indica de manera enunciativa más no limitativa, los aspectos constructivos (CONAGUA-COMISSA) de manera general relacionados con la lumbrera L-12, la cual consiste en un procedimiento mixto mediante muro Milán y muro convencional implementado en su momento. Aunque el propósito del presente trabajo no es detallar un proceso constructivo, si es conveniente sensibilizarse sobre el tema para entender mejor, el contexto durante los trabajos de excavación de la lumbrera. Los procesos a considerados de manera general fueron:

ETAPA 1

1.- Trazo y nivelación, ubicación del centro de la lumbrera, para la construcción de la plataforma donde se realizó la lumbrera mediante el mejoramiento del terreno superficial (véase figuras siguientes), a base de una escarificación y despalme de aproximadamente 70 cm de suelo y la colocación del mismo espesor de relleno granular compactado, para la construcción de las plataformas para la construcción de brocales de concreto reforzado y la excavación del Muro Milán.

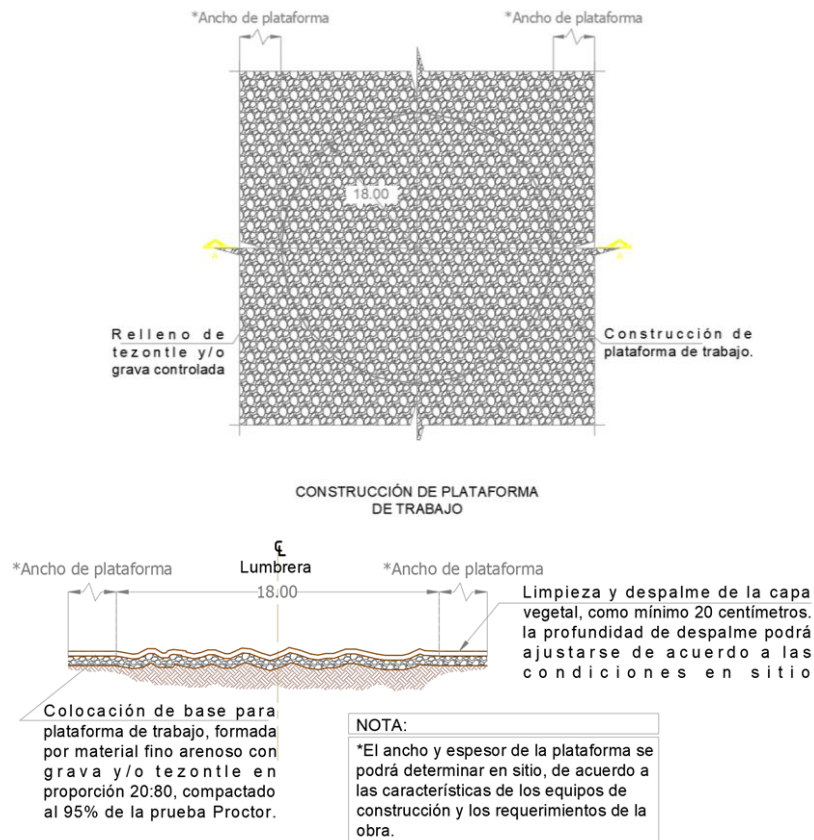
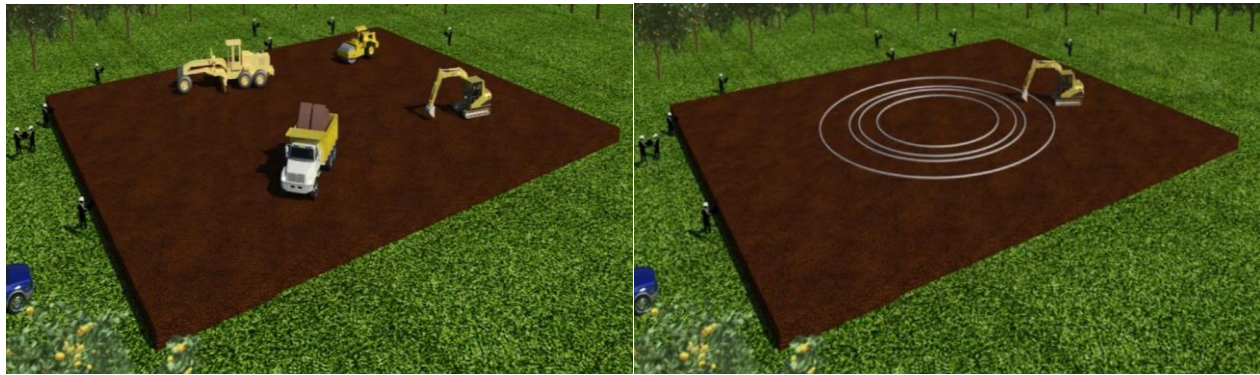


Figura 59.- Consideraciones previas para la construcción de la lumbrera (Fuente: CONAGUA- COMISSA).



1.- Mejoramiento de suelo y área de trabajo

2.- Trazo de lumbrera y brocales

Figura 60.- Secuencia constructiva inicial para construcción de lumbrera (Fuente: CONAGUA).

1.1.- Construcción de brocales. Estos se llevaron acabo en una zanja excavada para este fin, colocándolos contra la pared de la excavación. La secuencia constructiva en particular es: trazo, excavación, colocación de armado, colocación de cimbra y colado. El diseño de los brocales y algunas consideraciones técnicas se muestra en la siguiente figura.

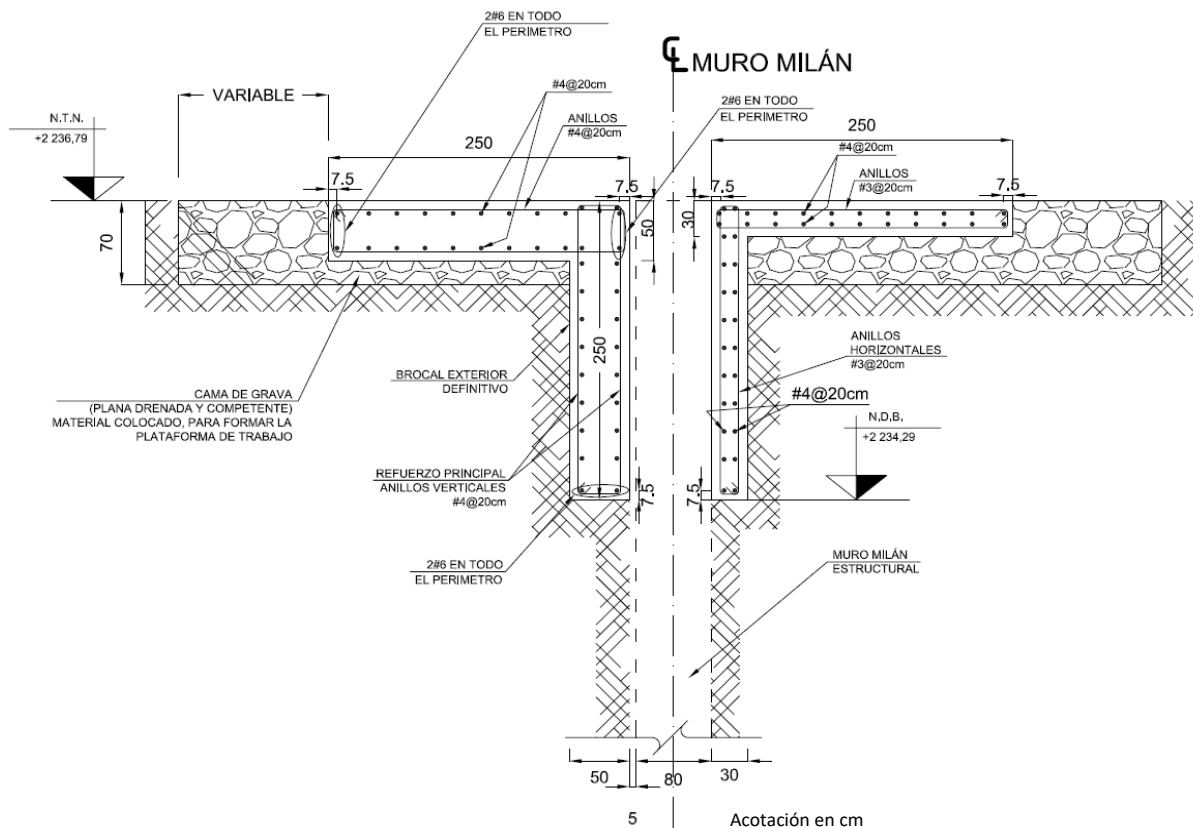


Figura 61.- Diseño de brocal para construcción de lumbrera (Fuente: CONAGUA-COMISSA).



Construcción de brocales temporales para la construcción pantalla perimetral

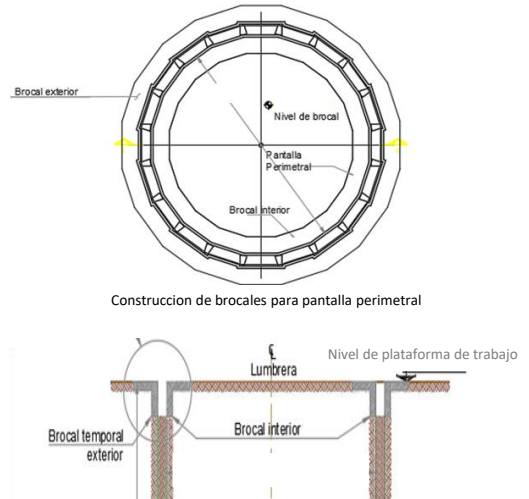


Figura 62.- Construcción de brocales para la lumbrera (Fuente: CONAGUA-COMISSA).



Figura 63.- Diferentes etapas de construcción de brocal para la lumbrera.

ETAPA 2

2.- Construcción de muro Milán de 1.0 m de espesor desplantado a la -44 m, con una desviación máxima con la vertical del 0.8 % -La desviación total como diseño del espesor del muro es de 1.6 %. El diámetro interior del muro Milán es de 16 m para tener en cuenta: las desviaciones con la vertical, la construcción del muro en método convencional, así como la implementación de mejoramiento de suelos a partir de la -42 m. El muro de 0 a -42 m será estructural tipo Milán y de -42 a -44 m será tratada como una pantalla no

estructural, por tanto, no tuvo manejo de juntas entre paneles y tampoco acero de refuerzo. En las siguientes figuras se muestra la secuencia de construcción de 6 procesos de manera general para muro Milán.

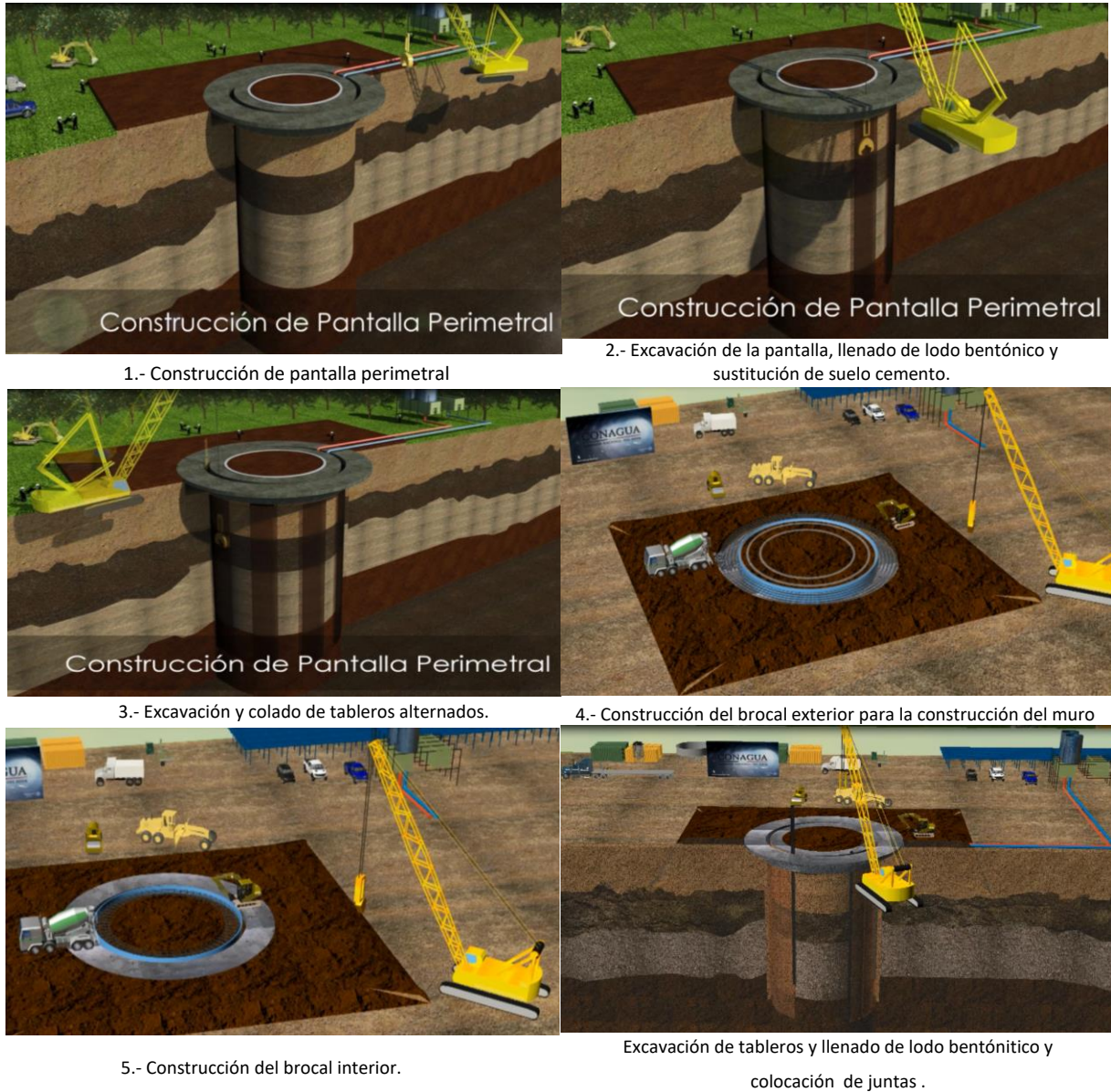


Figura 64.- Secuencia constructiva de seis procesos para muro Milán (Fuente: CONAGUA).

CONSIDERACIONES NECESARIAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LUMBRERAS DE LA EXCAVACIÓN DEL MURO MILÁN.

Para poder ejecutar la construcción del muro fue necesario la implementación de acciones emergentes en el proceso para garantizar la ejecución de los trabajos y dar seguimiento liberar la presión de agua en los

materiales permeables y reducir las filtraciones de agua al abatimiento y liberar la presión de poro en los estratos que correspondan:

- Sistema de abatimiento mediante bombeo combinado
- Pozos de Bombeo
- Inclínómetros
- Mezcla estabilizadora que evita se cierre la excavación

2.1. Sistema de abatimiento mediante bombeo combinado (pozos y bombeo de achique): Teniendo en cuenta que es necesario liberar la presión de agua en los materiales permeables y reducir las filtraciones de agua al interior de la excavación, fue necesario un sistema de bombeo formado por pozos profundos controlando inicio y paro del bombeo con electroniveles. El bombeo profundo se complementó con bombeo de achique en el interior de la excavación. Es importante mencionar que con el fin de garantizar la seguridad de la excavación y dado el papel fundamental que juega el bombeo en este proceso, fue necesario contar con un sistema de bombeo formado por dos subsistemas independientes, con el fin de tener la posibilidad de pasar de un sistema al otro, de forma casi inmediata, en caso de alguna contingencia.

2.2.- El sistema de bombeo se puede construir de forma simultánea a la construcción del muro Milán antes o posterior a este.

2.3. Los pozos de bombeo pueden ser construidos antes del muro Milán, y en caso de que se tenga pérdida de fluido durante la perforación de estos, se usará esta experiencia para que antes de la excavación de los paneles del muro Milán, se prevea un tratamiento con base en inyección de lechada a gravedad en el eje del muro con inyecciones con lechada cemento-bentonita (aproximadamente 300 kg de cemento y 10 kg de bentonita por cada m³ de agua). El objetivo de este procedimiento es garantizar que durante la excavación del muro y el colado no-tengan perdidas de lodo bentonítico o concreto que pongan en riesgo la estabilidad de la zanja y la calidad del elemento que se construye.

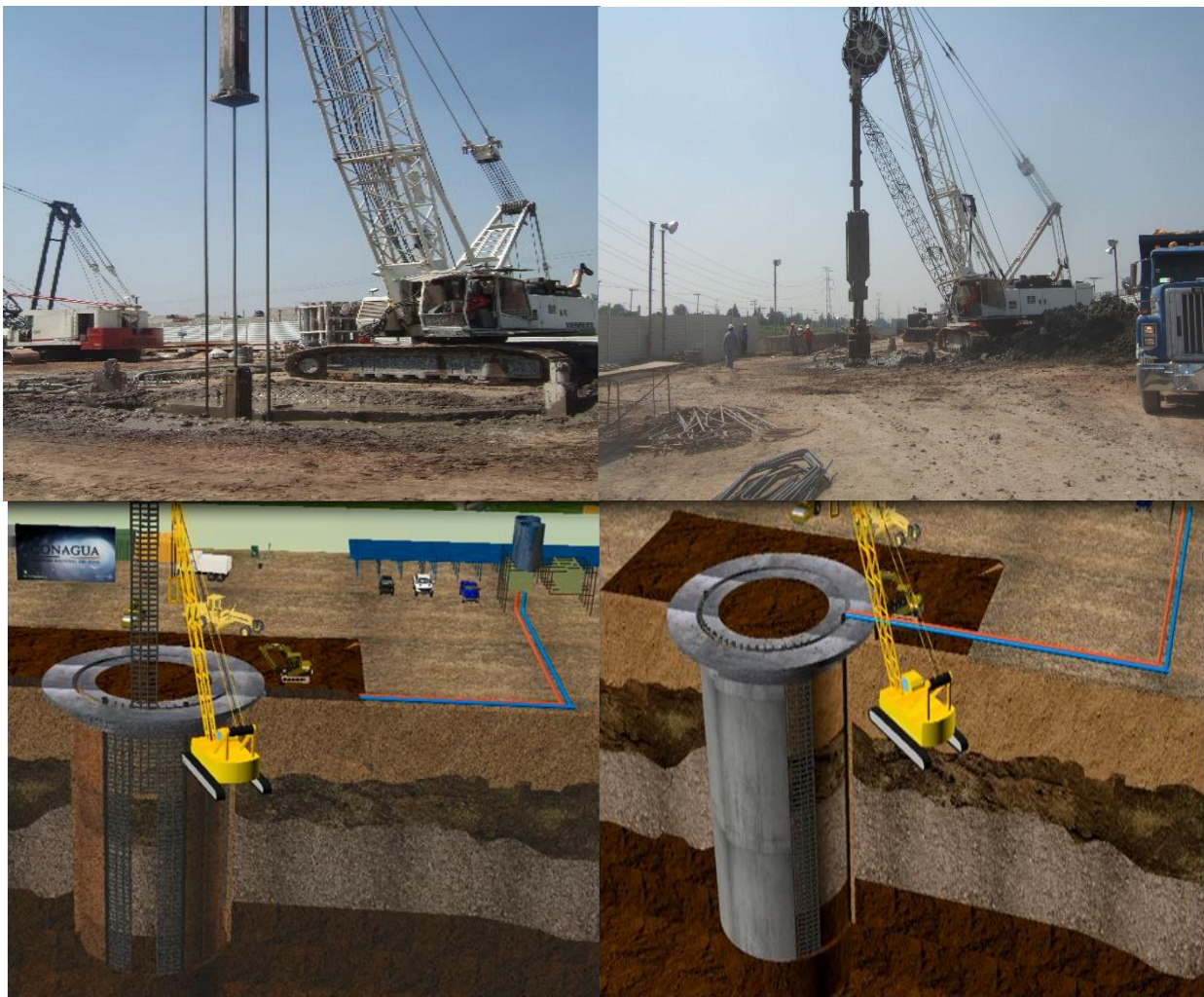
Liberar la presión de agua en los materiales permeables y reducir las filtraciones de agua al interior de la excavación, es importante, de ello se deriva la necesidad del sistema de bombeo formado por pozos controlando el bombeo de forma automatizada con electroniveles, indicados en el apartado correspondiente. El bombeo profundo se complementó con bombeo de achique en el interior de la excavación. Para dar seguimiento al abatimiento del agua se construyeron pozos de observación y piezómetros. El sistema de bombeo se puede construir de forma simultánea a la construcción del muro Milán

2.4. Se dejaron **reservaciones para la posterior instalación de 4 inclinómetros**, instalados de acuerdo con lo establecido en el apartado de instrumentación geotécnica.

2.5. Concluido el muro Milán estructural y la instalación del sistema de abatimiento de la presión de poro, iniciará el bombeo y la construcción de la trabe de coronamiento.

2.6. **Mezcla estabilizadora** a base de lodo bentonítico el cual se realizará con una planta de recirculación y desarenador e hidratación, que evita se cierre la excavación, se estabiliza la excavación con una mezcla de lodo bentonítico, la cual se recircula y no pierda las propiedades de diseño de la mezcla.

En las siguientes figuras se muestraran dos procesos constructivos complementarios a los indicados anteriormente para muro Milán.



Colocación de parrillas de acero

Colado de tableros

Figura 65.- Construcción de muro Milán (Fuente: CONAGUA readecuado por S. González, 2023).



Figura 66.- Tipo de equipo y maquinaria utilizados en la construcción de muro Milán (Fuente: CONAGUA).

ETAPA 3

3.- *Excavación del núcleo a cielo abierto*, iniciará después de la construcción de la trabe de coronamiento. La lectura 0 de los inclinómetros deberá tomarse antes de iniciar la excavación. La excavación del núcleo central se realizó mediante excavadora tipo CAT 312 o equivalente y rezagando el material excavado con Grúas tipo Linkbelt 318 o equivalente, equipadas con almeja de al menos 1.5 m³ de capacidad. El material producto de la excavación se dispuso en la zona de tiro establecida en su momento mediante camiones de 14 m³.



Excavación de núcleo de la lumbrera.



Figura 67.- Excavación del núcleo de la lumbrera (Fuente: CONAGUA).

ETAPA 4

4. Al llegar a la excavación del núcleo al nivel de desplante del muro Milán estructural (-42 m), inicia la construcción del muro en método convencional, el cual consiste en:

I.- Hacer cortes verticales de 2.0 m de altura (se propone la excavación de frentes de hasta 2m de altura). Es importante considerar que, durante la ejecución de los trabajos, esta secuencia podrá adecuarse. La excavación del núcleo central se realizará mediante excavadora tipo CAT 312 o equivalente y rezagando el material excavado con Grúas tipo Linkbelt 318 o equivalente, equipadas con almeja de al menos 1.5m³ de capacidad- El material producto de la excavación se dispondrá en la zona de tiro que corresponda.

II.- Colocar concreto lanzado (aproximadamente 15 cm), reforzado con fibras metálicas tipo Dramix ZP305 (40 kg/m³), para proteger de inmediato la cara del corte y preparar la superficie para asentar los marcos metálicos horizontales. El cemento a utilizar deberá ser de resistencia rápida.

III.- Colocar y fijar los marcos metálicos horizontales a cada 1.0 m de separación vertical. El patín cara excavación de los marcos deberá tener colocados antes de su instalación conectores de cortante (pernos Nelson), ya que este muro de concreto lanzado-marcos metálicos se integrará al muro secundario para tener un trabajo estructural conjunto en etapa de servicio. Un marco metálico nuevo que se coloca se deberá suspender a través de varillas verticales soldadas al marco colocado en la etapa anterior.

IV.- Después de la colocación de los marcos, lanzar concreto entre las almas de los perfiles. El concreto será reforzado con fibras metálicas tipo Dramix ZP305 (40 kg/m³). El cemento a utilizar deberá ser de resistencia rápida.

V.- Continuar la excavación con esta misma secuencia hasta el nivel máximo de excavación (NME).

VI.- Para asegurar la adecuada conexión del muro mediante método convencional con la losa de fondo, en los 2 m últimos de excavación, los marcos metálicos deberán colocarse a cada 0.5 m.

VI.- Cada 2 m de excavación vertical, se excavará, mediante una retroexcavadora una “zanja piloto” de al menos 2 m de profundidad, 4 m de longitud y 0.5 m de ancho, ubicada preferentemente en el perímetro de la excavación, con el fin de realizar una evaluación del tipo de material que se presenta respecto al que se espera y así poder confirmar las condiciones del terreno y junto con el comportamiento de la excavación observado mediante los inclinómetros, ajustar o reafirmar el procedimiento de excavación (incluyendo las alturas de excavación por cada etapa). In situ se decidirá la mejor ubicación para la zanja con el fin de que no interfiera con los frentes de construcción.

VII.- Contar con un sistema de bombeo funcional y activo para abatimiento de las presiones de poro y flujo subterráneo, así como el monitoreo integral e interpretación de toda la instrumentación que corresponda.

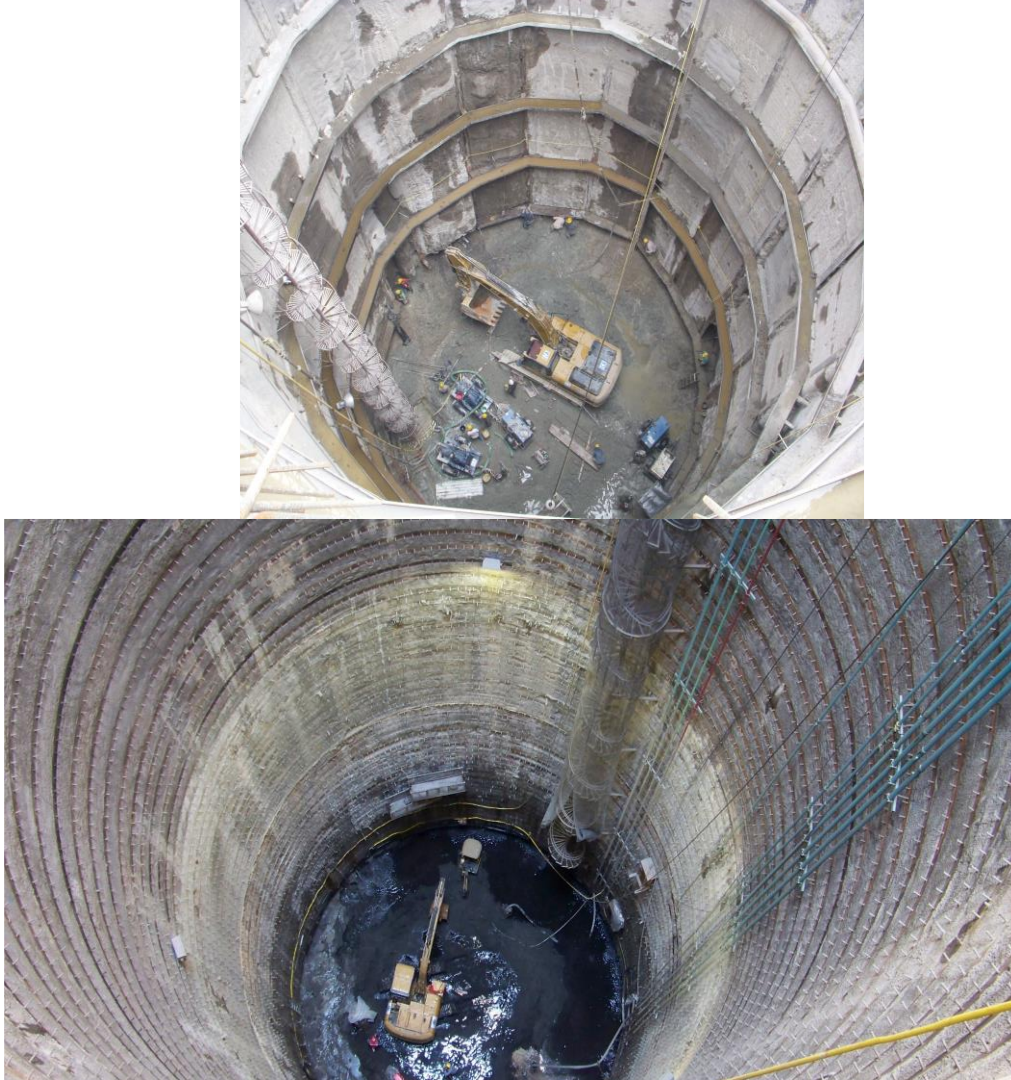


Figura 68.- Excavación mediante método convencional

5. Se prevén dos alternativas como sistemas de mejoramiento de suelo o de retención complementarios:

a) Mejoramiento del suelo a partir de la cota -42 m, mediante el método de densificación estática horizontal “inyección de compactación”, formando columnas verticales de mortero que trabajarán como una inclusión rígida, más el efecto de la densificación del suelo que las rodea por el proceso de inyección.

b) Colocación de tubos metálicos verticales perimetrales, colocados en perforaciones previamente ejecutadas para dicho fin.

6. Antes o paralelo a la ejecución de la primera etapa de construcción del muro en método convencional (hasta 2.0 m de altura), se construirá la trabe de liga entre los dos tipos de muro “Milán convencional”, dejando en esta las reservaciones necesarias para integrarla al muro secundario cuando este se construya, y dejando también en ella las reservaciones para el tratamiento complementario del suelo. Así mismo se deberán dejar embebidas en la trabe de liga, las preparaciones a base de varillas para suspender el primer marco metálico, o bien dichas varillas, para suspensión del primer marco podrán anclarse a la trabe de liga mediante resina epóxica.

7. Llegando al nivel máximo de excavación, se construirá el muro secundario (concreto reforzado), el cual se integrará el muro de concreto lanzado y marcos metálicos, a través de los conectores de cortante. Deberá preverse el ajuste del acero de refuerzo del cuerpo de la lumbrera en la zona de conexión con el túnel, así como la construcción del anillo de empotramiento, es decir, colocación de junta plástica impermeable. La construcción de muro secundario será con cimbra deslizante, previendo las preparaciones para sujeción que pudieran requerirse. El proceso de construcción de muro secundario consiste en una secuencia de etapas de habilitado de acero de refuerzo, colocación de cimbra y colado, en forma ascendente, desde el fondo de la lumbrera y hasta alcanzar el nivel de la trabe de liga. Finalmente se construirá la losa de fondo. Los últimos 15 cm de excavación, aproximadamente, se deberán afinar con herramienta manual para posteriormente colocar un firme de concreto pobre de aproximadamente 5 cm de espesor, previo al colado de la losa.



Figura 69.- Habilitado de acero para muro secundario.

ETAPA 5

8. La losa de fondo se colocará en una sola etapa, por lo que se deberán tomar las previsiones necesarias para un colado masivo continuo. El acero de refuerzo se habilitará directamente en la ubicación de la losa, empleando varillas verticales (tantas como sean necesarias e indicada en el proyecto) para suspender las parrillas superiores en su posición tanto el procedimiento de colado de la losa, como el sistema de varillas verticales para soporte de la parrilla superior de refuerzo.



Figura 70.- Habilitado de acero para losa de fondo (Fuente: CONAGUA).

Notas:

- A. El revestimiento definitivo de la lumbrera será el muro Milán y el muro convencional construido en una la etapa de obra no hubo muros de acompañamiento.
- B. El bombeo deberá garantizar el mantener los niveles de agua abatidos hasta el nivel requerido (aproximadamente nivel -88 m) durante todo el proceso de excavación y hasta la terminación de la losa de fondo.



Figura 71.- Bombeo para la lumbrera L-12.

2.3 SISTEMA DE ABATIMIENTO PARA ABATIR LA PRESIÓN DE PORO MEDIANTE POZOS DE BOMBEO

El sistema de bombeo se implementó a base de 10 pozos profundos (de los cuales 6 se construyeron inicialmente "subsistema 1" y a posteriori otros 4 "subsistema 2". Los resultados obtenidos se indican a continuación con la evaluación con la puesta en operación de 6 pozos (subsistema 1) y después con la totalidad de los pozos (10).

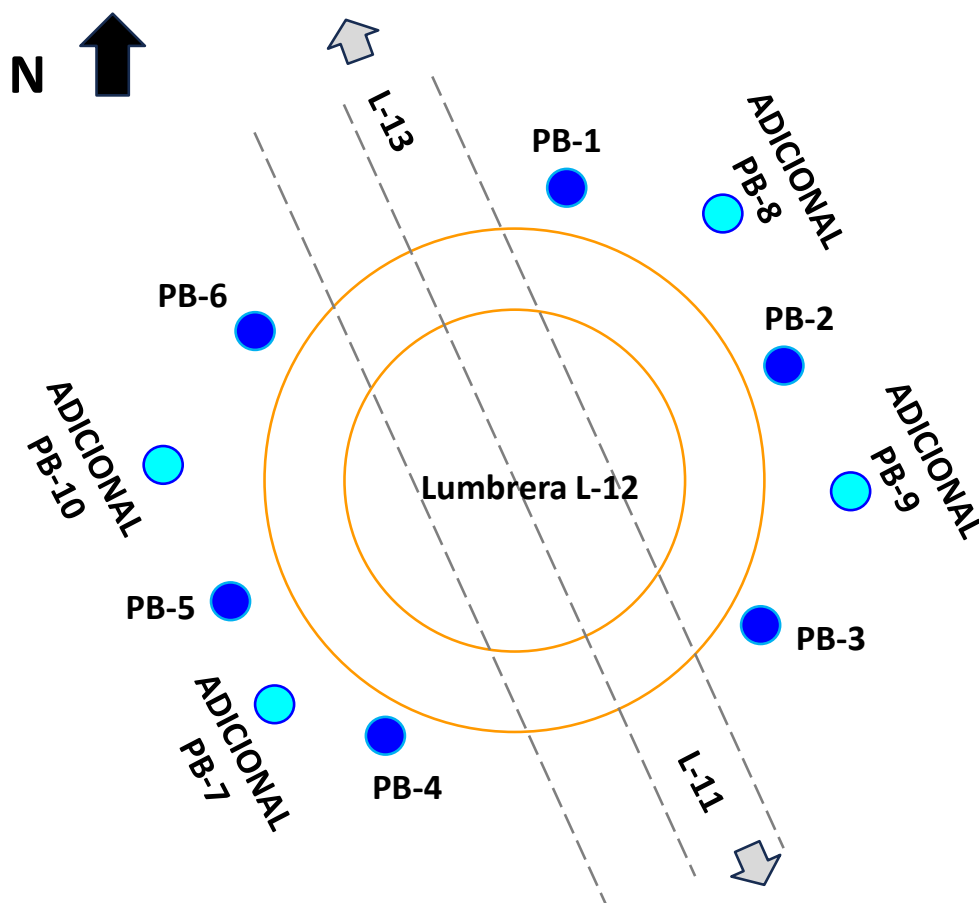


Figura 72.- Sistema de bombeo parcial con 10 pozos de bombeo para la lumbrera L-12. (Fuente; CONAGUA-COMISSA).

2.3.1 SUBSISTEMA 1 (POZOS PERIMETRALES, ETAPA 1)

El subsistema correspondiente quedó conformado por los pozos PB-1 a PB-6 y los resultados obtenidos son los siguientes: con el sistema de pozos implementado no se logró abatir los niveles piezométricos hasta el nivel máximo de excavación aunado a políticas de operación que deben de mejorarse derivado al paro y arranque de pozos, contar con equipos de bombeo adicionales, plantas de luz de reserva así como en algunos casos verificar la pérdida o agotamiento de caudal derivado de los equipos de bombeo instalados. En este sentido se debió de prever equipos diversos de reserva para asegurar un bombeo continuo e ininterrumpido de todos los pozos. En la siguiente figura se muestra de manera gráfica el comportamiento de los niveles dinámicos promedio de los 6 pozos de bombeo por un periodo del orden los 135 días, indicando los límites objetivo del abatimiento, que en este caso sería llegar por lo menos al nivel máximo de excavación.



Figura 73.- Recuperación de los niveles dinámicos por falla de equipo de bombeo.

Evolución de los niveles dinámicos de los pozos de abatimiento perimetrales

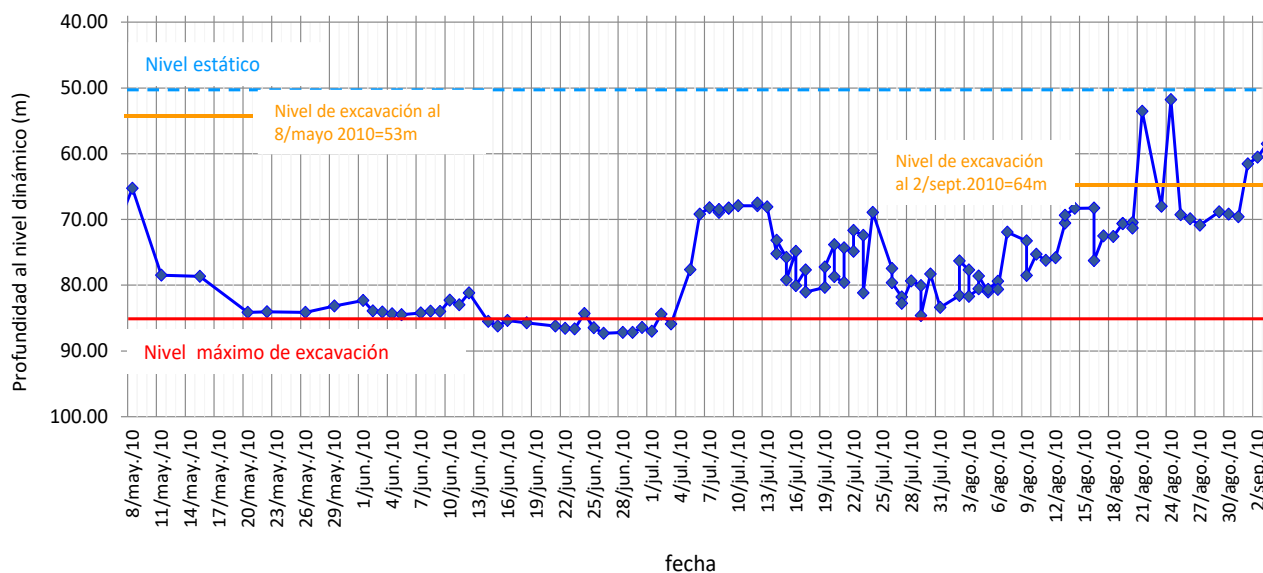


Figura 74.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 6 pozos de bombeo (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010 readecuado por S. González 2023).

2.3.2 SUBSISTEMA 2 (POZOS ADICIONALES, ETAPA 2).

Se construyeron cuatro pozos adicionales, cuyas características se muestran en la siguiente figura y cuentan con diferentes profundidades, siendo estas: a) Pozo PB-7, perforado a 115.9m, b) Pozo PB-8, perforado a 134m y c) Pozos PB-9 y PB-10, perforados a 137m respectivamente. De igual los pozos referidos se lavaron, desarrollaron, se aforaron y además se realizó su prueba de bombeo en el pozo PB-9. En la siguiente figura

se muestra el diseño implementado para los pozos correspondientes. Con los pozos adicionales se refuerza el sistema de abatimiento, con la operación continua y conjunta de los subsistemas 1 y 2.

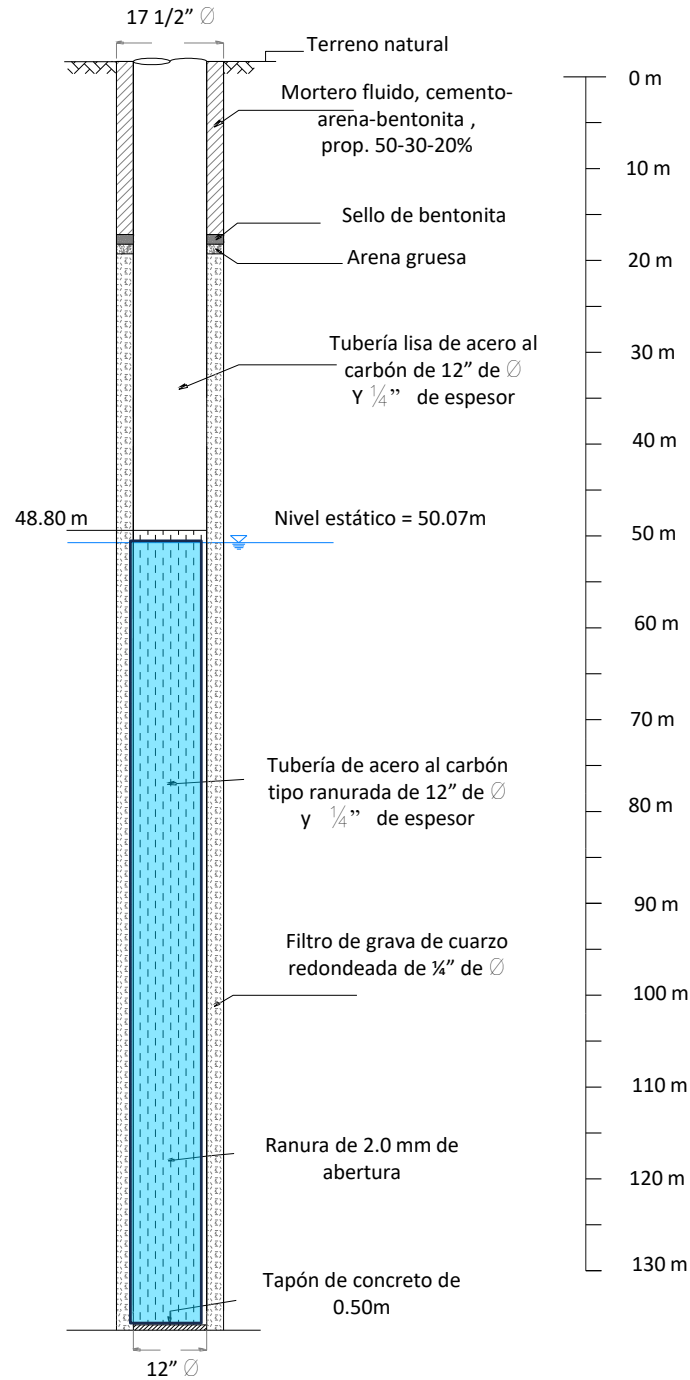


Figura. 75.- Diseño de pozos adicionales de bombeo (PB-7 a PB-10) para abatimiento de la presión de poro (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2010 readecuado por S. González 2023).

2.3.3 OPERACIÓN CONJUNTA, SUBSISTEMAS 1 Y 2

La operación del sistema integral de los 10 pozos de bombeo, indico los siguientes resultados. A partir del 4 de septiembre de 2010 entra en operación el pozo PB-7, el 14 de septiembre el PB-8 y con fecha del 29 de septiembre de 2010, los pozos PB-9 y PB-10, ya estaban en operación. La respuesta que tuvo la zona ante el bombeo hasta el 5 de abril de 2011 corresponde a un periodo de tiempo del orden de 213 días, esto considera también el paro de pozos (falla en equipos de bombeo y perdida de caudal), el cual se aprecia en la siguiente figura con la recuperación del nivel dinámico hacia el nivel estático, donde la tendencia de los niveles de subsistema 1 y 2, parecen a sobreponerse o igualarse con el cese del bombeo. En la gráfica, se indican en azul los niveles del subsistema 1 y en verde los del subsistema 2.

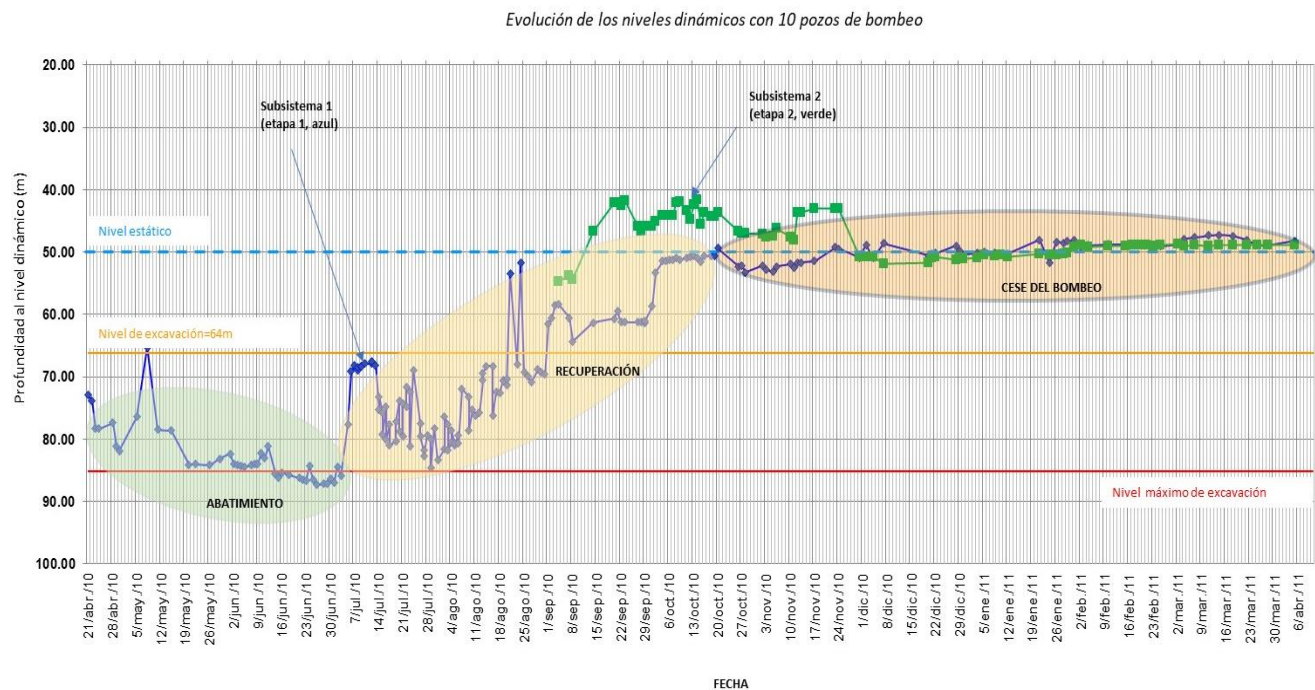


Figura 76.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 10 pozos de bombeo (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2011 readecuado por S. González 2023).

2.4 MODELO DE FLUJO PARA DEFINIR SISTEMA DE BOMBEO COMPLEMENTARIO

El propósito del modelo correspondiente fue definir el número de pozos complementarios de abatimiento mediante bombeo y estimar los caudales totales de extracción, necesarios para disminuir las presiones de poro o hidrostáticas, así como abatir los niveles del agua subterránea en la Lumbrera L-12, en un orden de 35 m, aproximadamente. Con la información técnica recopilada, generada y la experiencia adquirida, se

procedió a realizar un modelo numérico de flujo mediante los programas Aquifer test y visual MODFLOW. De los resultados obtenidos, se concluye que se tendrá que programar un sistema de bombeo con 18 pozos para obtener el abatimiento necesario cercano a los 40m y por consecuencia disminuir las presiones del agua en la zona de la lumbrera L-12, para garantizar la terminación de la obra con seguridad. Con los resultados del modelo se estimó un caudal acumulado de 688 l/s considerando todos los pozos de bombeo.

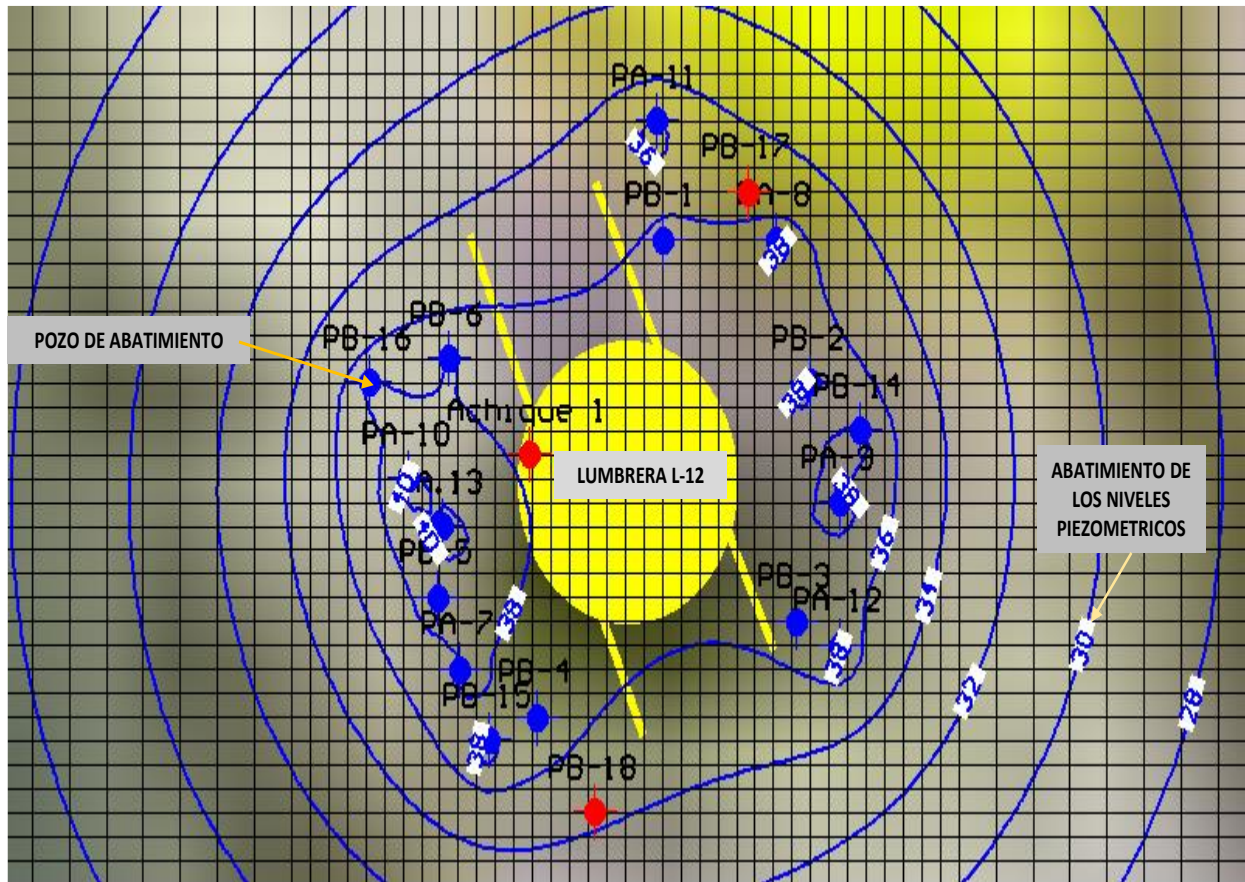


Figura 77.- Resultados del modelo de flujo para abatir las presiones de poro (Fuente: CONAGUA- COMISSA).

2.5 SISTEMA DE ABATIMIENTO COMPLEMENTARIO

El sistema de bombeo complementario se implementó a base de 8 pozos profundos adicionales a los 10 ya existentes, para que en total se tuvieran 18 pozos para abatir las presiones (véase siguiente figura). De lo anterior el subsistema 3, lo conformaron 6 pozos siendo estos PB-11, PB-12, PB-13, PB-14, PB-15 y PB-16, mientras que el subsistema 4 quedó integrado por 2 pozos (PB-17 y PB-18).

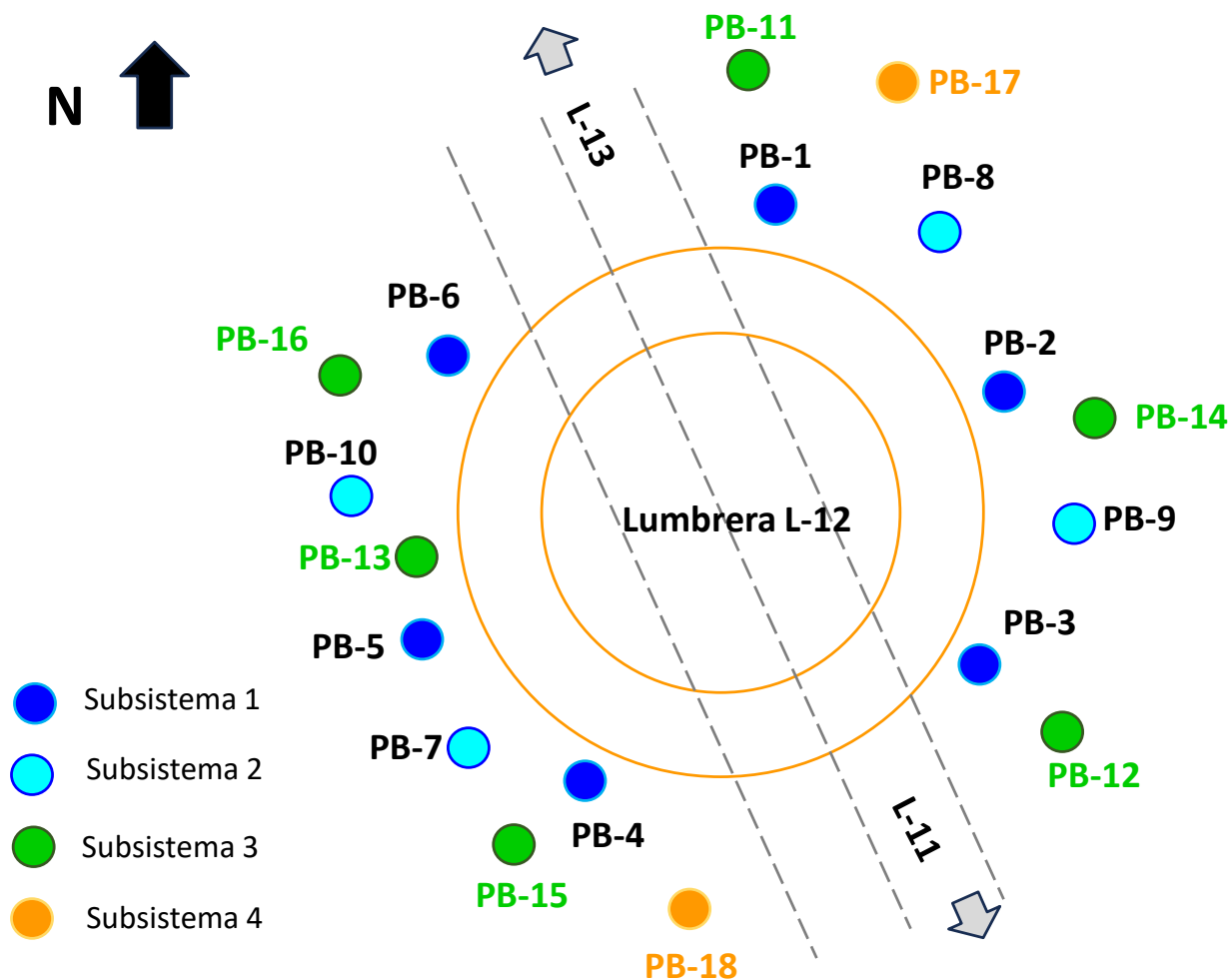


Figura 78.- Sistema de bombeo integral conformado por 18 pozos de bombeo para la lumbrera L-12 (Fuente: CONAGUA-COMISSA, readecuado por S. González 2023).

2.5.1 SUBSISTEMA 3 (CON LA INCORPORACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS 1 Y 2)

En la siguiente figura se muestra de manera gráfica el comportamiento de los niveles dinámicos promedio de los 6 pozos de bombeo (PB-11 a PB-16) que conforman el subsistema 3, el cual inicio la operación de los pozos el 21 de abril de 2011, observándose en la gráfica correspondiente que para el periodo estimado entre el 26 de mayo de 2011 y 5 de septiembre de 2011, se logró que los niveles dinámicos se abatieran por debajo del nivel máximo de excavación (véase subsistema de pozos 2 y 3). El nivel de excavación del núcleo de la lumbrera para las fechas mencionada se detectó en el rango de 66 a 74 m.

Evolución de los niveles dinámicos con 16 pozos de bombeo

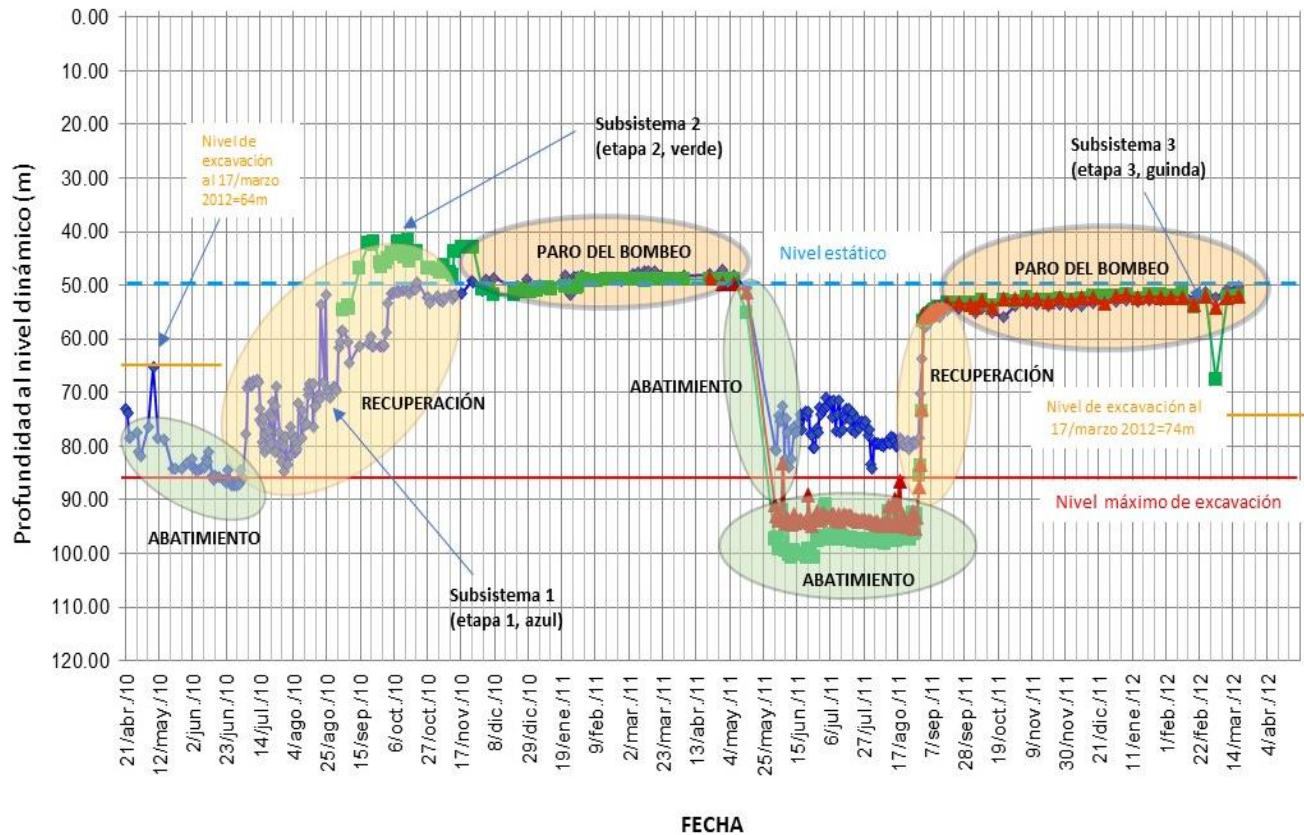


Figura 79.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 16 pozos de bombeo. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

2.5.2 SUBSISTEMA 4 Y BOMBEO INTEGRAL

La operación completa del sistema de bombeo con los 18 pozos de bombeo se muestra en la siguiente figura junto con los hechos relevantes durante las diferentes etapas del bombeo, misma que contiene el subsistema No.4, el cual comprende la operación de los pozos PB-17 y PB-18, a partir del día 24 de marzo de 2012 y hasta 2 de septiembre de 2012. Posterior a esa fecha se concluyó el bombeo y a partir de ese momento se realizó el monitoreo por un mes, situación que se refleja con la recuperación del nivel estático. El fin de la excavación de la lumbrera corresponde a la fecha del 6 de junio de 2012, pero el monitoreo continuo hasta octubre de ese mismo año. Una vez concluida la excavación de la lumbrera se continuo el bombeo del orden de 3 meses, para poder realizar la construcción de la losa de fondo y esperar a su fraguado hasta alcanzar su resistencia adecuada.

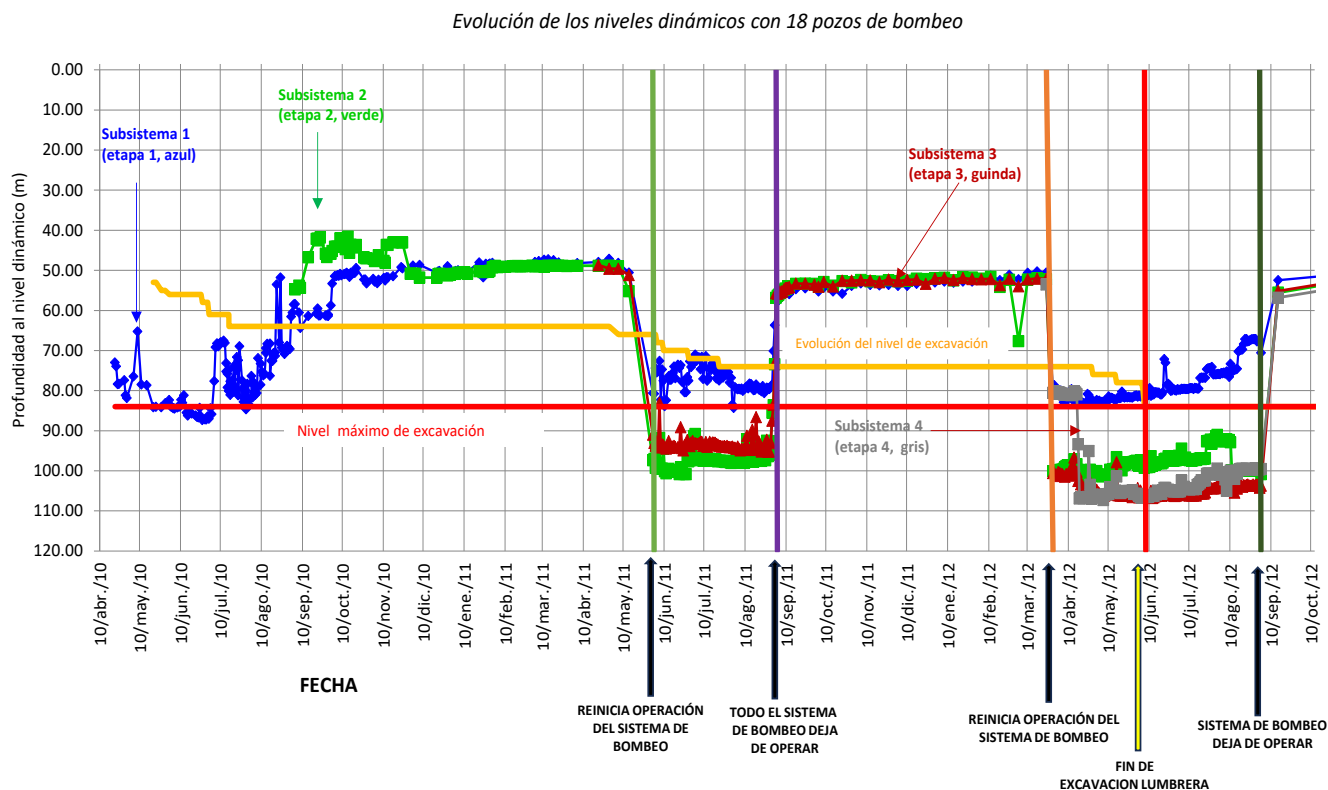


Figura 80.- Comportamiento de los niveles dinámicos con 18 pozos de bombeo. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

2. 6 CAUDALES DE EXTRACCIÓN DE LOS SISTEMA DE ABATIMIENTO Y BOMBEO DE ACHIQUE

Referente a los caudales de extracción del sistema de bombeo, estos fueron variables por aspectos de operación (paro de pozos, falta de bombas, entre otros), sin embargo, para tener una idea del orden magnitud los caudales máximos extraídos para cada subsistema de manera independiente y acumulados fueron los siguientes, para diferentes fechas.

- i. *Subsistema I* (pozos PB-1 a PB-6): el 1 de julio de 2010, con la operación de los 6 pozos se logró extraer un caudal (Q) de 114.28 l/s con un nivel estático del orden de los 50m y un nivel dinámico promedio de 87m de profundidad, por lo que se tuvo un abatimiento de 37m bajo estas condiciones. En cuanto al bombeo de achique este fue de 85.36 l/s, por lo que el caudal acumulado de los pozos y de achique correspondía con 199.64 l/s. En ese momento el nivel de excavación de la lumbrera era 61m. Cabe mencionar que el caudal de este subsistema tuvo mermas en su producción, detectándose gastos de hasta 13.38 l/s.

- ii. *Subsistema II* (pozos PB-7 a PB-10): el 30 de abril de 2012 con la operación adicional de los 4 pozos correspondientes, se logró extraer un caudal acumulado de 154 l/s, con un nivel dinámico promedio de 98.70m. Si se considera un nivel estático del orden de 50m, el abatimiento sería 48.70m. En ese momento el nivel de excavación de la lumbrera era 76m.
- iii. *Subsistema III* (pozos PB-11 a PB-16): el 30 de abril de 2012 con la operación adicional de los 6 pozos referidos, se extrajo un caudal acumulado de 303 l/s. Esto permitió mantener el nivel dinámico a la profundidad de 98.70m.
- iv. *Subsistema IV* (pozos PB-17 y PB-18): El caudal entre ambos pozos corresponde con 105 l/s para el día 30 de abril de 2012. El caudal máximo acumulado de todos los pozos corresponde a 614.34 l/s, más el bombeo de achique de 12.22 l/s.

Operación conjunta de todos los subsistemas

En la siguiente tabla se muestran los caudales de extracción acumulados. Destacando las fechas donde se obtuvieron caudales acumulados mayores de 600 l/s de todos los pozos de bombeo y el cual también considera el bombeo de achique. Es importante mencionar que la suma de caudales de manera independiente por pozo fue 688 l/s y que este se redujo por la interferencia hidráulica durante la operación entre estos.

Fecha	Caudal (l/s) de los pozos de bombeo	Caudal (l/s) de achique	Caudal acumulado (l/s), pozos + achique	Nivel estático (m)	Profundidad al nivel dinámico (m) promedio	Abatimiento (m)	Nivel de excavación (m)
03/06/2011	598.76	25.00	623.76	50.00	89.12 (pozos PB-1 a PB-16)	39.12	66.00
27/08/2011	569.00	25.51	594.51	50.00	90.33 (pozos PB-1 a PB-16)	40.33	74.00
18/04/2012	614.34	12.22	626.56	50.00	97.78 todos los pozos	47.78	74.00
30/04/2012	575.38	15.38	590.76	50.00	98.70 todos los pozos	98.7	76.00
16/05/2012	589.29	18.33	607.62	50.00	94.51 todos los pozos	44.51	78.00
05/06/2012	546.67	28.56	575.23	50.00	98.30 todos los pozos	48.3	80.00
10/06/2012	570.92	26.80	597.72	50.00	97.86 todos los pozos	47.86	84.00

Tabla 11.- Caudales de extracción del sistema de bombeo integral. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

2.7 EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS DE BOMBEO

Dado que inicialmente no se conocía la capacidad de producción ni la respuesta de los pozos. Los primeros 6 pozos (PB-1 a PB-) se equiparon con bombas tipo UPA 250 C250 de 135 HP, para cargas dinámicas totales de 100m, de capacidad nominal para gastos entre 70 l/s y 75 l/s, con una longitud aproximada de la bomba de 2.70m y diámetro de 241mm. Esta condición estaría supeditada a los resultados de las pruebas de

bombeo en los pozos. Los equipos de bombeo para los pozos correspondientes fueron: PB-1, PB-3 y PB5 con bombas de 30 HP, los pozos PB-2, PB-4 y PB-6 se equiparon con bombas de 135 HP. Posteriormente se realizaron ajustes dependiendo de la respuesta de cada pozo. El arreglo general del equipo de bombeo para los pozos se muestra en la siguiente figura.

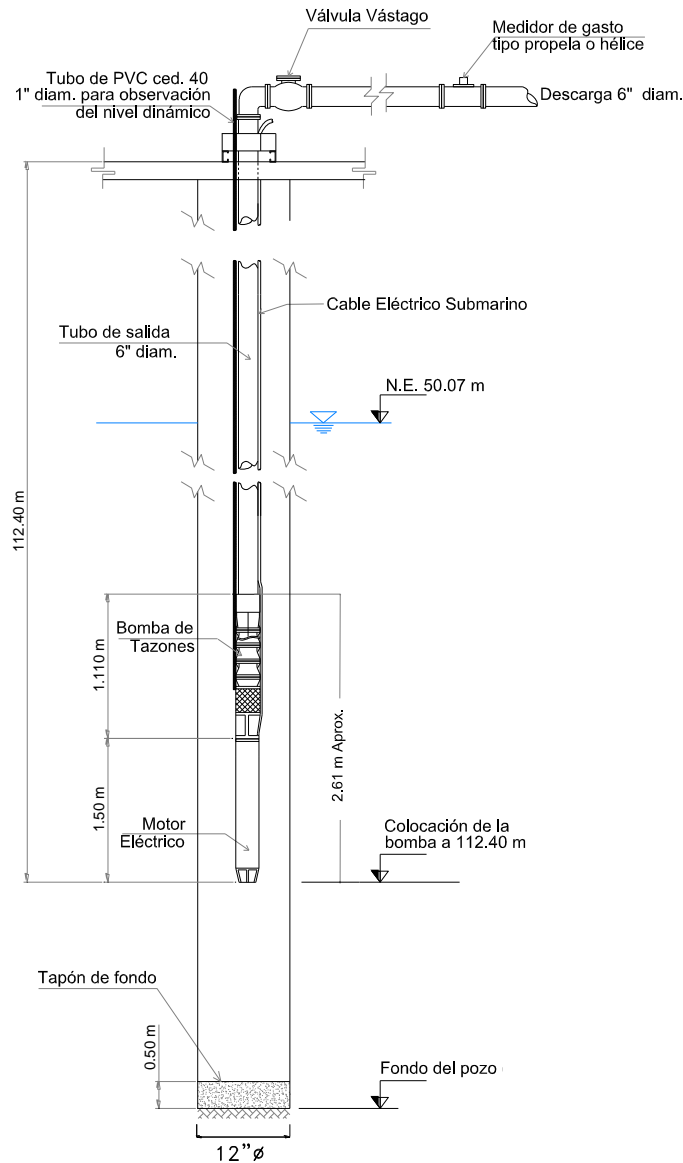


Figura 81.- Arreglo geométrico del equipamiento de los pozos de bombeo (Fuente: CONAGUA- COMISSA).

Sin embargo, de acuerdo con la operación de los pozos y a su comportamiento, la ubicación de la bomba quedo a diferentes profundidades de acuerdo con la condición de cada pozo, a saber: entre 88.71m y 95.74m

para el caso de los pozos PB-1 a PB-6, a 112.4m para el pozo PB-7, entre 130.5 y 133.5m para los PB-8 a PB-10. De manera similar para los pozos PB-11 a PB-18 (entre 130m y 134m).

En cuanto al bombeo de achique, se suministró una bomba godwin pumps con motor a diésel, modelo HL 160 DRI PRIME con capacidad nominal (carga máxima de hasta 183m), para flujo máximo de 126 l/s, motor Caterpillar 3406-C, con potencia de 440 HP 2000 rpm además para el bombeo de achique se contó con dos bombas adicionales, una de 135 HP y otra de 20 HP, para gastos de 60 l/s y 11 l/s, respectivamente. El bombeo de achique se necesitó debido a que el agua subterránea se infiltró y permeó hacia la zona de excavación convencional del núcleo de la lumbrera.

2.8 MONITOREO DE LA INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA

De acuerdo con los resultados del monitoreo y acorde a la fecha del 5 de mayo de 2010, se tenían los siguientes resultados:

Bancos de nivel superficial radiales al brocal de la lumbrera. - El movimiento máximo registrado en la mojonera BCS-L12-L-A-5, fue de 23.0 mm y cero movimientos en la mojonera BCS-L12-L-C-5. Una vez que se revisaron y analizaron las lecturas obtenidas topográficamente y se compararon con las que resultaron de los análisis técnicos, se concluye que la deformación máxima reportada en el cálculo respectivo fue de 15.3 cm, que es mucho mayor a la obtenida de 23.0 mm, por lo tanto, no representó ningún riesgo de inestabilidad de la lumbrera (COMISSA, 2010).

2.9 MONITOREO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA

2.9.1 POZOS DE OBSERVACIÓN

El pozo de observación somero (POL-L12-01) instalado en la ingeniería básica, presentó niveles estáticos que variaron muy poco con el tiempo y la influencia del bombeo fue nula. El pozo se instaló a 17.50m de profundidad su lectura inicial corresponde con un nivel estático de 12.51m realizada el 13 de agosto de 2008. Durante el periodo del 21 de agosto de 2009 y 8 de septiembre de 2012, las lecturas de los niveles se detectaron entre 12.00m y 13.55m, respectivamente. Las variaciones se debieron a aspectos de tipo estacional (época de lluvia o estiaje). Por otra parte, en lo que respecta al pozo de observación profundo denominado POL-L12-02 instalado a 92.5m de profundidad, tuvo el siguiente comportamiento en términos generales: Del periodo comprendido entre el 21 de abril de 2011 y 14 de mayo de 2011, la profundidad al nivel estático se detectó entre 49.20m y 50.96m. Durante el bombeo, los niveles se abatieron hasta 58.06m de profundidad (junio de 2011). El comportamiento histórico correspondiente del pozo de observación durante el monitoreo se muestra en la siguiente figura.



Figura 82.- Monitoreo del pozo de observación POL-L12-02 instalado en la lumbrera L-12. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

2.9.2 PIEZÓMETROS Y ABATIMIENTO DE LAS PRESIONES DE PORO

Los piezómetros instalados durante la etapa de ingeniería básica fueron monitoreados antes, durante y después de la construcción de la lumbrera L-12 y su comportamiento de las presiones del agua se muestran en la siguiente figura. Al respecto cabe mencionar que las presiones de poro en el piezómetro instalado a 85.30m de profundidad las presiones se abatieron durante el bombeo de 37.96 t/m^2 hasta aproximadamente 6 t/m^2 y el piezómetro instalado a 68.90m de profundidad las presiones se abatieron de 24.44 t/m^2 hasta 0 y 4 t/m^2 respectivamente.



Figura 83.- Monitoreo de piezómetros instalados en el entorno de la lumbrera.

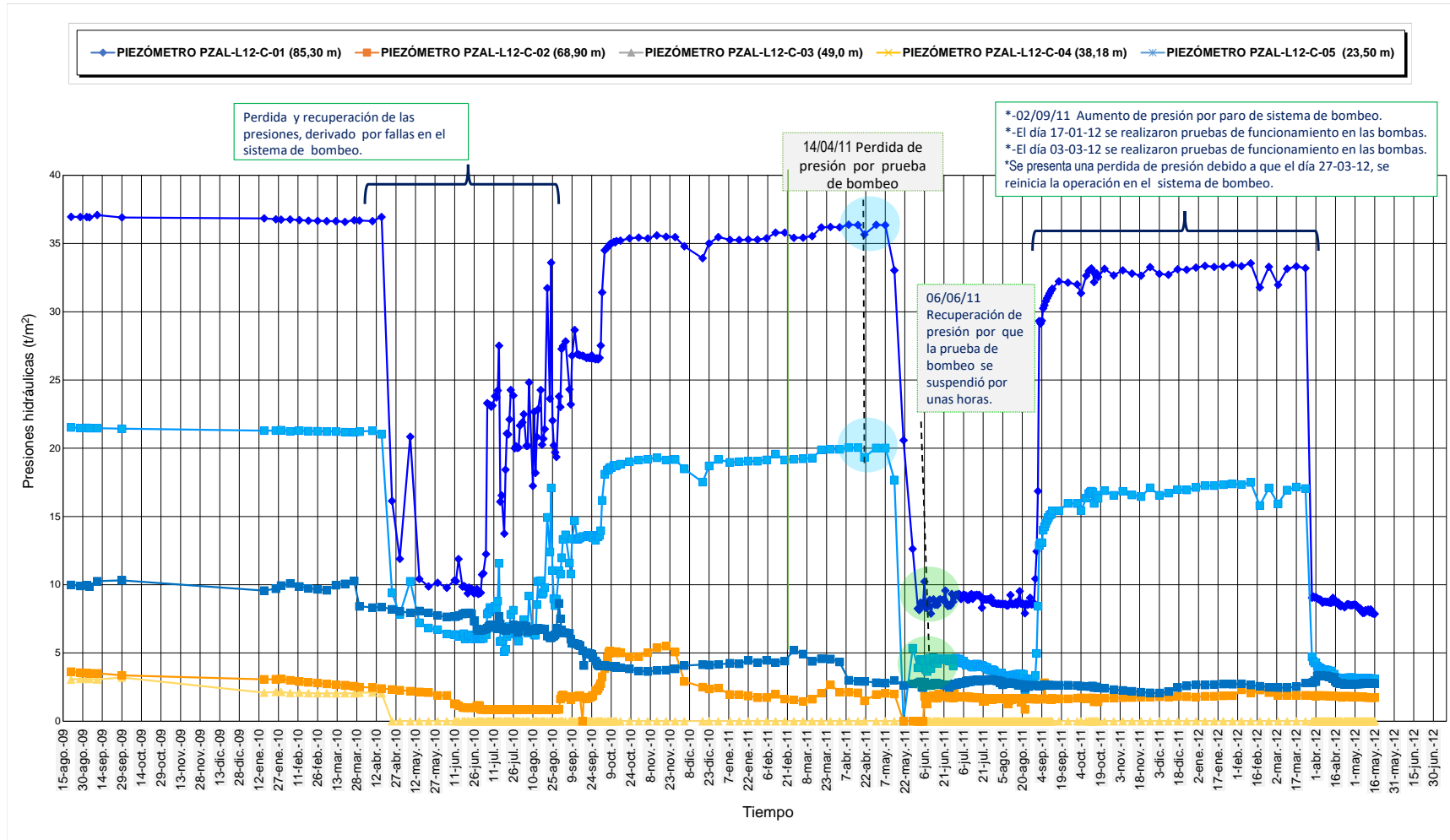


Figura 84.- Comportamiento de las presiones en piezómetros de la ingeniería básica. (Fuente: CONAGUA- COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

Las presiones de poro medidas en los piezómetros se muestran en la siguiente figura, donde se observa su comportamiento a diferentes profundidades, así como su magnitud y su relación con la presión hidrostática, observándose que estas se encontraron abatidas.

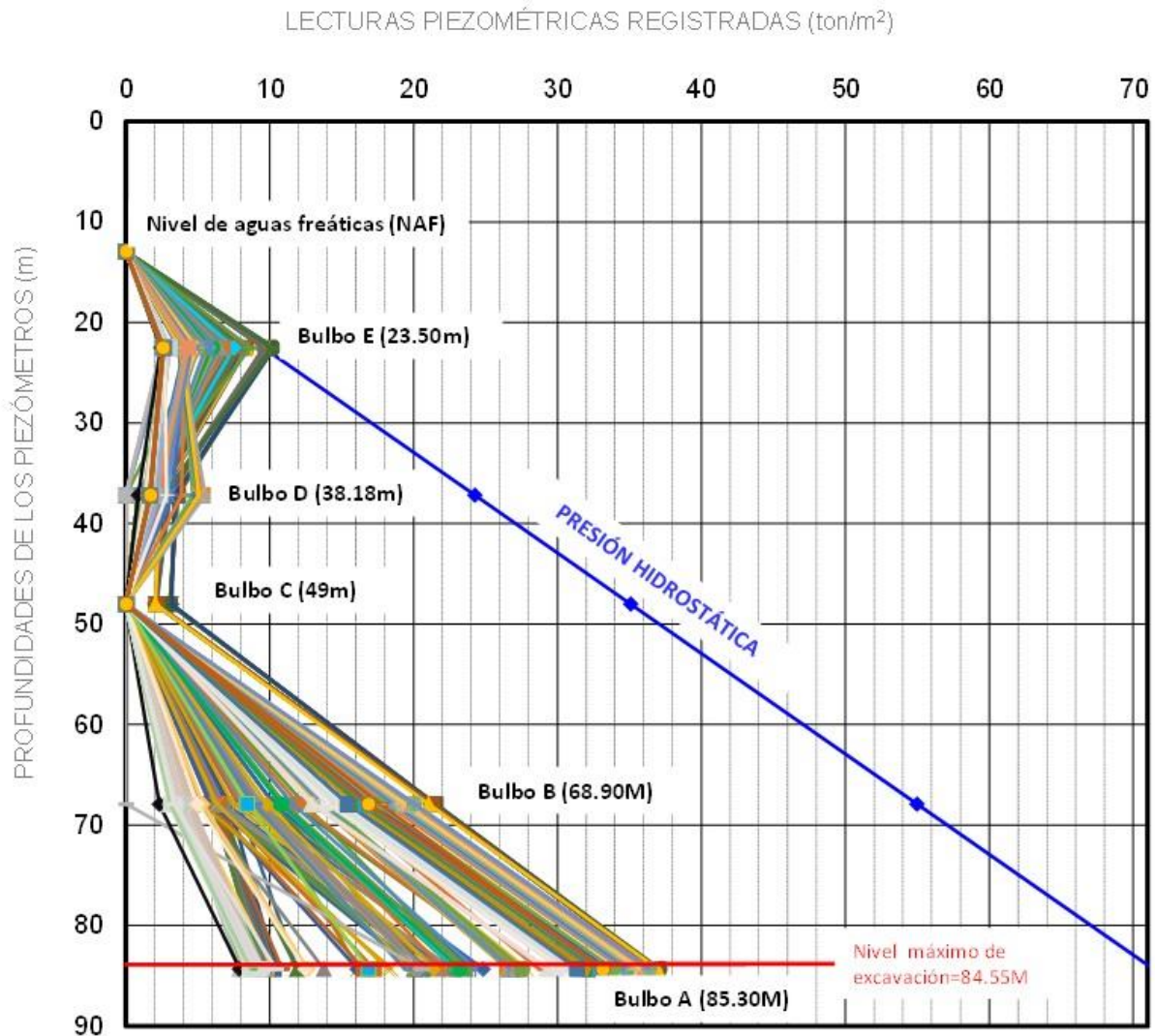


Figura 85.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetros abiertos de la ingeniería básica. (Fuente: CONAGUA-COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

En lo que respecta a los piezómetros abiertos instalados durante la obra, siendo estos los piezómetros PZAL-L12-06 instalado a 95m de profundidad y PZAL-L12-07 instalado a 45m de profundidad, su comportamiento se muestra en la siguiente figura. Destacando que las presiones mostradas ya estaban abatidas. Los valores de presiones de poro en condiciones abatidas fueron del orden de 26 t/m² y sin abatir del orden de 45 t/m², esto para el caso del piezómetro más profundo.

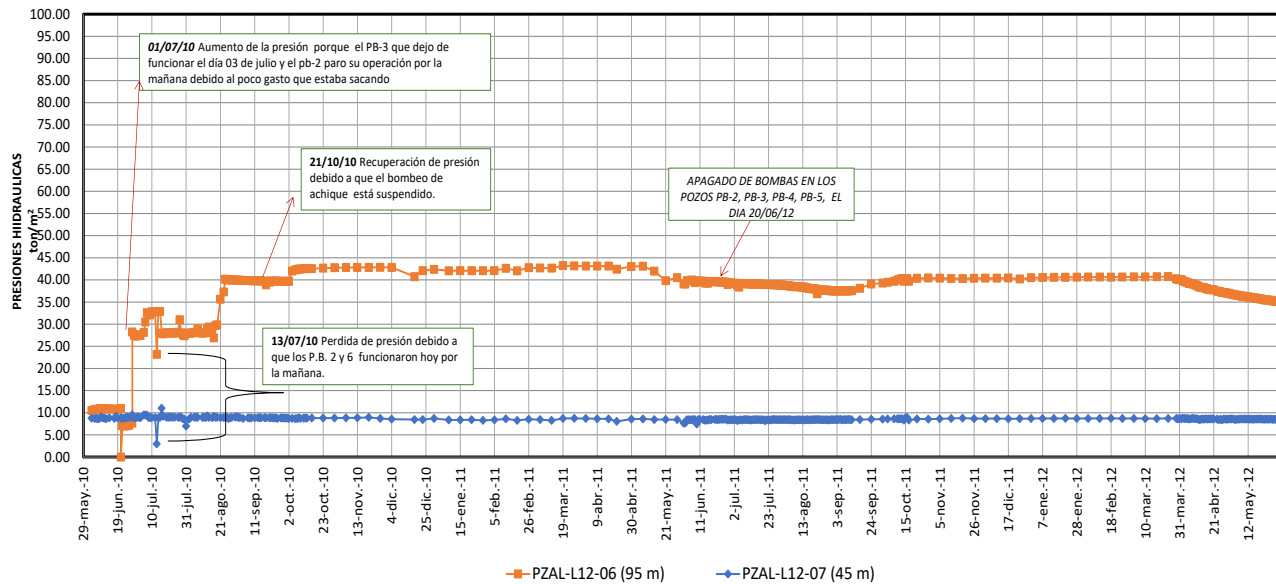


Figura 86.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetros abiertos construidos durante la obra. (Fuente: CONAGUA-COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

En cuanto al único piezómetro eléctrico de cuerda vibrante instalado a 90m de profundidad, la evolución y el comportamiento de las presiones de poro ante el efecto de los pozos de bombeo, se muestra en la siguiente figura, en la cual se aprecia que las presiones casi se abaten en su totalidad, es decir casi llegan a valores de 2 t/m^2 cuando su condición sin bombeo era del orden de 36 t/m^2 .

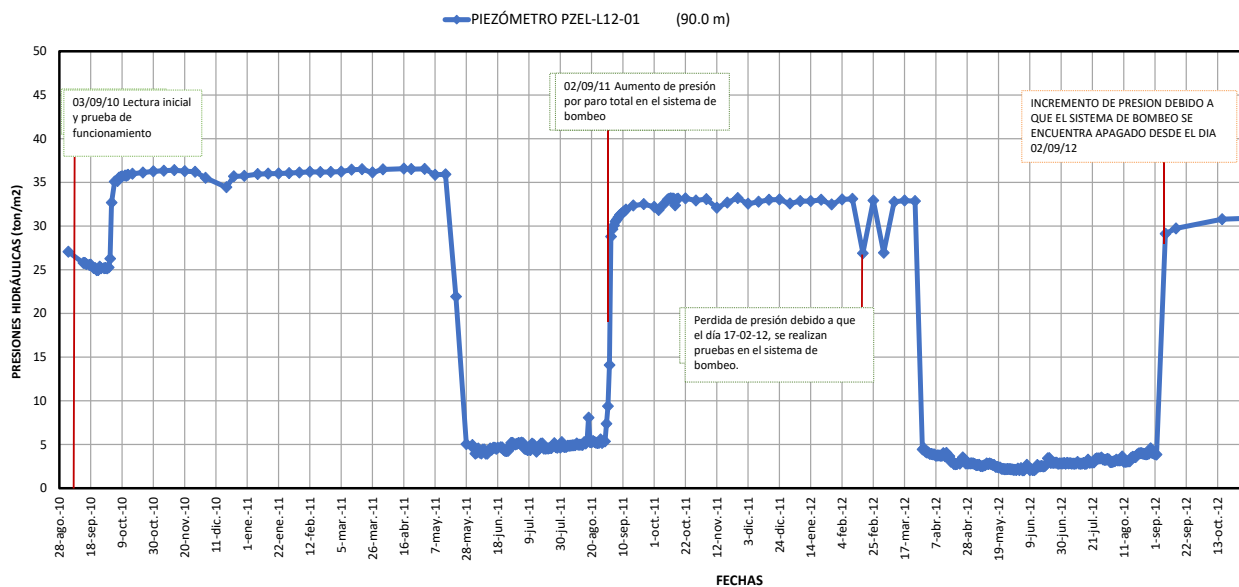


Figura 87.- Comportamiento de las presiones de poro en piezómetro eléctrico construido durante la obra. (Fuente: CONAGUA-COMISSA, 2012 readecuado por S. González 2023).

2.9.3 EXTENSÓMETROS DE BARRA

El comportamiento de los tres extensómetros de barra, se muestran en la siguiente figura donde se indican los desplazamientos medidos en el tiempo y se aprecian los hechos relevantes durante el monitoreo. Se observa que, a partir de mayo de 2011 los desplazamientos verticales no presentan variaciones importantes, por lo que en términos generales se mantuvieron estables. Se destaca que se presentaron emersiones de 57.39 a 70.53mm para los extensómetros EXTL-L12-01 y EXTL-L12-03 y de manera similar para el extensómetro EXT- L12-02 de 46mm a 53mm, sin que esto haya generado algún efecto secundario.

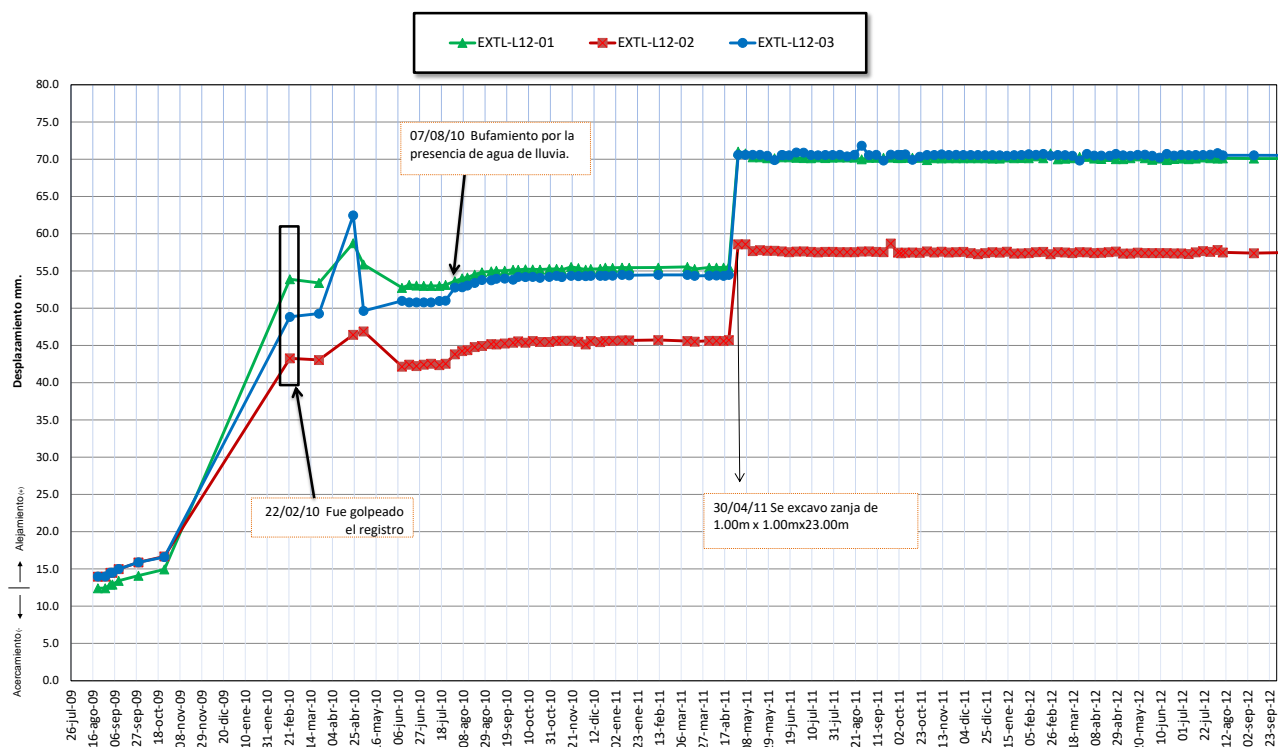


Figura 88.- Monitoreo de los extensómetros de barra

2.9.4 INCLINÓMETROS

Se realizó la medición en 4 inclinómetros, de los cuales 2 quedaron instalados a 42m de profundidad (se denominaron inclinómetros cortos) dentro del muro Milán (INC-L12-02 y INC-L12-04) y otros dos inclinómetros instalados a 92.5m de profundidad (inclinómetros largos, que comprenden muro Milán y zona de terreno natural que forma parte del tramo de excavación convencional, INC-L12-01 y INC-L12-03). De los resultados del monitoreo se establece que los inclinómetros cortos, no detectaron desplazamientos en la zona comprendida entre 0 y 42m. En lo que respecta a los inclinómetros largos, los desplazamientos medidos

fueron de 2.32 cm y corresponden a la zona de excavación convencional, esto sin que genere problemas de estabilidad.



Figura 89.- Equipo de monitoreo (cortesía RST Instruments) y toma de lecturas en inclinómetro.

CAPÍTULO 3.- PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LOS SISTEMAS DE ABATIMIENTO DE LA PRESIÓN DE PORO Y EN EL DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA Y GEOHIDROLÓGICA

Uno de los problemas de construcción es el control de la cantidad de agua subterránea que afecta una obra. En muchas ocasiones el problema se complica por considerar medidas deficientes tales como comunicar diversos acuíferos aislados, por mal diseño del sistema de abatimiento, por no entender la hidrogeología del medio, por el proceso constructivo mismo de la obra y de los pozos, por operación limitada o deficiente, por falta de equipos de bombeo y de monitoreo, por interpretación escasa o errónea, entre otros, lo que se traduce en debilidades de los trabajos y puede ocasionar que se tenga mayor flujo de agua a las obras. Cabe mencionar que, en la construcción de cualquier obra subterránea, las presiones y la cantidad de agua en el subsuelo son factores de diseño que deben conocerse a detalle. De lo anterior resulta necesario establecer el diseño adecuado de los pozos (diámetros, profundidades, filtros, longitud conveniente de tubería ranurada y lisa, distancia de separación de pozos con relación a las estructuras, número de pozos, entre otros), así como definir las características de los equipos de bombeo (potencia, sumergencia, longitud de la columna de la bomba, diámetros de los equipos de bombeo, compatibilidad de los equipos de bombeo con los pozos de abatimiento).

Es importante planear de manera adecuada y prever de manera oportuna las acciones para realizar los estudios previos para un diseño funcional y adecuado de un sistema de abatimiento, esto implica conocer de manera puntual los aspectos técnicos para proporcionar una solución funcional. Muchas de las acciones en materia de abatimiento de las presiones de poro, hidrostáticas y de acuíferos en diversas etapas se debe a la falta: a) estudios especializados, b) personal calificado, c) falta de presupuesto, d) tiempo, e) planificación, entre otras acciones que traen consigo retrasos, sobrecostos, obras inconclusas, reclamos, además de otros.

3.1. PROYECTO PILOTO

Una vez que se tenga conocimiento de las condiciones del agua subterránea, tipo de suelo, aspectos geológicos, geohidrológicos, geotécnicos, del tipo de obra y características relevantes, se recomienda plantear un proyecto piloto que permita sensibilizarse sobre la condición real que se va a presentar durante la construcción de la obra que corresponda, permitiéndose tomar a tiempo las acciones oportunas para buscar asegurar la confiabilidad de cualquier obra, bajo el escenario de planteado.

El **proyecto piloto** debe de considerar las siguientes acciones, que se indican de manera enunciativa más no limitativa:

- i. **Estudios de ingeniería básica** confiables realizadas in situ con enfoque hacia los sistemas de abatimiento, queden la pauta para saber dónde se requiere bombear agua del subsuelo, en que estratos se localiza, que espesores y características técnicas, entre otros y con base en ello establecer el proyecto de pozos de abatimiento. En esta etapa se debe considerar el *proyecto de instrumentación para el proyecto piloto*.
- ii. **Diseño de pozos de abatimiento** adecuados para realizar la extracción de agua en zonas dirigidas para abatir presión y que solamente comprenda los estratos o acuíferos que generen subpresión, empujes, entradas de agua a las excavaciones, entre otros. El diseño deberá considerar el sellado de estratos con presencia de agua, que no sean de interés.
- iii. **Diámetro y profundidad del pozo de prueba**, deben considerar:
 - a) **El diámetro del pozo** es importante debido a que en él se instalará un equipo de bombeo con dimensiones específicas que proporcionen la capacidad suficiente para lograr los abatimientos requeridos que permitirán construir la obra, sin embargo, esta condición no siempre se cumple debido a que:

Al pozo existente “se le pone la bomba que le quede o la que se tenga in situ”, esto puede ser un equipo de capacidad “limitada o sobrada” y características inapropiadas con las que no se pueden lograr los abatimientos de presión y caudal esperados o bien caudales excesivos, según sea el caso. Se podrán abatir las presiones y bombear agua del subsuelo, pero no se alcanzarán los resultados de un sistema eficiente.

b) **La profundidad de los pozos** se define en función de los estratos que se tengan en la zona, el tipo de estructura y nivel máximo de excavación considerado en el procedimiento de construcción. Se exponen tres variantes relacionadas con la profundidad de perforación de los pozos que ocasionan problemas durante la construcción:

1. El riesgo de realizar **pozos “Rabones”** o pozos cortos, provoca que se pierda funcionalidad, ya que, al tener una profundidad limitada y no alcanzar los estratos de interés, no se podrá alcanzar los objetivos planteados, por no llegar a la profundidad adecuada donde se requiere extraer el agua en el subsuelo.

2.- **Pozos excedidos en su profundidad**, el riesgo de estos pozos es que pueden inducir mucha más agua a las obras por comunicar acuíferos ubicados mucho más abajo del nivel máximo de excavación con el estrato permeable en el que se necesita abatir la presión, complicándose el manejo y control de las aguas subterráneas.

3.- **Pozos de profundidad justa o limitada**, con estos se corre el riesgo de no alcanzar los abatimientos proyectados, esto trae como consecuencia un bombeo deficiente. Por ejemplo, si el nivel máximo de excavación es de 84.55m de profundidad y se requiere abatir a esa profundidad, un diseño inapropiado sería tener un pozo para abatir las presiones de igual profundidad, a esta condición habrá que considerarle la ubicación y las características del equipo de bombeo.

iv. **La verticalidad del pozo** es otro aspecto indispensable a considerar. En la mayoría de los casos observados los pozos quedan muy pegados a las excavaciones durante la construcción de las obras, por ejemplo, se ha recuperado el filtro del pozo durante la fase de excavación de la obra, porque no se considera la no linealidad de la perforación. Es necesario ubicar los pozos a una distancia adecuada de las estructuras que requieren abatimiento de los diferentes niveles de agua subterránea. Para determinar la distancia correcta entre la estructura y el (los) pozo (s) se debe considerar la permeabilidad de los materiales del subsuelo, una permeabilidad alta genera conos de abatimiento “reducidos” o “no tan amplios”, con gradientes hidráulicos que provocan el arrastre del material de la pared de la lumbrera o estructura(s) hacia el(los) pozo(s) y también tomar en cuenta la tolerancia del desalineamiento vertical del equipo de perforación del pozo más el de la estructura, con el fin de asegurar una separación adecuada con respecto a los bordes o perímetros entre el pozo y la estructura que corresponda.

- v. Es necesario realizar un cuidadoso **proceso constructivo de los pozos** de abatimiento para evitar entradas de agua de estratos que no sean de interés. Los pozos deben de lavarse, desarrollarse y aforarse.
- vi. Se deberá realizar una **prueba de aforo** escalonada, con el propósito de saber cuál es el caudal adecuado para lograr abatir las presiones en el(los) estrato(s) que generan problemas geotécnicos y geohidrológicos para poder realizar la obra. La prueba deberá tener la duración suficiente para lograr los objetivos planteados. Dado que inicialmente no se conocen las características hidráulicas, no es adecuado definir tiempos de duración de la prueba dado que depende del medio geohidrológico donde se ubica y de su respuesta ante la extracción. En esta etapa deberá de realizarse el monitoreo de los niveles freáticos, piezométricos y presiones de poro, mediante la instrumentación que corresponda.
- vii. El **equipo de bombeo** para las pruebas de aforo y de bombeo, deber tener la capacidad adecuada para poder abatir a los niveles de interés en el pozo así mismo el tipo de bomba y una ubicación adecuada del equipo será importante para lograr los objetivos planteados.
- viii. Una vez concluida la prueba de aforo se deberá de realizar una **prueba de bombeo** con el caudal adecuado para conocer el comportamiento del(os) pozo(s) de prueba y los parámetros hidráulicos, se deberá realizar el análisis e interpretación de los datos obtenidos que correspondan, para valorar el proyecto piloto. De este análisis podría tenerse los siguientes escenarios: a) Que con los pozos planteados se logra abatir hasta los niveles objetivo, b) Que el proyecto piloto quede justo y se requiera uno o varios pozos adicionales, para lograr las metas planteadas y c) Que los resultados indiquen que no se puede abatir con el proyecto piloto implementado y que requiera ajustes.
- ix. En caso del inciso anterior y en particular cuando el proyecto piloto implementado resulte que no es suficiente para alcanzar los abatimientos requeridos entonces se podrá **diseñar un sistema de bombeo** mediante un software especializado, para este tipo de trabajos. Los parámetros obtenidos del proyecto piloto deberán de alimentar a un modelo de flujo para definir la cantidad de pozos, los caudales y acciones que correspondan.
- x. De manera simultánea a la construcción de los pozos de abatimiento se deberá de realizar la **instrumentación**, construcción e instalación de pozos de observación y piezómetros adecuados, para conocer los niveles freáticos y presiones de poro antes, durante y después de la prueba piloto. Esta acción se hace extensiva también para los sistemas de abatimiento finales que se ocupen para el monitoreo durante la operación de los pozos de bombeo en la construcción de cualquier obra. Si

el proyecto piloto indica la necesidad de otros tipos de instrumentos deberán de considerarse (inclinómetros, extensómetros, referencias superficiales, entre otros).

3.2 ESTABLECIMIENTO DE POLÍTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Es importante indicar como va a operar el sistema de bombeo, en este sentido se debe de conocer y medir: tiempos de operación, caudal de extracción por pozo y del sistema, niveles estáticos de cada pozo, niveles dinámicos los cuales deberán de permanecer siempre por debajo de los avances del nivel de excavación real y en su caso por debajo del nivel máximo de excavación de la obra que corresponda, medición del abatimiento por pozo, volúmenes de agua extraída, entre otros.

A. *Equipo de bombeo*

Para la operación, es necesario tomar en cuenta lo siguiente: En la selección del equipo de bombeo generalmente suele ocurrir que este no es compatible con el pozo o la bomba que es de capacidad inapropiada, de lo anterior se deriva:

a) **Equipo de bombeo de poca capacidad o de capacidad limitada.** Bajo estas condiciones no se podrán lograr los abatimientos requeridos para la obra. Se podrá lograr abatir la presión de manera parcial y obtener un caudal, pero estos no serán suficientes para alcanzar los objetivos o factores de seguridad aceptables para la estructura u obra que corresponda.

b) **Equipo de bombeo de capacidad excedida o “sobrada”.** Esto propiciará que las presiones se abatan más rápido de lo esperado y que se tenga un mayor caudal del requerido o se agote el caudal existente. De esta situación se tienen las siguientes variantes: Sí el pozo tiene una aportación limitada o baja, el gasto o caudal se agotará en tiempos “cortos” y se corre el riesgo de que la bomba trabaje en seco trayendo consigo afectaciones al equipo de bombeo (ejemplo: en una obra se planteó la construcción de una lumbrera, para ello se había establecido el empleo de una bomba de 20 HP, sin embargo de las pruebas de aforo se determinó que una bomba de 2 HP era suficiente y que los niveles esperados bajo este escenario se abatieron en menos de 5 minutos del orden de 40m con caudales de hasta 2 l/s por pozo. Como se indica la bomba propuesta originalmente estaba excedida 10 veces en la capacidad requerida).

c) Es necesario se cuente con **equipo de bombeo** y plantas de luz de **respaldo** en la obra, para emplearse caso de emergencia.

B. *Mantenimiento preventivo y correctivo a equipo de bombeo*

Es conveniente mantener en buen estado, garantizar la funcionalidad de los equipos y del sistema, para ello deberá de prever de las refacciones, insumos, materiales, entre otros que sean necesarios para garantizar la operación adecuada del sistema integral. Los mantenimientos deberán de programarse en tiempo y forma, a fin de que se no se vea afectada esta actividad y las que dependen de estos trabajos.

En la operación del sistema de abatimiento, se deberá contar con personal especializado para evitar en medida de lo posible fallas en el sistema. En este sentido resulta importante destacar que en ocasiones los pozos pueden agotar su caudal y la parte operativa para subsanar el problema realiza "retornos", es decir, el agua producto del bombeo de otros pozos, la recarga, inyecta o regresa al pozo de abatimiento con déficit de caudal, esta acción impide abatir las presiones de manera adecuada.

C. Seguimiento y mediciones

Es conveniente realizar la medición de todas las variables operativas en campo (se tomarán los niveles del agua subterránea dentro de los pozos de bombeo, piezómetros y pozos de observación que existan en la zona de interés, caudales por pozo, presiones de poro, entre otros), para ello se levantará un registro de control de estas mediciones con su respectiva interpretación.

Como medida de control se deberá contar con un registro que indique de manera clara la evolución de los niveles de agua en los pozos, tiempos de abatimiento por pozo, horas efectivas de bombeo, gastos por bomba y del sistema, número de bombas en operación, tipo y caballaje de las bombas, entre otros.

D. Suspensión del bombeo

Solo en caso de falla del sistema, los encargados y autoridades del sistema deberán absorber las afectaciones que se deriven por los trabajos correspondientes por deficiencias en su operación, falta de materiales, insumos, personal adecuado, entre otros. El bombeo se suspenderá cuando técnicamente sea justificado.

E. Operación del sistema:

- Podrá realizarse bombeo parcial para la ejecución de pruebas del sistema.
- El sistema completo deberá operar por el tiempo necesario para abatir el nivel de la presión de poro.
- Se recomienda el control del funcionamiento del sistema de bombas se realizará mediante electroneveles, o bien, mediante válvulas de control del gasto de descarga.
- El funcionamiento del sistema deberá ser constante y no podrá detenerse hasta lograr los abatimientos y los niveles dinámicos adecuados acorde a las estructuras en proceso de construcción.

3.3 USO DE TECNOLOGÍA PARA OBTENER MEDICIONES DE DIFERENTES VARIABLES TÉCNICAS.

Actualmente la tecnología está avanzando de manera importante, misma que se puede aprovechar para la toma de lecturas y monitoreo de diversas variables técnicas (niveles estáticos, niveles dinámicos, presiones de poro, entre otras), que facilitan el trabajo de medición. A continuación, se indican de manera enunciativa más no limitativa diversas maneras de efectuar dicha actividad, desde el modo manual hasta el uso de

tecnología reciente (semiautomatizada o automatizada). La selección final dependerá de los costos, tiempo de ejecución, disponibilidad de equipos, precisión de las lecturas para cada instrumento, uso temporal o definitivo, entre otros aspectos a tomar en cuenta en la etapa de planeación o diseño. Es importante mencionar que todos los dispositivos electrónicos deber contar con su certificado de calibración por parte del fabricante o en su caso mandarse a calibrar para obtener lecturas confiables y representativas del sitio que corresponda.

i. Para pozos de abatimiento, pozos de observación y piezómetros

- a. Medición tradicional con sonda piezométrica graduada
- b. Medición con drivers
- c. Medición con instalación de sensores de cuerda vibrante
- d. Medición con dataloggers
- e. Automatización
- f. Telemetría

ii. Para piezómetros eléctricos

- a) Sensores de cuerda vibrante con unidad de lectura
- b) Con dataloggers y antenas DT LINK (HUB), véase siguiente figura.
- c) Automatización
- d) Telemetría



Figura 90.- Instrumentación para obtener lecturas en tiempo real de un grupo de piezómetros eléctricos (Cortesía RST instruments).

iii. *Para inclinómetros*

- a) Sensores de cuerda vibrante con unidad de lectura
- b) Con dataloggers y antenas
- c) Automatización
- d) Telemetría

3.4 AJUSTES EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y REPLANTEAMIENTO EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO

3.4.1 ADECUACIÓN EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA LUMBRERA

Derivado de la presencia de altas presiones de poro y dadas las cantidades de agua subterránea, se proponen las siguientes variantes en el proceso constructivo como medidas de solución: a) proyectar el muro Milán hasta la profundidad del nivel máximo de excavación que corresponde con 84.55m y b) implementar una pantalla impermeable perimetral en la zona de la lumbrera. La pantalla tendrá una profundidad igual que los muros Milán proyectados y permitirá sellar a lo largo de toda la profundidad los estratos o acuíferos que aportan agua a la lumbrera, por lo que el sistema de abatimiento quedará supeditado a evitar la falla de fondo por subpresión y ayudar a que se pueda llevar a cabo la construcción de la losa de fondo. Por lo que el diseño propuesto sería el que se muestra en la siguiente figura, con el propósito de mejorar los aspectos relacionados con el sistema de abatimiento.

Desde luego los aspectos relacionados con el ajuste en el proceso de construcción, tiene implicaciones en un nuevo diseño en sus componentes, mismos que deberán de diseñarse y en este sentido el presente documento no tiene como alcance esos temas (geotécnicos, estructurales, entre otros), pues difiere de los alcances establecidos.

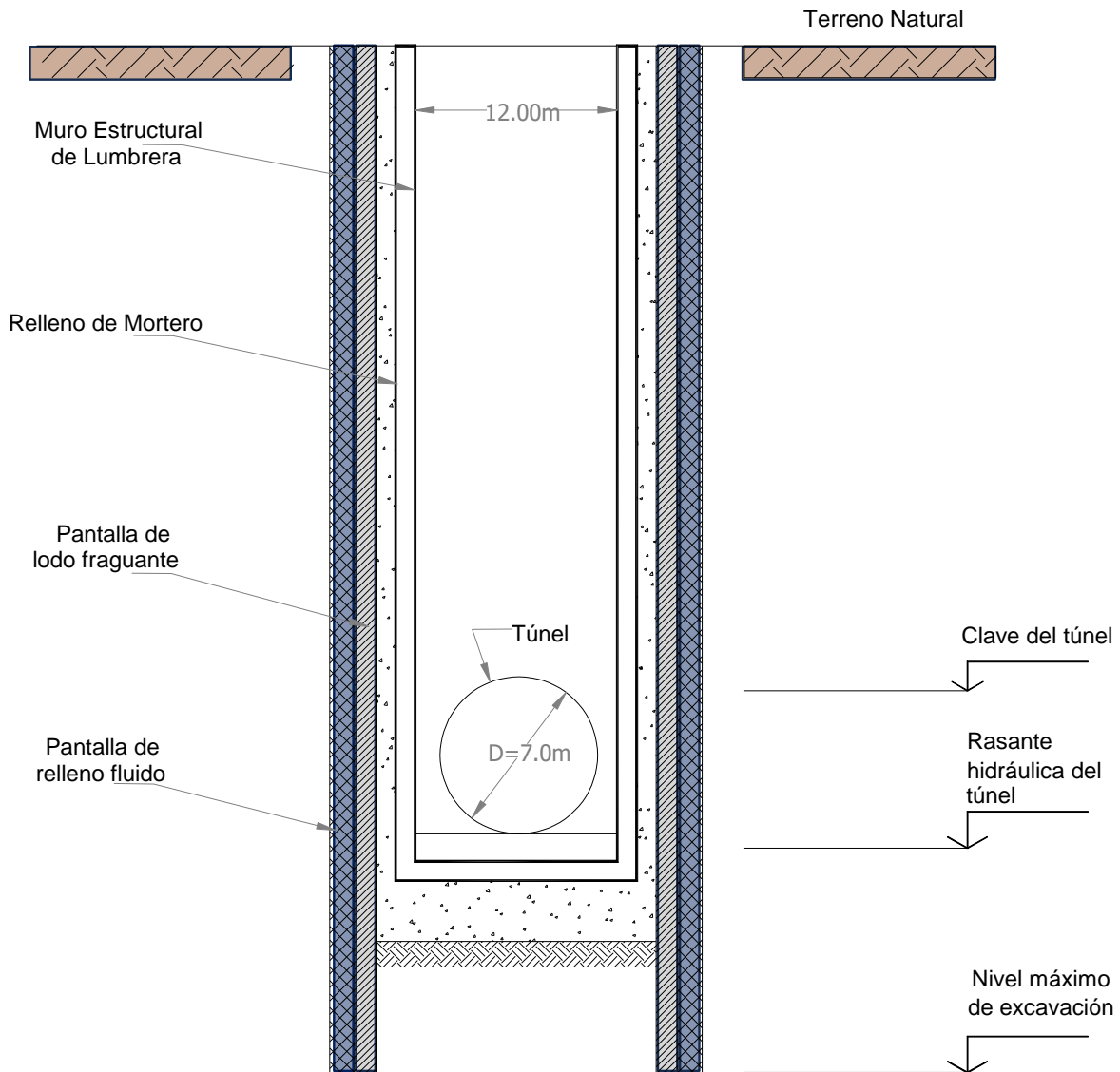


Figura 91.- Ajustes propuestos al proyecto de la lumbra.

3.4.2 REPLANTEAMIENTO EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN

Con base a la readecuación del proceso constructivo se propone el siguiente proyecto piloto, el cual estaría propuesto por 6 pozos de abatimiento de prueba distribuidos de manera equidistante con una profundidad del orden de 130m, con 6 piezómetros (3 abiertos y 3 eléctricos) y 2 pozos de observación como se muestra en planta y en perfil en las siguientes figuras. En este sentido la distribución sería que para cada pozo de abatimiento cuente con un piezómetro cercano para su monitoreo y dicho piezómetro sea común a la vez

para dos pozos de abatimiento, por ello se busca un arreglo geométrico equidistante, redundante, certeza técnica, así como en caso se falla de algún instrumento se tengan elementos de criterio para el control y dirección de los trabajos.

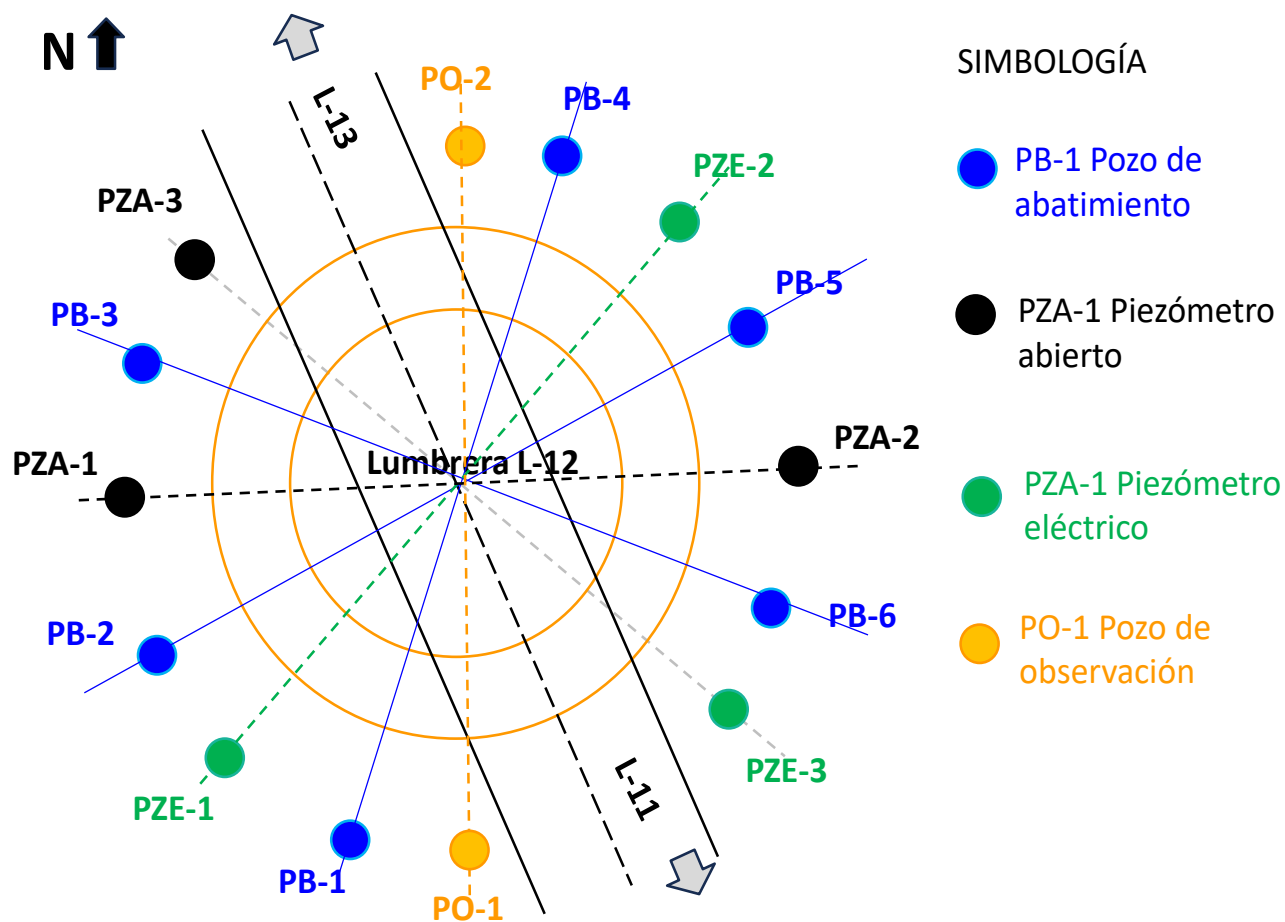
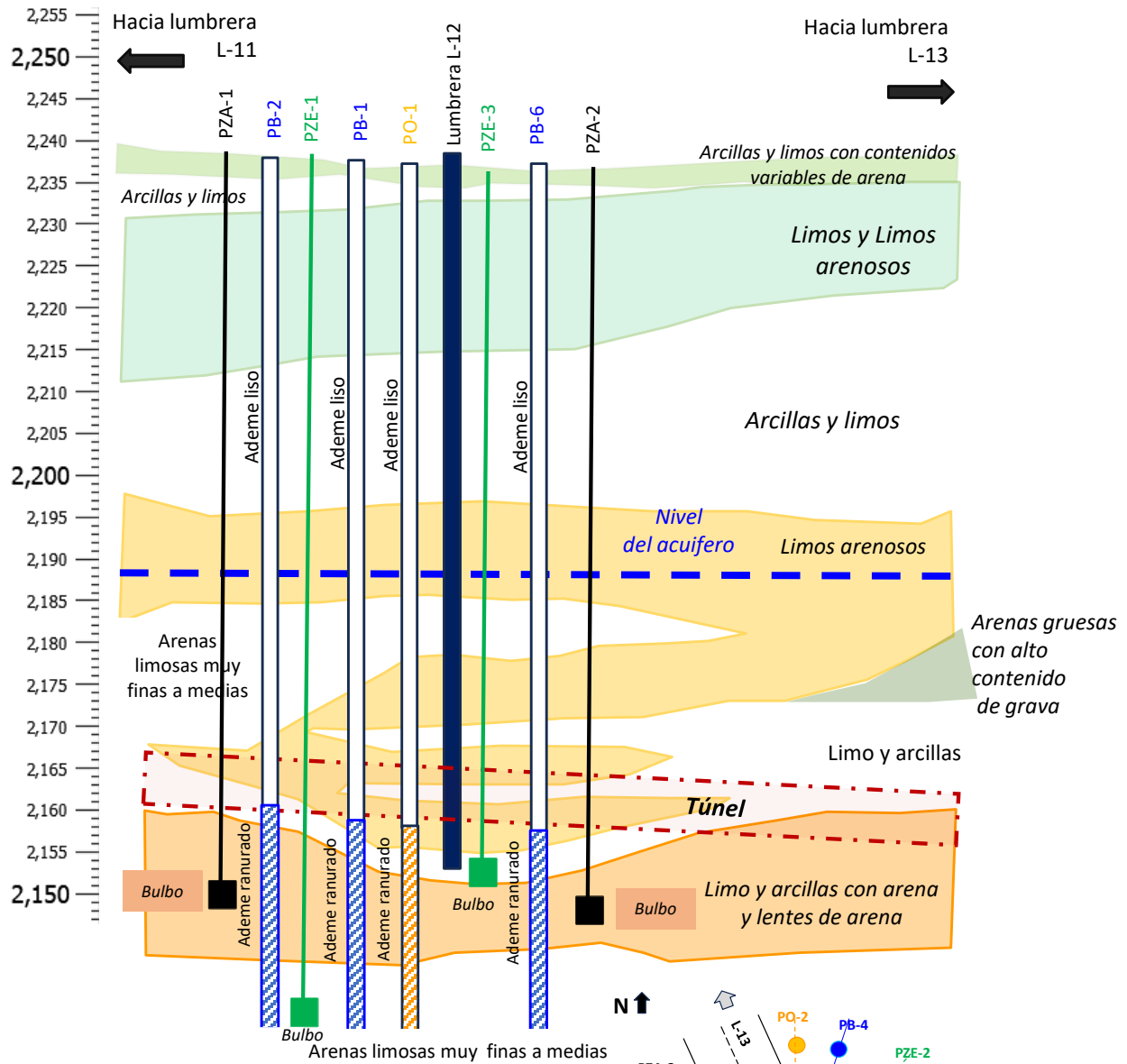


Figura 92.- Proyección en planta de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento.

Las profundidades proyectadas para los piezómetros, pozos de observación y pozos de abatimiento se muestran en las siguientes secciones. Es importante mencionar que es conveniente invertir recursos y realizar una adecuada exploración del suelo, subsuelo y agua subterránea, para obtener mejores resultados y no al revés, es decir, pocos estudios y durante la obra se resuelve "como se pueda", invirtiendo en ocasiones recursos adicionales, lo que puede generar sobrecostos, atrasos y afectaciones.



Sección PZA-1, PB-2, PZE-1, PB-1, PO-1, PZE-3, PB-6 Y PZA-2

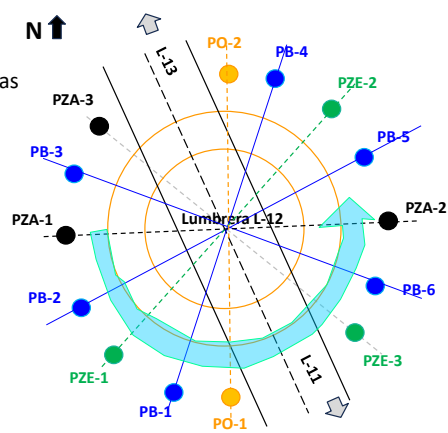


Figura 93.- Proyección de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento.

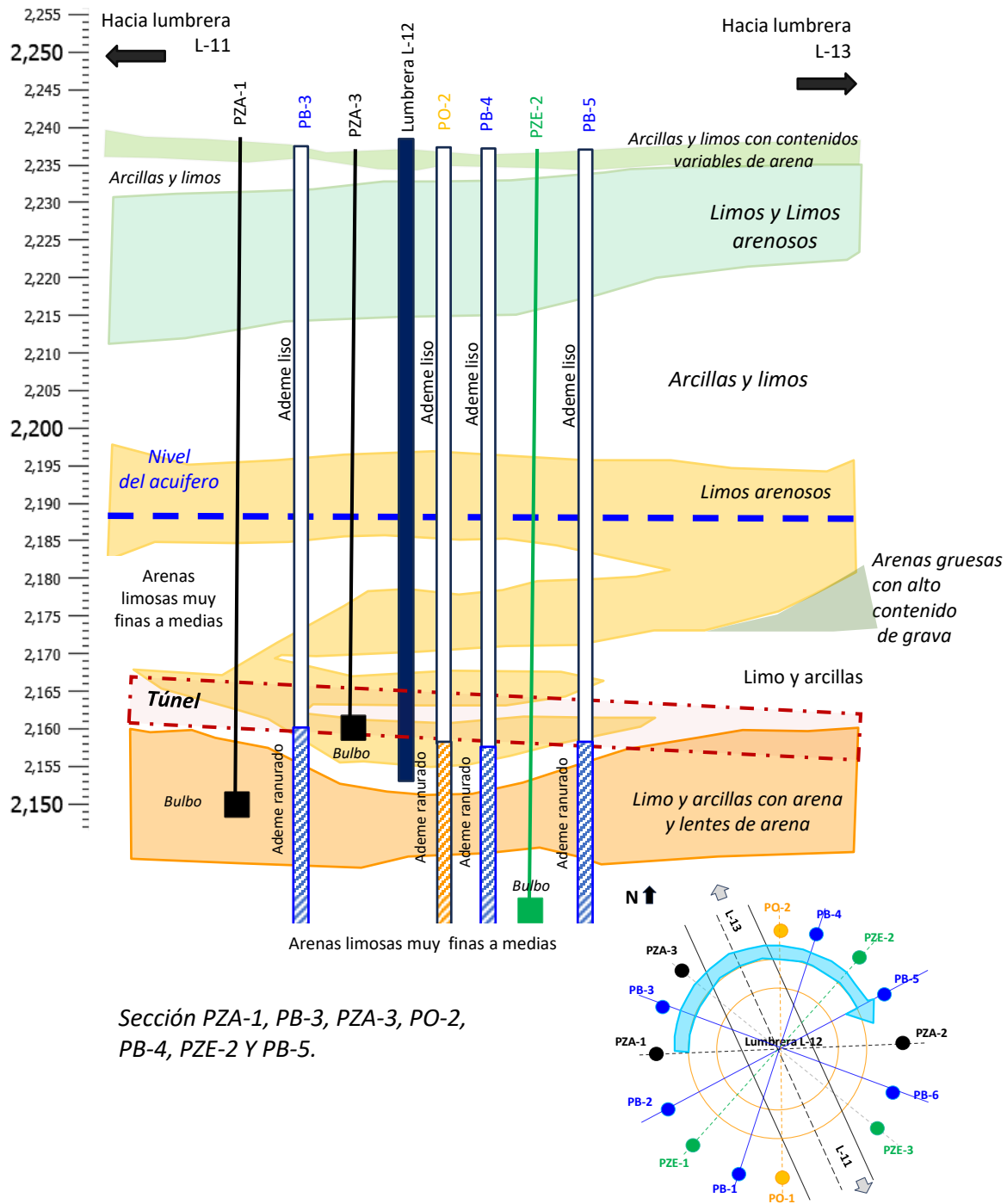


Figura 94.- Proyección en perfil de pozos de abatimiento e instrumentos para proyecto piloto de abatimiento(complemento).

Con la evaluación y datos del proyecto piloto se indicarán los resultados bajo estas nuevas condiciones. Desde se luego se tendría que hacer las pruebas de aforo y bombeo, obtención de parámetros hidráulicos de

los pozos correspondiente con el monitoreo de la instrumentación. Con base a los resultados del sistema piloto, se determinaría el sistema final, el cual debe de incorporar el bombeo de achique. Cabe mencionar que esta propuesta parte de una nueva y supuesta condición de ajuste al proceso de constructivo de la lumbrera. Como se observa los instrumentos se ubicaron en estratos que generan subpresión, por debajo del nivel máximo de excavación, a nivel de la rasante del túnel y en estratos productores de interés. Finalmente, en la tabla siguiente se muestra, el comportamiento de los suelos frente al agua, esto brinda sensibilidad técnica en cuanto a lo que se puede esperar en cuanto al tema geohidrológico del sistema de abatimiento.

Unidad	Capacidad de almacenar	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formación característica
Acuíferos	alta	alta	alta	gravas, arenas
Acuitardos	alta	media/baja	baja	limos, arenas limosas y arcillosas
Acuicluidos	alta	muy baja	nula	arcillas
Acuífugos	nula	nula	nula	granitos, marmol, gneises

Tabla 12.- Formaciones geológicas frente al agua (Fuente: Vallejo C, 2012).

3.5 DISPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PRODUCTO DEL BOMBEO

Es importante considerar la disposición del agua del subsuelo, ya que en la práctica es más fácil “tirar” el agua a los ríos, canales, parcelas y terrenos. En ocasiones el agua del subsuelo o de los acuíferos se mezclará con agua de otra calidad o de tipo residual al descargarla superficialmente a otro cuerpo de agua o afluente ya sea natural o artificial. Las situaciones citadas podrían generar impactos económicos, sociales y ambientales. A continuación, se indican tres opciones para disponer del agua extraída de los pozos de bombeo, el cual se podrá valorar de las condiciones locales de cada sitio para su aprovechamiento.

3.5.1 RECARGA DE ACUÍFEROS

En el caso de la lumbrera L12 se realizaron ensayos de recarga (véase siguiente figura) en un pozo de abatimiento (pozo PB-2), sin embargo, tuvo las siguientes limitantes: a) Un solo pozo para un gastos mayores a 600 l/s, resulta insuficiente, b) El pozo de abatimiento utilizado para la recarga solo fue de prueba y en caso de usarse solo hubiera complicado la construcción de la lumbrera, dado que se estaría ingresando el agua extraída de otros pozos de bombeo y la dirección de flujo subterráneo no favorece a la recarga, c) la

zona del predio estaba limitada en cuanto a superficie y d) no se contaron con estudios a detalle referente al tema. Los resultados que se obtuvieron fueron los indicados en la siguiente gráfica, donde se aprecia que el caudal máximo ensayado corresponde con 43 l/s, muy inferior a los 600 l/s.



Figura 95.- Prueba de recarga en el pozo de bombeo PB-2.

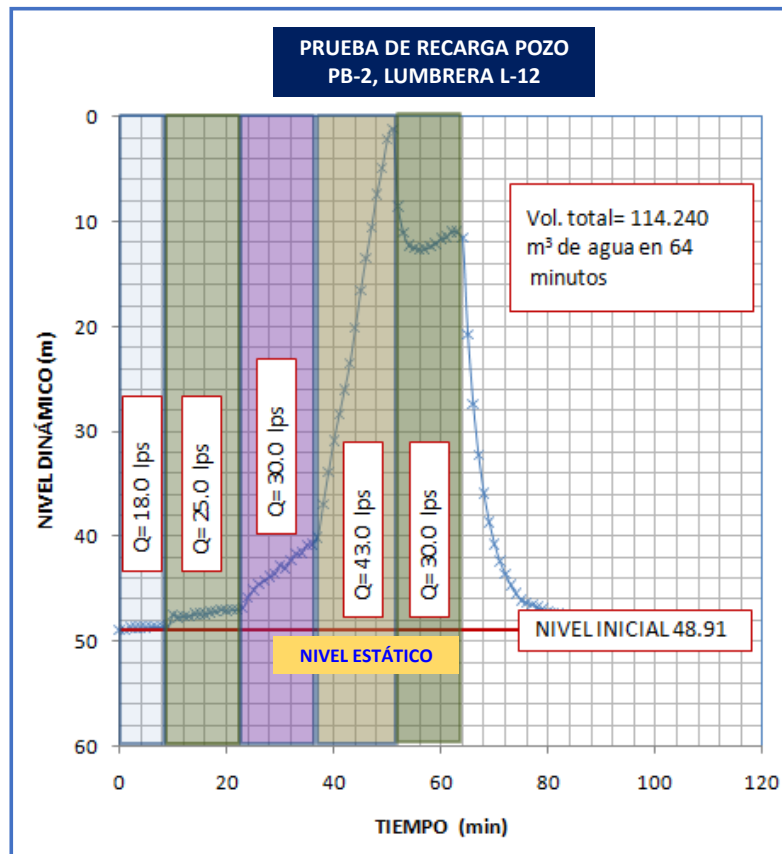


Figura 96. -Pruebas de recarga ante diferentes caudales en el pozo PB-2 (Fuente: CONAGUA-COMISSA).

3.5.2 ALIMENTACIÓN A LA RED HIDRÁULICA

Otra opción para disponer del agua el agua extraída del subsuelo, era considerar ingresarla a la red, para ello era necesario tener un acercamiento con las autoridades encargadas de la administración y suministro de agua del municipio, para conocer las características de la red, calidades de agua requeridas y posibles requerimientos. En caso de aceptar y llegar a algún acuerdo en ese momento (se recomienda que sea cuando se tengan los resultados del proyecto piloto), se podría plantear los acuerdos para aprovechar el agua extraída de manera temporal para diversos usos acorde a las necesidades locales o regionales y sí fuera el caso valorar cuánta agua se requiere para la obra para su aprovechamiento.

3.5.3 PARO PROVISIONAL DE POZOS DE ABASTECIMIENTO

Una alternativa que se puede valorar y que puede ser útil a posteriori, es el paro de algunos pozos de abastecimiento de manera estratégica, a fin de que se les proporcione agua extraída de los pozos de abatimiento, para que estos descarguen a pipas o se lleve mediante conducción a algún sitio adecuado (tanques elevados, tanques de almacenamiento, entre otros). Desde luego previo acuerdo con las autoridades locales encargadas del abastecimiento de agua.

3.6 CONTROLES DE CALIDAD PARA EL SISTEMA DE ABATIMIENTO MEDIANTE POZOS

Antes de abordar el tema referente de pozos, es importante tener definidas las **condiciones piezométricas** del sitio donde se plantea la obra, en este sentido se debe definir las **presiones de poro (abatidas, hidráulica y por arriba de la hidrostática "sobrepresión")** en el subsuelo. Esta situación ayudará a entender mejor las condiciones de la zona para un mejor diseño de pozos, de instrumentación y del sistema de abatimiento. A manera de ejemplo se muestra dos figuras, la primera bajo un primer escenario que esquematiza la ubicación de diferentes piezómetros, donde el bulbo se ubica en diferentes estratos y con ella se presenta el mismo nivel piezométrico en todos los instrumentos, destacando que bajo condiciones hidrostáticas la presión de poro aumenta con la profundidad.

En complemento a los aspectos de piezometría, se muestra una segunda figura con un escenario, donde los niveles piezométricos son diferentes (por arriba de la línea hidrostática), para cada sitio donde se ha instalado cada piezómetro, como se aprecia en la siguiente figura. Un tercer escenario sería que las presiones de poro se presenten por debajo de la línea hidrostática, lo que significa que las presiones se encuentran abatidas, tal como se identificó en su momento en el marco de referencia de este informe.

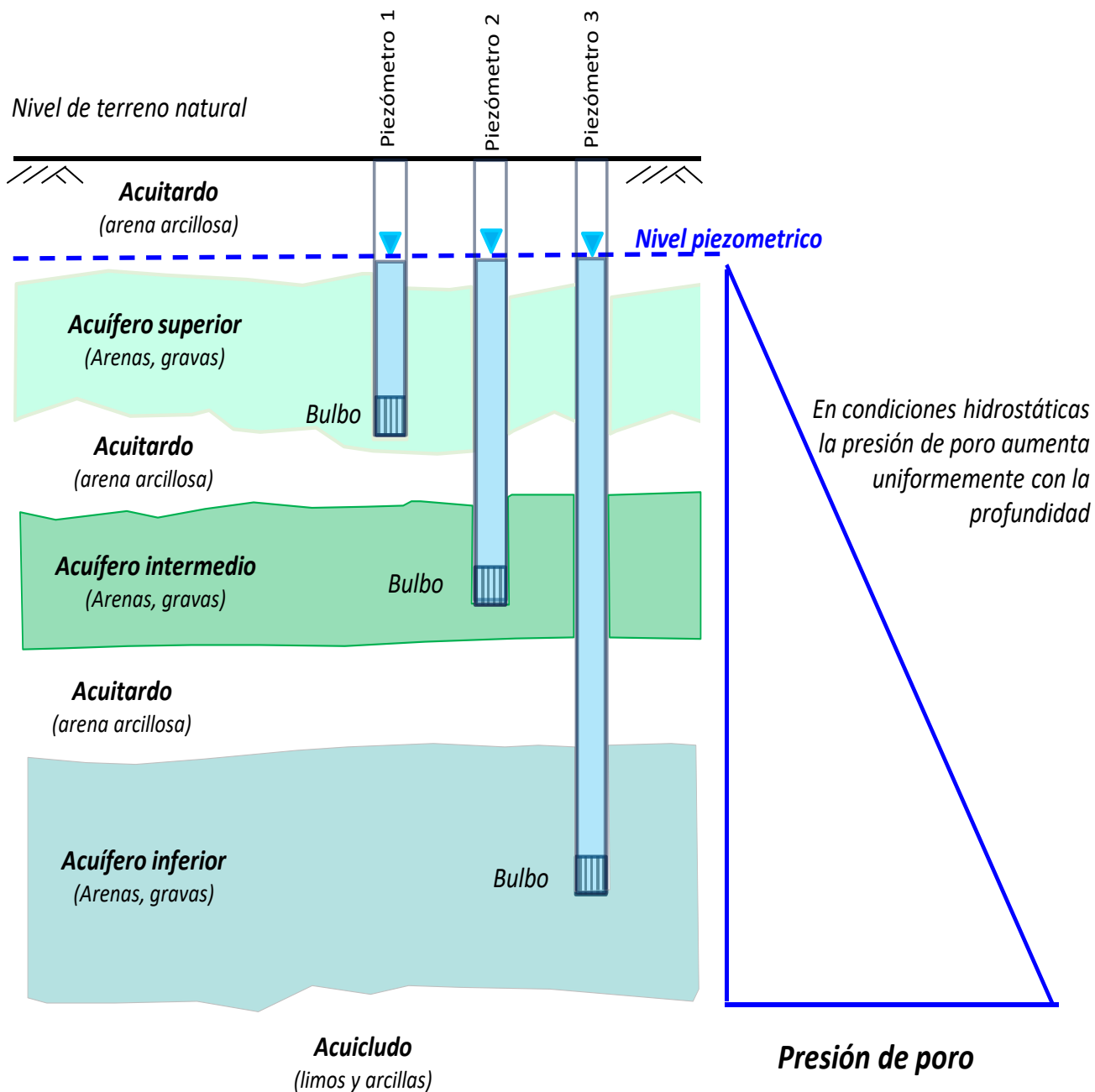


Figura 97.- Interacción entre acuíferos bajo condiciones hidrostáticas (M. Cashman 2012, et al, readecuado por S. González, 2023).

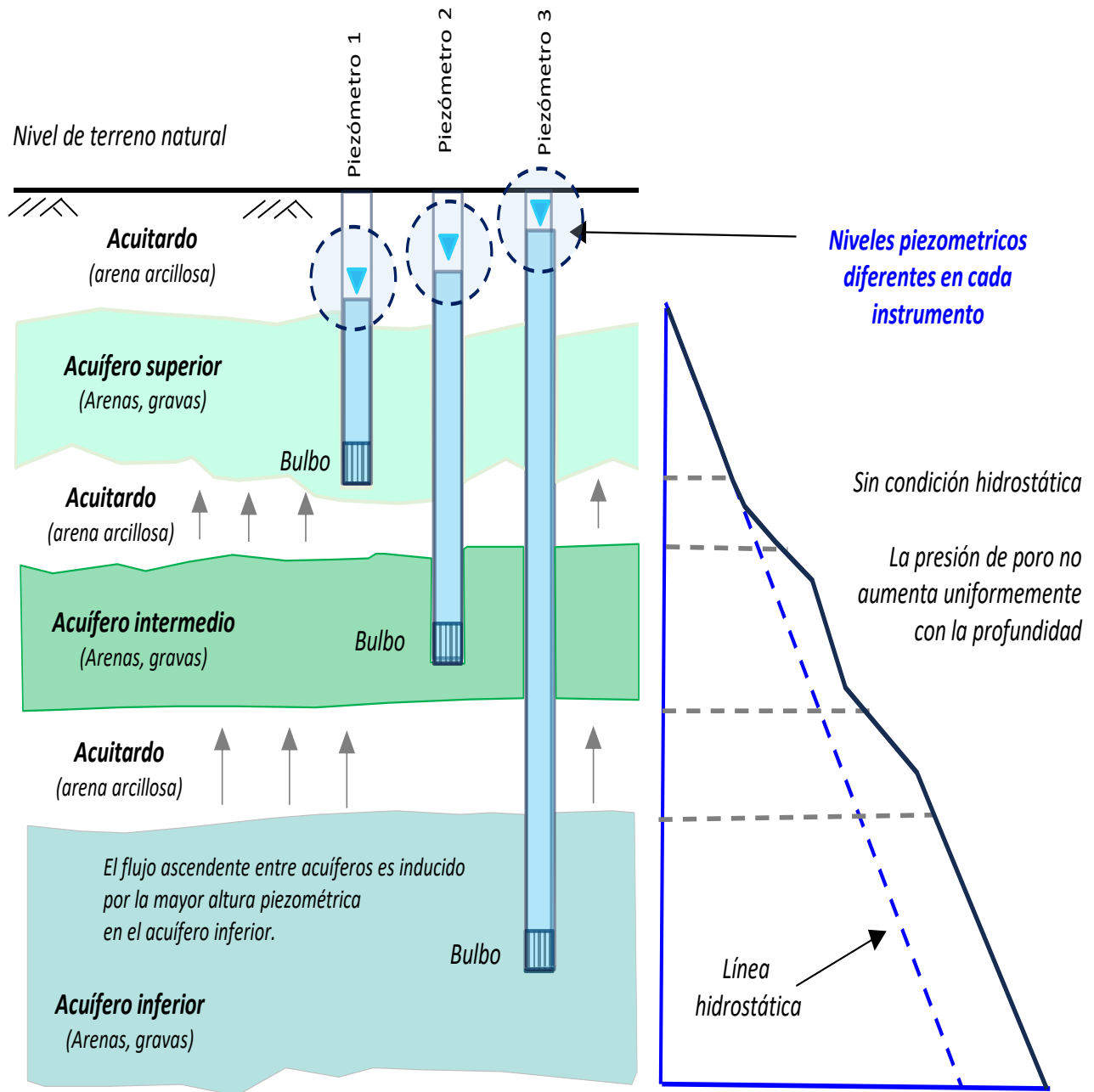


Figura 98.- Interacción entre acuíferos bajo la condición de flujo entre estos (M. Cashman 2012, et al, readecuado por S. González, 2023).

Una vez conocidos las condiciones del sitio con estudios técnicos correspondientes, el tipo y características de la estructura a considerar y tomando en cuenta que la zona se ubique en alguno de los tres escenarios referidos, se podrá planear, plantear y diseñar un sistema de abatimiento más adecuado acorde a las condiciones del sitio y necesidades de la obra que corresponda, a fin de evitar sobrecostos, retrasos en la

obra, posibles afectaciones y reclamos. Por lo anterior, se proponen los siguientes controles de calidad, que se indican de manera enunciativa más no limitativa:

POZOS DE ABATIMIENTO

Requisito de ejecución:

- i. Evaluar el proyecto piloto del sistema de abatimiento y establecer las acciones adecuadas para su implementación.
- ii. Contar con la infraestructura adecuada y la experiencia para este tipo de trabajos.
- iii. Diseño adecuado y procedimiento constructivo de los pozos.
- iv. Cuidar el proceso de perforación de los pozos de abatimiento. Tener claro que estratos o acuíferos se deben de sellar, para evitar comunicación hidráulica y la entrada de caudales mayores a los esperados durante los trabajos, o bien el ingreso de agua de mala calidad que pudiera contaminar el acuífero o estrato(s) de interés, donde se requiere abatir las presiones.
- v. Distribución adecuada y arreglo del sistema de pozos.
- vi. Construcción en tiempo y forma del(os) pozo(s)
- vii. Capacidad suficiente para perforar a las profundidades indicadas acorde a diseño funcional de(l) pozo(s).
- viii. Control de la verticalidad del pozo, uso de centradores, tapón de fondo, filtros adecuados, lavado del pozo(s), registro(s) de campo, mano de obra, maquinaria, entre otros.
- ix. Efectuar el desarrollo, aforo y pruebas de bombeo de manera correcta y funcional
- x. Selección adecuada del(os) equipo(s) de bombeo.
- xi. Monitoreo de la instrumentación y comportamiento de los pozos durante los bombeos.
- xii. Establecer la política de operación de los pozos y diseño del sistema de bombeo

Otros aspectos a considerar son:

Durante la perforación de cada pozo, deberá llevarse un registro cuidadoso que contenga al menos:

- Clase, marca y tipo del equipo de perforación, nombre o número de identificación del pozo, zona a la que pertenece, fecha, hora de iniciación y de terminación.
- Reportes de perforación que incluyan información respecto al comportamiento de la perforación, tales como variaciones bruscas del nivel del agua, consumo de fluidos de perforación, derrumbes, etc.

- Toda y cada una de las etapas de construcción del pozo (perforación, limpieza, agitación mecánica, aforo, etc.), los cuales deberán ejecutarse ininterrumpidamente.

El desarrollo de los pozos (durante su etapa se evaluará el comportamiento ante los efectos del bombeo, se obtendrán gastos, niveles estáticos, dinámicos tanto en la fase de bombeo como de recuperación y dará la pauta para la ejecución de la prueba de aforo). Las pruebas de aforo y de bombeo, se efectuarán con el propósito de determinar los caudales de extracción y los niveles de operación de los pozos y del sistema de bombeo. En esta fase se llevará cabo la selección de los equipos adecuados de bombeo a instalar para los pozos, así como la definición de la política de operación del sistema.

3.7 CONTROLES DE CALIDAD PARA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA-GEOHIDROLÓGICA

Es importante tener certeza técnica sobre las diferentes variables que se presenten medir al momento de instalar algún instrumento, para ello es necesario que represente las condiciones reales y que sea confiable de lo que se mide in situ. Los instrumentos son de gran utilidad, pues proporcionan información para entender mejor el comportamiento del suelo, subsuelo y agua subterránea cuando se planea y/o se construye alguna obra. En todos los casos se deberá de contar con un procedimiento de instalación adecuado para cada tipo de instrumento.

Un instrumento mal instalado podrá llevar a interpretaciones y resultados erróneos y por ende a toma decisiones que puedan repercutir la obra en caso de no detectarse de manera oportuna, de ello se deriva la necesidad de contar con controles de calidad en su selección, planeación, diseño, instalación, operación, entre otros y desde luego la experiencia del personal es fundamental para lograr los objetivos planteados. A continuación, se mencionan algunos controles que se indican de manera enunciativa más no limitativa. Si bien algunas se realizan, gran parte no se llevan a cabo o tienen deficiencias y estas repercuten en tiempo, funcionalidad y costos.

3.7.1 POZOS DE OBSERVACIÓN

Se recomienda considerar las siguientes medidas para mejores resultados y funcionalidad del instrumento:

1. Realizar un prediseño de pozo de observación
2. Profundidades y diámetros adecuados
3. Suministro en tiempo y forma de los materiales adecuados
4. La tubería de ademe ranurada debe contar con ranuras de espesor y longitud apropiadas, dado que un mal diseño permitirá la entrada de suelos finos y del filtro granular, generando azolves y deficiencias en su funcionamiento.
5. Saber el tipo de suelo donde se planea la instalación del instrumento.
6. Equipo adecuado de equipo de perforación

7. Perforación funcional para evitar sellado de zonas de interés y comunicación hidráulica entre estratos que no sean útiles.
8. Los barrenos deberán estar libres y estables en toda su longitud durante el tiempo requerido para la instalación de la instrumentación, por lo que no se desplazará el equipo de perforación hasta completar la instalación del(os) pozos de observación.
9. Pruebas de funcionamiento de flujo ascendente (inyección de caudal) o flujo descendente (extracción de gasto) dependiendo de las condiciones del sitio.
10. Grupo de lecturas: Deberán de incluirse y efectuarse todas las lecturas y mediciones de las pruebas de funcionamiento, así como lecturas cero e iniciales del instrumento.
11. Localización topográfica con coordenadas (X, Y, Z) del instrumento.
12. Realizar la construcción de plantillas, brocales y registros adecuados para la protección del instrumento.
13. Identificación in situ del instrumento.
14. De ser el caso, el pozo de observación puede aprovecharse para realizar el muestreo y análisis de agua para cierto propósito.
15. Considerar una sonda piezométrica debidamente graduada y calibrada para la toma de lecturas y si fuera el caso de requerirse se podrá planear el uso de drivers(calibrados) programados para el monitoreo continuo.
16. Asegurarse que el instrumento no va a interferir con la obra y que posteriormente resulte dañado o bien que se tenga que retirar. Esto implica costos, tiempos y afectaciones.
17. Definir y establecer el monitoreo, criterios y frecuencia de medición.

3.7.2 PIEZÓMETROS ABIERTOS

De manera similar al pozo de observación, es conveniente considerar las siguientes medidas con el propósito de obtener mejores resultados y funcionalidad del instrumento, en este caso se plantea lo siguiente:

1. Realizar un prediseño de pozo del piezómetro abierto
2. Profundidades y diámetros adecuados
3. El bulbo del piezómetro debe ubicarse en el estrato donde se requiere medir la presión de poro y su longitud puede variar dependiendo del espesor del estrato de interés.
4. Sellar los estratos que no sean de interés, ya que algunos podrían aportar agua adicional (o de mala calidad) y por ende tener presiones de poro o hidráulicas mayores.
5. Suministro en tiempo y forma de los materiales adecuados
6. La tubería de ademe ranurada para el bulbo debe contar con ranuras de espesor y longitud apropiadas, dado que un mal diseño permitirá la entrada de suelos finos y del filtro granular, generando azolves y deficiencias en su funcionamiento.
7. Saber el tipo de suelo donde se planea la instalación del piezómetro.
8. Equipo adecuado de equipo de perforación
9. Perforación funcional para evitar sellado de zonas de interés y comunicación hidráulica entre estratos que no sean útiles. La comunicación hidráulica entre diferentes estratos dará como resultados presiones de poro diferentes en comparación con las reales y las requeridas de manera puntual para un cierto estrato.
10. Los barrenos deberán estar libres y estables en toda su longitud durante el tiempo requerido para la instalación de la instrumentación, por lo que no se desplazará el equipo de perforación hasta completar la instalación del piezómetro.
11. Pruebas de funcionamiento de flujo ascendente (inyección de caudal) o flujo descendente (extracción de gasto) dependiendo de las condiciones del sitio.

12. Grupo de lecturas: Deberán de incluirse y efectuarse todas las lecturas y mediciones de las pruebas de funcionamiento, así como lecturas cero e iniciales del instrumento.
13. Localización topográfica con coordenadas (X, Y, Z) del instrumento.
14. Realizar la construcción de plantillas, brocales y registros para protección del instrumento. Los registros deben de protegerse contra vandalismo.
15. Identificación in situ del instrumento.
16. De ser el caso, el piezómetro puede aprovecharse para realizar el muestreo y análisis de agua para cierto propósito.
17. Considerar una sonda piezométrica debidamente graduada y calibrada para la toma de lecturas y si fuera el caso se podrá planear el uso de drivers(calibrados) programados para el monitoreo continuo de los niveles piezométricos (para un cierto periodo), los cuales se podrán descargar de manera directa a una computadora.
18. Asegurarse que el instrumento no va a interferir con la obra y que posteriormente resulte dañado o bien que se tenga que retirar. Esto implica costos, tiempos y afectaciones.
19. Definir y establecer el monitoreo, criterios y frecuencia de medición.

3.7.3 PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

El piezómetro eléctrico, al ser un dispositivo electrónico requiere de un cuidado y tratamiento especial, para ello es conveniente atender lo siguiente:

Antes de su compra

1. Conocer los alcances de la obra o sitio donde se plantea instalar, para poder definir las características, especificaciones y propósito del instrumento, para su adquisición y suministro.
2. Si el instrumento es de importación, habrá que considerar los costos aduanales y de transportación.
3. Prever su compra de manera oportuna
4. Es de vital importancia que el instrumento sea embalado y protegido adecuadamente durante su traslado, desde fabrica al sitio donde se planean los trabajos.
5. Contar con un prediseño de instalación del instrumento

Previo a su instalación

1. Una vez recibido el instrumento, este deberá de revisarse su estado físico, características acordes a las especificaciones solicitadas esto incluye cable blindado de longitud adecuada.
2. Asegurarse que el instrumento cuenta con su certificado de calibración por parte del fabricante, ya que sin este documento no se tendrá garantía en su funcionalidad y tampoco se tendrán las constantes de calibración, necesarias para calcular los parámetros de presión de poro y temperatura.
3. Manuales de operación y garantía del fabricante.
4. Asegurarse que el instrumento es almacenado en un lugar adecuado (evitar exponer a altas temperaturas dado que los sensores electrónicos pueden dañarse y asegurarse que no se derramen líquidos o grasas que puedan perjudicar su funcionamiento). Es importante que el instrumento no este expuesto a cambios térmicos que dañen o afecten su funcionalidad.
5. Saturación del piezómetro eléctrico.
6. Realizar una prueba de funcionamiento para asegurarse que trabaja adecuadamente.
7. Lecturas de prueba consistentes.

Durante la instalación

1. Profundidades y diámetros adecuados
2. El piezómetro debe ubicarse en el estrato donde se requiere medir la presión de poro.
3. Equipo adecuado de equipo de perforación
4. Durante su construcción, sellar los estratos que no sean de interés, ya que algunos podrían aportar agua adicional y por ende tener presiones de poro o hidráulicas mayores.
5. Suministro en tiempo y forma de los materiales adecuados
6. Saber el tipo de suelo donde se planea la instalación del piezómetro.
7. Los barrenos deberán estar libres y estables en toda su longitud durante el tiempo requerido para la instalación de la instrumentación, por lo que no se desplazará el equipo de perforación hasta completar la instalación del piezómetro.
8. Pruebas de funcionamiento una vez instalado el piezómetro eléctrico.
9. Grupo de lecturas: Deberán de incluirse y efectuarse todas las lecturas y mediciones de las pruebas de funcionamiento, así como lecturas cero e iniciales del instrumento.
10. Localización topográfica con coordenadas (X, Y, Z) del instrumento.
11. Realizar la construcción de plantillas, brocales y registros de resistencia adecuada para protección del instrumento. En la siguiente figura se muestra el daño a instrumentos por registros deficientes en su construcción. Los registros deben de protegerse contra vandalismo.



Figura 99.-Piezometros eléctricos vandalizados con daños en conexiones y registros.

12. Identificación in situ del instrumento, esto incluye el número de serie y el nombre asignado para identificarlo.
13. Considerar una unidad de lectura (consola de medición) debidamente calibrada para la toma de lecturas.
14. Asegurarse que el instrumento no va a interferir con la obra y que posteriormente resulte dañado o bien que se tenga que retirar. Esto implica costos, tiempos y afectaciones.
15. Definir y establecer el monitoreo, criterios y frecuencia de medición.

3.7.4 INCLINÓMETROS

El inclinómetro puede tener varias variantes, dependiendo de su propósito y del procedimiento constructivo, en este sentido se indican tres variantes: a) inclinómetros instalados en muro Milán, b) inclinómetros instalados en terreno natural y c) inclinómetros mixtos (instalados en muros Milán y excavación convencional, terreno natural) y en este sentido se emiten las siguientes acciones con el propósito de obtener mejores resultados y funcionalidad del instrumento, en este caso se plantea lo siguiente:

Antes de su compra

1. Conocer los alcances de la obra o sitio donde se plantea instalar, para poder definir las características, especificaciones y propósito del instrumento, para su adquisición y suministro.
2. Si el instrumento es de importación (unidad de lectura, sonda inclinométrica, tubería ABS de ensamble rápido, etc.), habrá que considerar los costos aduanales y de transportación.
3. Prever su compra de manera oportuna.
4. Es de vital importancia que el instrumento sea embalado y protegido adecuadamente durante su traslado, desde fábrica al sitio donde se planean los trabajos.
5. Contar con un prediseño de instalación del instrumento.

Previo a su instalación

1. Una vez recibido el instrumento, este deberá de revisarse su estado físico, características acordes a las especificaciones solicitadas esto incluye cable blindado de longitud adecuada.
2. Asegurarse que el instrumento cuenta con su certificado de calibración por parte del fabricante (unidad de lectura y sonda inclinométrica), ya que sin este documento no se tendrá garantía en su funcionalidad.
3. Manuales de operación y garantía del fabricante.
4. Asegurarse que el instrumento es almacenado en un lugar adecuado. Es importante que el instrumento no este expuesto a cambios térmicos que dañen o afecten su funcionalidad, en particular a la unidad de lectura.
5. En el caso de instalación de inclinómetros en muros Milán, estos deberán de contar con las preparaciones que correspondan para que queden dentro del armado (véase siguiente figura).

Durante la instalación

1. Profundidades y diámetros adecuados.
2. En el caso de inclinómetros en muro Milán dejar las preparaciones que correspondan
3. Equipo adecuado de equipo de perforación para el caso de los inclinómetros en terreno natural y mixtos.
4. Antes de iniciar la instalación propiamente dicha del equipo, deberán tenerse en el sitio los instrumentos y equipos de instalación y realizar las calibraciones y verificaciones finales en la obra. Suministro en tiempo y forma de los materiales adecuados
5. Saber el tipo de suelo donde se planea la instalación del inclinómetro.
6. Los barrenos deberán estar libres y estables en toda su longitud durante el tiempo requerido para la instalación de los inclinómetros en terreno natural y mixtos, por lo que no se desplazará el equipo de perforación hasta completar la instalación del instrumento.

7. Pruebas de funcionamiento una vez instalado el instrumento.
8. Grupo de lecturas: Deberán de incluirse y efectuarse todas las lecturas y mediciones de las pruebas de funcionamiento, así como lecturas cero e iniciales del instrumento. Lecturas iniciales en toda la longitud del instrumento a cada 0.50m.
9. Localización topográfica con coordenadas (X, Y, Z) del instrumento.
10. Realizar la construcción de plantillas, brocales y registros para protección del instrumento.
11. Identificación in situ del instrumento con el nombre asignado para identificarlo.
12. Considerar una unidad de lectura (unidad de lectura) debidamente calibrada para la toma de lecturas.
13. Asegurarse que el instrumento no va a interferir con la obra y que posteriormente resulte dañado o bien que se tenga que retirar. Esto implica costos, tiempos y afectaciones.
14. La tubería de inclinómetro será unida a tope garantizando una conexión firme para mantenerse en su sitio durante la instalación y relleno, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y se tendrá particular cuidado de que las ranuras de los tubos queden correctamente orientadas.
15. Todos los tubos que se utilicen deben estar limpios, por lo que será necesario lavarlos con agua libre de impurezas, secarlos y almacenarlos colocando una lona de protección encima de ellos y tapando los extremos con fundas de plástico hasta que sean utilizados.
16. Monitoreo, criterios y frecuencia de medición.
17. Los instrumentos deberán quedar debidamente instalados y quedar listos para la toma directa de lecturas in situ.



Figura 100. --Preparación de inclinómetro dentro de armado para muro Milán.

3.7.5 EXTENSÓMETROS DE BARRA

Es importante tomar en cuenta las siguientes acciones con el propósito de obtener mejores resultados y funcionalidad del instrumento, en este caso se plantea lo siguiente:

1. Realizar un prediseño de los extensómetros de barra
2. Profundidades de las anclas y diámetros adecuados
3. Antes de iniciar la instalación propiamente dicha del equipo, deberán tenerse en el sitio los instrumentos, materiales, equipos de instalación y realizar las calibraciones y verificaciones finales que correspondan.
4. Conocer el tipo de suelo donde se planea la instalación de los extensómetros.
5. Equipo adecuado de equipo de perforación.
6. Los barrenos deberán estar libres y estables en toda su longitud durante el tiempo requerido para la instalación de la instrumentación, por lo que no se desplazará el equipo de perforación hasta completar la instalación del extensómetro.
7. Grupo de lecturas: Deberán de incluirse y efectuarse todas las lecturas y mediciones de las pruebas realizadas, así como lecturas cero e iniciales.
8. Localización topográfica con coordenadas (X, Y, Z) del instrumento.
9. Realizar la construcción de plantillas, brocales y registros para protección del instrumento.
10. Identificación in situ del instrumento.
11. Asegurarse que el instrumento no va a interferir con la obra y que posteriormente resulte dañado o bien que se tenga que retirar. Esto implica costos, tiempos y afectaciones.
12. Monitoreo, criterios y frecuencia de medición.
13. Los instrumentos deberán quedar debidamente instalados y quedar listos para la toma directa de lecturas in situ.

3.7.6 FICHAS DE INSTALACIÓN

Es necesario que todos los instrumentos instalados cuenten con su ficha de instalación, las cuales deben de contener como mínimo la siguiente información:

a) Datos del instrumento instalado (marca, modelo, no. de serie, precisión del instrumento, rango de operación, diagramas de interconexión, dimensiones, intervalo de medición, mediciones antes, durante y después de instalar).

b) Información del personal técnico que intervino en la instalación y en las mediciones iniciales, con sus respectivas fechas.

c) Datos topográficos: planos de ubicación, coordenadas, cotas, equipo utilizado (marca y no. de serie), desniveles, puntos de referencia externos, cadenamientos, croquis con detalles de la localización respecto a las estructuras o sitios en estudio, bancos de referencia y coordenadas del sistema al que está ligado.

d) Dependiendo del instrumento, la ficha deberá contener información geotécnica, geológica, geohidrológica, entre otras, como son: estratigrafía del sitio de instalación, diámetros y dimensiones de sondeos, localización del nivel del agua subterránea, materiales y volúmenes de lechadas o rellenos utilizados en la instalación en barrenos.

e) Relación que guarda el instrumento con las estructuras circundantes existentes o por construir.

f) **Volumetría** de los materiales utilizados en la instalación del instrumento;

g) **Soporte fotográfico** que muestre las diferentes etapas de instalación del instrumento con una breve descripción de la actividad correspondiente.

h) Todos los detalles de la instalación como: planos, croquis, diagramas de interconexión, tipos de material y dimensiones de los instrumentos.

3.8 EFECTOS A POZOS DE ABASTECIMIENTO ALEDAÑOS POR LA EXTRACCIÓN DE AGUA.

Dada la cantidad importante de agua que se extrae de obras con grandes caudales de agua, se debe evaluar los posibles efectos secundarios a los pozos de abastecimiento, norias o manantiales cercanos, como podría ser abatimiento de los niveles estáticos, pérdida o agotamiento de caudal. En este sentido de manera local, no existía ningún pozo de abastecimiento aledaño al sitio de la lumbrera L-12 además era zona poco poblada. Sin embargo, esta consideración debe de tomarse en cuenta para obras similares, que puedan impactar o tener efectos secundarios por la extracción de agua subterránea.

3.9 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN INSTRUMENTOS ESPECÍFICOS PARA OBTENER PARÁMETROS HIDRÁULICOS.

Las pruebas de funcionamiento para piezómetros abiertos y pozos de observación permiten obtener información sobre el comportamiento de los niveles piezométricos de los instrumentos y comprobar la existencia de una buena conexión hidráulica entre el piezómetro o pozo de observación y el acuífero o estrato permeable de interés. Para ello existen dos tipos de prueba que se indican a continuación.

a) Prueba de flujo ascendente: consiste en inyectar agua en el piezómetro abierto, de cámara extendida o pozo de observación y construir, la gráfica de tiempos vs niveles hasta que se recupere el nivel piezométrico.

b) Prueba de flujo descendente: consiste en desalojar agua subterránea del piezómetro abierto, de cámara extendida o pozo de observación y medir los niveles a distintos tiempos (preestablecidos) durante la extracción y recuperación para construir la gráfica de tiempos vs niveles dinámicos.

Es recomendable realizar un bombeo (puede ser con aire comprimido), para extraer el detritus y/o la bentonita (no es deseable) que se haya utilizado durante los trabajos de perforación (si fuera el caso). Aunque no se recomienda el uso de bentonita para los trabajos de perforación porque puede modificar la

permeabilidad de los materiales del subsuelo, sobre todo si afecta la zona donde se planea medir la presión de poro o niveles freáticos, dando como resultado valores no representativos o erróneos.

A partir de la calidad de la información y los gráficos obtenidos puede evaluarse la permeabilidad del estrato de interés en el entorno del piezómetro abierto o pozo de observación. Si el valor obtenido es muy inferior al calculado a partir de otros medios tales como ensayos de bombeo, pruebas de permeabilidad, granulometría, caudal específico de pozos cercanos, entre otros, es señal de que la comunicación entre el piezómetro y el estrato o acuífero correspondiente es deficiente.

Con base a la experiencia obtenida (para piezómetros abiertos y pozos de observación), es recomendable realizar pruebas de funcionamiento de flujo desalojando el agua del instrumento (pozo de observación y piezómetro abierto), para evaluar su recuperación. Esta sugerencia obedece a que, en algunos casos, se aplicaron pruebas de flujo mediante la inyección de agua, a piezómetros y pozos de observación que no se lavaron adecuadamente y el agua quedó estancada, dando como resultado valores incorrectos. En otros casos la recuperación fue muy lenta cuando el instrumento se había instalado en materiales permeables.

En general, a causa del reducido diámetro de los piezómetros abiertos y pozos de observación (condición que se puede resolver ajustando el diámetro en diseños a futuro), no es posible instalar en ellos bombas sumergibles comerciales de diámetros adecuados, teniendo que acudir a procedimientos especiales de bombeo tales como la aspiración, la inyección de aire comprimido o en su caso mediante métodos manuales (uso de muestreadores de agua subterránea tipo bailer).

3.10 REUSO DE POZOS DE ABATIMIENTO Y DE INSTRUMENTOS

Una vez concluida la obra, resulta factible darle un uso adicional: a) Pozos de abatimiento y b) pozos de observación y piezómetros abiertos, los cuales serán útiles para monitorear los acuíferos locales, básicamente en estudios piezométricos, donde se pueda conocer la posición de los niveles freáticos o piezométricos, comportamiento, evolución de los niveles y tasa de abatimiento. La infraestructura nueva (pozos de abatimiento e instrumentos mencionados) podrían ser parte de la red de monitoreo piezométrico local. El piezómetro eléctrico, de igual modo podría ser útil al proporcionar datos de la evolución de la presión de poro a futuro y su comportamiento en el estrato instalado con relación al acuífero de explotación.

En cuanto a los inclinómetros y a los extensómetros estos podrán monitorearse, para evaluar a futuro posibles efectos por la extracción de agua subterránea al acuífero en la zona de interés.

3.11 NORMATIVIDAD MEXICANA EN CUANTO A POZOS DE ABATIMIENTO E INSTRUMENTACIÓN

Actualmente en México, no se cuenta con normatividad que rija técnicamente los pozos de abatimiento y tampoco la instrumentación geotécnica y geohidrológica. En este sentido se emiten una serie de recomendaciones a dos de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que podrían ser de utilidad con apartados adicionales que orienten y normen los pozos de abatimiento e instrumentación. Resulta importante resaltar la necesidad de aprovechar el agua del subsuelo producto de los pozos de abatimiento, ante la necesidad y escasez cada día mayor del recurso hídrico.

3.11.1 NORMATIVIDAD PARA POZOS DE ABATIMIENTO

La norma oficial Mexicana **NOM-003-CONAGUA-1996**, se refiere a los *Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuífero*. En este sentido la norma resulta útil y se puede aprovechar para discretizar el aspecto técnico hacia los pozos de abatimiento, con la evaluación de su factibilidad para emplear el agua extraída, se pone a consideración las siguientes aportaciones y mejoras en los apartados que se indican a continuación:

A) 1.-Introducción, 2.- Objetivos, 3.- Campo de aplicación, 4.- Definiciones y 5.- Clasificación. Para estos puntos es conveniente incorporar los alcances de los pozos de abatimiento.

B) Apartado 6.- Especificaciones. Discretizar las actividades y orientarla hacia los pozos de abatimiento, generando un apartado complementario, el cual tomaría en cuenta lo existente de la norma y lo útil para el propósito de dichos pozos como son: **6.1 Materiales usados en la construcción de pozos**, **6.2 Área restringida de emplazamiento del pozo con mejoras**, **6.3 Desinfección de la herramienta en la etapa de perforación del pozo**, **6.4 Preparación y disposición adecuada de los fluidos de perforación**, **6.5 Protección superficial e interna de la estructura del pozo**, **6.5.1 Ademe para protección del pozo**, **7.5.1.1 Sobreelevación del ademe por encima del nivel del suelo**, **6.5.1.2 Cedazo o rejilla**, **6.5.1.3 Filtro granular**, **6.5.2 Contra ademe**, **6.5.3 Sobreelevación y protección del área de emplazamiento del pozo**, **6.5.3.1 Tipo y dimensiones del brocal**, **6.5.3.2 Plantilla**, entre otros. Con el enfoque a considerar que se trata de un pozo de abatimiento (véase siguiente figura), donde no necesariamente se tiene que diseñar al igual que un pozo de abastecimiento. Dado que con el pozo de abatimiento se busca reducir las presiones de poro y que el bombeo deba ser dirigido hacia la zona o estratos que generen supresión, donde se tenga la necesidad de desalojar el agua en excavación, entre otras que sean de interés para una obra. Aunque los pozos de abatimiento puedan ser temporales, estos podrían aprovecharse bajo previa valoración, para abastecer de agua por un cierto periodo de tiempo y en su caso también podrían ser útiles para formar parte de la red de

monitoreo del acuífero local. En el caso de los pozos de abatimiento se debe de considerar un sello de bentonita (u otro similar) para evitar entradas de agua mayores y/o agua de mala de calidad, que pudieran ocasionar efectos secundarios al acuífero donde se extrae el agua para abatir las presiones.



Figura 101. --Componentes principales a considerar en la normatividad para un pozo de abatimiento de la presión de poro (Fuente: Tubería Laguna 2010 readecuado por S. González, 2023).

3.11.2 NORMATIVIDAD PARA POZOS DE EL SELLADO DE POZOS

La Norma Oficial Mexicana **NOM-004-CONAGUA-1996**, se refiere a los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general, en lo que respecta a esta norma, bajo previa valoración se podría incorporar el tema de los pozos de abatimiento (0. Introducción, 1. Objetivo, 2. Campo de aplicación, 3.- Referencias, 4. Definiciones y 5. Clasificación). En cuanto al apartado 6, referente a las especificaciones, estos podrían ser útiles para el monitoreo de calidad del agua y para monitoreo del nivel estático. En el caso de que los pozos de abatimiento que ya no se requieran, podrán evaluarse los apartados **6.3.1 Cierre temporal del pozo**, **6.3.2 Cierre definitivo del pozo** y **6.3.2.2 Cierre de pozos con nivel estático**, se debe dar el enfoque a los pozos de abatimiento, tomando en cuenta que estos operaron de manera temporal, dado que la norma establece que el pozo de extracción haya permanecido sin operar, por más de tres años será considerado como pozo abandonado. Esta condición podría eliminarse para los pozos de abatimiento.

Los siguientes apartados de la norma son aplicables a los pozos de abatimiento:

6.3.2 Registro del pozo cerrado: Como requisito para cerrar el pozo, se debe tener los siguientes datos:

- a) Localización (coordenadas referidas a planos INEGI)
- b) Profundidad
- c) Diámetro
- d) Litología atravesada
- e) Diseño del cierre causas que motivan el cierre

otros apartados útiles son:

6.3.3 Utilización del pozo de producción como pozo de observación, el cual establece lo siguiente:

En caso de que el concesionario o asignatario desee mantener un pozo como pozo de observación, en vez de proceder a su cierre definitivo, deberá cumplir con lo siguiente:

Dentro de la tubería de ademe se alojarán tubos de 100 mm de diámetro interior como máximo, para la instalación de dispositivos de monitoreo. En el tramo de ademe que penetre dentro del acuífero que se pretende monitorear, se debe colocar material granular (mezcla de grava y arena) a partir del fondo del pozo y alrededor de la tubería de diámetro interior máximo de 100 mm.

Arriba de la frontera superior del acuífero por monitorear, se colocará un sello de bentonita con un espesor mínimo de 0,30 m y el resto se rellenará con bentonita, lechada de cemento, concreto o materiales que asemejen o restituyan las condiciones geohidrológicas de la formación.

El tubo en el cual se instalará el instrumento destinado al monitoreo deberá tener una tapa con un sistema de sujeción conveniente contra la entrada de sustancias contaminantes al acuífero por la vía de la tubería de observación; la tapa deberá también cubrir el espacio anular que existe entre el ademe y el contra ademe.

En caso de que no exista plantilla, ésta deberá construirse alrededor del pozo, utilizando concreto, con dimensiones mínimas de 1 x 1 m con 0,10 m de espesor y pendiente favorable en todas direcciones, de tal manera que el agua u otro fluido drene alejándose del pozo.

El apartado 6.4 de la norma correspondiente refiere al cierre de pozos de uso diferente a la extracción de agua y que penetren total o parcialmente un acuífero conocido, en este apartado podrían considerarse los pozos de abatimiento.

3.11.3 NORMATIVIDAD PARA INSTRUMENTOS

En sentido estricto en México hasta la fecha no se cuenta con normatividad para piezómetros abiertos, eléctricos, pozos de observación, inclinómetros, extensómetros, entre otros. Sin embargo, como punto de partida se puede obtener un apoyo técnico provisional del Manual de Mecánica de Suelos (Instrumentación y monitoreo del comportamiento de obras hidráulicas), editado por la SEMARNAT en colaboración con la CONAGUA en 2012, el cual requiere su actualización y discretización de instrumentos, dada los avances tecnológicos que se han tenido en materia de los sistemas de auscultación. De manera general para cada instrumento se podrá tener una normatividad, el índice propuesto sería el siguiente, el cual indica de manera enunciativa más no limitativa los temas a considerar:

0. Introducción
1. Objetivo del instrumento
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Estudios básicos
6. Clasificación y ubicación

7. Prediseño del instrumento
6. Especificaciones técnicas y pruebas de funcionamiento
 8. Fichas de instalación
 9. Lecturas y monitoreo
 10. Interpretación
- 11.- Expediente de instrumentación
- 12.- Observancia de esta norma
13. Bibliografía
14. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
15. Recomendaciones
16. Vigencia

CAPÍTULO 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- i. Debe quedar claro que los pozos de abatimiento de la presión de poro no son para abastecimiento de agua y estos deben de diseñarse de manera diferente. En los pozos de abatimiento, el bombeo debe ser dirigido a extraer el agua subterránea de los estratos con permeabilidad o acuíferos que generen supresión o entradas de agua a las excavaciones. En los pozos de abatimiento se busca abatir la presión con la cantidad de agua (puede ser poca o mucha) que resulte del estrato de interés que corresponda, mientras que en un pozo de abastecimiento se busca contar con la mayor cantidad de agua para la comunidad o para algún fin. Este último podría contar con la aportación de varios estratos o acuíferos para tener un mayor caudal de producción y en caso de que algún estrato tenga contaminación, este se sella durante su construcción.

- ii. En el caso de la lumbrera L-12, esta se construyó con Milán hasta 44m de profundidad, los muros correspondientes actúan como una pantalla perimetral que ayuda de manera importante a reducir las entradas de agua dado que en gran parte ayuda al sellado de los estratos permeables superiores y en caso de existir alguna filtración esta se pudiera canalizar en un sitio estratégico para poder realizar un bombeo de achique, pues las entradas de agua serian menores. Derivado de lo antes mencionado, esta condición se debe de aprovechar, mejorando el diseño de los pozos de abatimiento, proyectando la tubería de ademe ciego y con la incorporación de sellos de bentonita desde terreno natural hasta la profundidad de los muros Milán, esto permite evitar que los pozos de abatimiento induzcan mayores caudales a la excavación.
- iii. Un aspecto importante en el sistema de abatimiento que puede preverse es contar con plantas de luz de emergencia y equipos de bombeo suficientes, adecuados y de reserva, para que en caso de falla se pueda tener una respuesta y solución oportuna, de otro modo se incurre en fallas en el sistema que pudieran mermar los avances en la excavación, incrementar costos o efectos secundarios.
- iv. Queda claro que la presión de poro está en función de los niveles dinámicos, en este sentido si dicho nivel se recupera o se abate, también lo harán las presiones de poro o hidráulicas, por ello es necesario que los pozos de abatimiento tengan un bombeo ininterrumpido y constante, para evitar posible falla por supresión o entradas de agua a la excavación. Esta condición depende en gran medida del punto referido anteriormente.
- v. Es importante considerar la ubicación, distribución y verticalidad de pozos. Este punto es un factor fundamental para el buen funcionamiento del sistema de abatimiento, también la mala distribución radial de los pozos en la periferia de las lumbreras provoca deficiencias en el sistema de bombeo. En la práctica se ha visto que durante la ejecución de obras se propone una determinada cantidad de pozos y estos quedan distribuidos de un solo lado del semicírculo perimetral de la lumbrera dejando sin bombeo la otra porción, así mismo las pruebas de aforo y bombeo se efectúan con solo los pozos ubicados del lado del semicírculo, lo cual no resulta confiable. En este sentido también se hace referencia a la ubicación de los pozos retirados de la lumbrera, los cuales tampoco son efectivos para abatir las presiones de poro.
- vi. Un factor relevante que se considerarse es que los trabajos realizados son multidisciplinarios y en ese sentido los diversos especialistas, deben de ponerse de acuerdo para llegar a resultados adecuados que ayuden a las diferentes soluciones ingenieriles, para lograr las metas planteadas. Como ejemplo en los trabajos de exploración, se debe de unificar el criterio para la clasificación

- visual y al tacto de las muestras obtenidas de los sondeos, por lo que geólogos, geotécnicos, geofísicos y geohidrologos, lleguen a los mismos resultados.
- vii. Un aspecto importante fue el determinar el caudal de extracción y el número de pozos para el sistema de abatimiento, destacando 3 maneras diferentes de obtenerlo: a) Estimación teórica con 6 pozos para contar con caudal total de 4.6 l/s, b) estimación mediante la combinación de pruebas de aforo y de bombeo ejecutada en un pozo de abatimiento y mediante el apoyo de la Formula de Thiem, el cual indico que era necesario 10 pozos de abatimiento para obtener un caudal total de 362.59 l/s, el cual consideraba un 20% adicional como medida preventiva y c) la aplicación de un modelo de flujo mediante visual Modflow, el cual indico que eran necesarios 18 pozos de abatimiento para obtener un caudal total de 688 l/s. De los tres métodos realizados el último es el más cercano a la realidad, ya que la operación conjunta de los 18 pozos de abatimiento más bombeo de achique apoyado con pruebas hidráulicas, se obtuvo un gasto total de 626.56 l/s, lo que indica un porcentaje de efectividad del 91.06%.
- viii. El periodo de tiempo, que se empleó en el funcionamiento del sistema de bombeo desde el inicio hasta el final de su operación, desde un pozo hasta los 18 pozos requeridos, corresponde del 21 de abril de 2010 (un solo pozo) al 10 de septiembre de 2012, lo que equivale a 873 días (2 años con 143 días). En este periodo se implementó de manera gradual la cantidad de pozos, también considera el paro parcial o total del sistema, agotamiento de caudal de pozos, la sustitución o reemplazó de equipos de bombeo, mantenimientos preventivos y correctivos, entre otros.

4.2 RECOMENDACIONES

- a. Es conveniente realizar pruebas y proyectos piloto de los sistemas de abatimiento para presiones de poro y reducción de flujo, antes de la construcción de cualquier obra, esto ayudará a prever de manera oportuna contratiempos (incremento de tiempo y costos, retrasos en la obra, afectaciones a terceros, entre otros). Esta condición también implica personal especializado y conocimiento integral en este tipo de trabajos (Ing. Geotécnista, Ing. Geohidrólogo, Ing. Electromecánico, Ing. Hidráulico, entre otros) de manera conjunta.

- b. En obras de ingeniería subsecuentes que involucren presiones y flujos de agua subterránea considerables, será necesario considerar un piezómetro de cámara extendida de acuerdo con la longitud del acuífero o estrato productor, que se requiera para “romper” o disipar la presión de poro o hidráulica. El piezómetro deberá de ubicarse cerca del pozo de bombeo, se sugieren que sea entre 5 y 10m de distancia, dependiendo de la profundidad del pozo correspondiente. Esto ayudara a obtener parámetros geotécnicos y geohidrológicos útiles y más representativos durante el diseño y operación de los sistemas de bombeo. De otro modo cuando se plantean piezómetros retirados de los pozos de bombeo para abatir presiones y flujo, estos no detectan la influencia del bombeo y por lo tanto resultan poco útiles.
- c. Se recomienda realizar pozos de bombeo con doble función a posteriori, en trabajos de construcción (edificaciones, túneles, lumbreras, plantas de bombeo, estaciones del metro, captaciones, entre otras), estos que el pozo sea también un piezómetro abierto de cámara extendida y que dicha cámara sea la zona ranurada del ademe del pozo, esto se logra considerando diámetros adecuados del ademe del pozo (de preferencia mayores a 6"), lo anterior implicaría que entre la zona de ademe ciego y la formación geológica se colocara un sello impermeable que podría ser de bentonita, esta condición permitiría aislar la zona con presencia de flujo.
- d. Sí, resulta conveniente o sí fuera el caso de optimizar costos, tiempos y que las condiciones del sitio lo permitan se puede implementar en cualquier obra de ingeniería instrumentación geotécnica o geohidrológica con doble funcionalidad ("dual"), esto es buscar el diseño y los materiales adecuados para lograrlo. Bajo este escenario se podrían tener las siguientes combinaciones: a) pozo de observación- inclinómetro, b) piezómetro abierto-inclinómetro, c) pozo de observación tipo pozo de bombeo, d) pozo de bombeo-piezómetro abierto, entre otros.
- e. Dada la cantidad de agua considerable extraída durante la construcción de la lumbrera, se recomienda que en lo subsecuente para obras similares y que impliquen un desalojo importante de flujo o caudal, que el agua se disponga y se aproveche para: a) un uso adecuado, b) para recarga al acuífero y c) se hagan las adecuaciones provisionales que se dispongan para alimentar a la red hidráulica. Si de la valoración anterior, resulta la necesidad de parar temporalmente la operación de algunos pozos de abastecimiento, el agua

- a ocupar podría ser sustituida por el agua producto de la extracción de los pozos de abatimiento de la presión de poro mediante bombeo.
- f. Es necesario implementar normatividad en materia de pozos de abatimiento e instrumentación geotécnica y geohidrológica, dada que mucha de la experiencia se aprende en la obra con sus implicaciones en cuanto costo y tiempo. La información que se tiene en la literatura es general y abarca poco la ingeniería de detalle.
- g. En complemento al punto anterior la NOM-003-CONAGUA-1996, se refiere a "Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos". Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Febrero de 1997, en este sentido ha sido de gran ayuda para diferentes procesos en la etapa de construcción de alguna obra relacionada con pozos de extracción, sin embargo la mayoría de las veces resulta que los pozos de abatimiento se plantean como pozos de abastecimiento, lo que resulta en pozos de gran producción que generan complicaciones durante la excavación, colado de losas de fondo, interconexiones, entre otros, por las entradas importantes de agua a las obras y los empujes y presiones que el agua subterránea genera. En este sentido podría ser útil la incorporación de un apartado o anexo que considere los pozos de abatimiento.
- h. Resulta útil, replantear el diseño de pozos y en este sentido valdría la pena incorporar una mejora mediante la incorporación de tubería de PVC (o similar) de 1.5" de diámetro en la zona entre el ademe y la formación geológica, el cual permitirá ingresar una sonda o un sensor al interior del pozo, sin que esta interfiera con el equipo de bombeo o que se quede atorada en su interior. La tubería referida tendría un diseño similar al diseño original del pozo (en cuanto longitud de ademe liso y ranurado), ya sea para abatimiento o para abastecimiento, con ello se podría mejorar las mediciones que correspondan y su monitoreo. Para poder implementar lo anterior será necesario un diseño adecuado, que considere diámetros de perforación y espesores suficientes entre el ademe y la formación geológica perforada para alojar dicha tubería.
- i. Se recomienda medir la recuperación del sistema de abatimiento implementado mediante los pozos profundos apoyados con instrumentación geotécnica y geohidrológica, con el propósito de poder actuar de manera oportuna en caso de falla en el sistema y que el

personal que trabaja al interior de una excavación pueda salir a tiempo. Esta actividad implica conocer la respuesta de los pozos ante el paro gradual de cada uno, medir el tiempo de recuperación, los dinámicos del mismo y entender su comportamiento al dejar de extraer cierto caudal (el del primer pozo) y de este modo, repetir esta actividad para todos los pozos de manera ordenada y consecutiva (uno por uno), esto dará como resultado los tiempos parciales y totales(acumulados) de la recuperación del sistema, esto es importante para saber en qué momento y de cuánto tiempo se dispone para poder evacuar la zona donde se realiza la excavación. Los niveles dinámicos de recuperación gradual del cese de cada pozo permitan conocer el nivel del agua dentro de la excavación (es conveniente contar con una escala graduada en el sitio, para monitorear los niveles del agua en la excavación en caso de falla del sistema de bombeo). A manera de ejemplo, una situación se presentó en otra lumbrera donde el nivel estático de los pozos era de los 30m, se tenía un avance del orden de 80m, con niveles dinámicos del orden de 90m y de manera repentina fallo el sistema de bombeo, esto origino que el nivel dinámico llegara hasta el nivel estático en el orden de 15 minutos, que fue el tiempo de recuperación de los pozos del sistema abatimiento y el tiempo que tuvo el personal para salir de la excavación, dejando equipo y maquinaria al interior de la lumbrera. En ese caso el tirante del agua desde el nivel de excavación fue de 50m, es decir, se tuvo la posición del nivel de aguas freáticas del acuífero regional. Experiencia que enseña mucho y deja una gran lección a transmitir.

- j. Se recomienda el uso de electroniveles para el paro al paro y arranque de equipos de bombeo en los pozos, una vez conocido su comportamiento y sus características hidráulicas.
- k. Para proyectos similares, resulta conveniente realizar en medida de lo posible mediciones en tiempo real, ya sea semiautomatizadas o automatizadas con despliegue en una computadora de las diferentes variables técnicas que se miden y se pueda observar su comportamiento in situ, en lugar de monitoreo manual, pues permite tomar decisiones en ese momento y con oportunidad de respuesta.
- l. En el anexo 10, se propone un formato para realizar censos de pozos de abastecimiento y de aprovechamientos de agua subterránea, de piezometría, de pruebas de aforo y de recarga con las actividades más relevantes.

Lista de referencias

1. Comisión Federal de Electricidad (CFE), marzo de 2009. Estudio de factibilidad técnica e ingeniería básica para la elaboración del proyecto ejecutivo y la construcción del Túnel Emisor Oriente, ubicado en el Distrito Federal y los estados de México e Hidalgo. Informes técnicos finales realizados para la CONAGUA (Topografía, Geología, Geofísica, Geomática, Perforación, Geotecnia, Instrumentación, Geohidrología, Estructuras, Ambiental y Concretos).
2. Constructora Mexicana de Infraestructura Subterránea, S.A. de C.V. (COMISSA), marzo de 2010. "Elaboración del proyecto ejecutivo y construcción del Túnel Emisor Oriente localizado en el Distrito Federal, Estado de México, dentro de la cuenca del Valle de México y el Estado de Hidalgo." Proyecto y obras realizadas para la CONAGUA.
3. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica, Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuautitlán-Pachuca, Estados de México e Hidalgo., p. 19, México, DF., 30 de abril de 2002.
4. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), septiembre de 2012. Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012.
5. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuífero.
6. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), NOM-004-CONAGUA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
7. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2018. Construcción del Túnel Canal General (TCG), en el municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México.
8. Custodio E, et al. (1983). Hidrología Subterránea, Barcelona, España. Ediciones Omega, S.A.
9. Braja M. Das (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, México, D.F. Cengage Learning.
10. González de Vallejo L.I (2012). Ingeniería Geológica. Pearson, Prentice Hall.
11. M. Cashman, et al (2012). Groundwater lowering in construction a practical guide to dewatering. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton Fl, USA.
12. Dunicliff, J. (1993). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, New York., A Wiley- Interscience Publication.

13. González Ramírez, S. (2014). Memorias del IV Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Análisis geohidrológico para el control de flujo del agua del subsuelo en la construcción de la obra civil y subterránea (lumbreras y túneles de interconexión), para la planta de bombeo "El Caracol", ubicada en el municipio de Ecatepec, Estado de México. AMITOS.
14. González Ramírez, S. (2014). Memorias del IV Congreso Mexicano de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. Patología en el diseño y operación de los sistemas de abatimiento mediante pozos de bombeo en la construcción de obras subterráneas (lumbreras y túneles), AMITOS.
15. González Ramírez, S. (2015). Instrumentación Geotécnica- Geohidrológica aplicada al tramo III del Túnel Emisor Oriente. Revista Obras Subterráneas (Año 2, No.8), de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C. (AMITOS).
16. González Ramírez, S. (2015). Modelo de funcionamiento hidrogeológico y modelo geotécnico asociado al trazo de excavación del Túnel Emisor Oriente. Revista IC Ingeniería Civil No.549, año LXV del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM).
17. González De Vallejo, L (2012). Ingeniería Geológica. Universidad. Complutense de Madrid, España. Prentice Hall, Pearson.
18. Hvorslev, M.J. (1951). "Time Lag and Soil Permeability in Groudwater Observations". Bulletin No. 36, U.S, Waterways Experimental Station, Vicksburg.
19. Johnson E. (1993). Groundwater and Wells, Minnesota, USA, Johnson Division, UOP INC.
20. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2007). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). México, D.F.
21. Manual de Mecánica de Suelos (Instrumentación y monitoreo del comportamiento de obras hidráulicas), editado por la SEMARNAT en colaboración con la CONAGUA en 2012.
22. Mooser F. (2018). Geología del Valle de México y otras regiones del País, volumen I. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C.
23. López C, et al (2011), Manual de túneles y obras subterráneas tomos 1 y 2. Ingeniería de túneles Madrid. Ediciones graficas Arias Montano, S.A.
24. RST Instruments LTD, fabricante y proveedor de instrumentos de Canadá. Liga: [Structural Health Monitoring Systems You Can Trust | RST Instruments](#).
25. Tubería Laguna, S.A. Pozos de agua profundos, especificaciones técnicas y pruebas de acero resistentes a la corrosión (2010). Liga: <https://tuberialaguna.com.mx>.

Apéndice

ANEXO 1.- NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuífero.

ANEXO 2.- NOM-004-CONAGUA-1996, se refiere a los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

ANEXO 3.- Piezómetro abierto tipo Casagrande (ficha del fabricante: Casagrande standpipe piezometer y PVC Wellscreen and threaded pipe).

ANEXO 4.- Piezómetros eléctricos de cuerda vibrante.

ANEXO 5.-Inclinómetros: Fichas del fabricante Digital MEMS portable inclinometer system, digital horizontal inclinometer system y tuberías inclinométricas.

ANEXO 6.- Sonda para medición de niveles de agua.

ANEXO 7.- Unidad de lectura de cuerda vibrante.

ANEXO 8: Recuperación de datos inalámbricos, DT Link wireless.

ANEXO 9: Registradores de datos. Data logger.

ANEXO 10: Formatos de censo de pozos de abastecimiento y de aprovechamientos de agua subterránea, de piezometría, de aforo de pozos de abastecimiento y de prueba de recarga en un pozo.

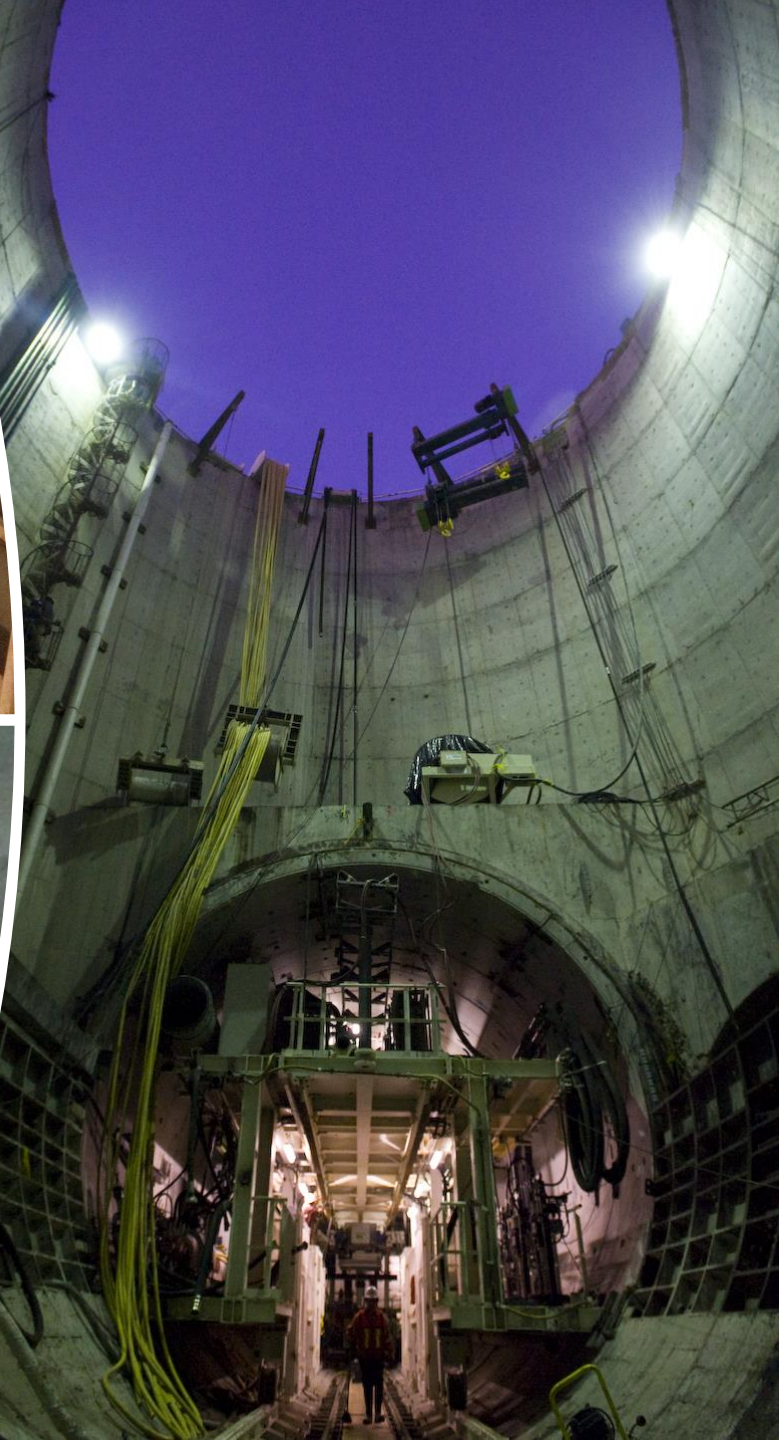
Vita

Ingeniero civil, egresado por la Universidad Nacional Autónoma de México con más de 20 años de experiencia en estudios, proyectos ejecutivos, supervisión, obras y consultoría, en grandes obras de infraestructura hidráulica (pozos de abastecimiento, proyectos de recarga de acuíferos, túneles, lumbreras, acueductos, plantas de bombeo, lagunas, plantas de tratamiento, nuevas fuentes de abastecimiento, prospección para estudios de aguas subterráneas, presas, instrumentación, entre otros). Ha escrito diversos artículos técnicos para el colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles (AMITOS), Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH) e Instituto de Tecnología del Agua (IMTA). Correo de correspondencia: ingenieria_sgr@yahoo.com.mx



Anexos

Geohidrología e Instrumentación
Geotécnica Aplicada al Diseño y
Construcción de la lumbrera L-12 del
Túnel Emisor Oriente, para Abatir las
Presiones y el Flujo Subterráneo en un
Acuífero de Alta Presión.



Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 1.- NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuífero.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA

NORMA Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.- Comisión Nacional del Agua.

GUILLERMO GUERRERO VILLALOBOS, Director General de la Comisión Nacional del Agua, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, III, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 2o. fracción II, 3o. fracción XI, 38 fracción II, 40 fracciones I, X y XIII, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 9o. fracciones I, IV, XII y 12 de la Ley de Aguas Nacionales; 10 segundo párrafo y 14 fracciones XI y XV del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales y,

CONSIDERANDO

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas, el ciudadano Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, que establece los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el día 12 de junio de 1996, a efecto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que durante el plazo de noventa días naturales, contados a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a que se refiere el citado ordenamiento legal, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del plazo referido, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma en cita, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, realizándose las modificaciones pertinentes, mismas que fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el día 6 de enero de 1997 por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en sesión de fecha 1 de octubre de 1996, he tenido a bien expedir la siguiente:

Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

CONTENIDO

0. INTRODUCCION
 1. OBJETIVO
 2. CAMPO DE APLICACION
 3. REFERENCIAS
 4. DEFINICIONES
 5. CLASIFICACION
 6. ESPECIFICACIONES
 7. VERIFICACION
 8. RECOMENDACIONES
 9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA
 10. BIBLIOGRAFIA
 11. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES
 12. VIGENCIA
- APENDICE "A"

0. Introducción

La necesidad de obtener agua en cantidades económicamente explotables ha originado la perforación de aproximadamente 140,000 pozos distribuidos en 460 acuíferos. Cuando los pozos para extracción de agua están mal construidos, ofrecen una vía de contaminación entre el ambiente externo y los acuíferos.

A diferencia del agua superficial, en la que puede observarse el proceso de contaminación y la localización de las fuentes contaminantes, lo que permite la remediación y depuración del recurso de manera oportuna, en el caso del agua subterránea la contaminación avanza y se efectúa sin que pueda observarse, originando que, a veces, la fuente de abastecimiento de agua tenga que abandonarse temporal o definitivamente. Los estudios para determinar la fuente y características de la contaminación, así como el proceso de remediación o descontaminación, requieren plazos de hasta varios años y originan altos costos que obligan incluso a abandonar definitivamente la fuente local de abastecimiento de agua.

La falta de cuidado en el manejo de las instalaciones que contienen líquidos y depósitos de residuos sólidos degradables cercanos a los pozos para extracción de agua, la ausencia de reglamentación relativa a la distancia a la que se puede construir un pozo para extracción de agua de la fuente de contaminación no

suprimible y el diseño y construcción inadecuado de pozos, han dado como resultado la posible contaminación de las aguas subterráneas.

Con el objeto de minimizar este riesgo y establecer los requisitos mínimos durante la construcción de pozos de agua para coadyuvar a la protección de acuíferos, se hace necesario expedir la siguiente:

Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

1. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.

2. Campo de aplicación

Esta Norma se aplica a la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales destinadas a los usos agrícola, agroindustrial, doméstico, acuicultura, servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

La responsabilidad en la aplicación y cumplimiento de la presente Norma corresponde al concesionario o asignatario que realice la construcción de pozos para la extracción de aguas nacionales.

3. Referencias

NOM-008-SCFI-1993	Sistema General de Unidades de Medida. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.
NOM-012-SCFI-1993	Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos - Medidores para agua potable fría - Especificaciones. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.
NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de noviembre de 1993.
NOM-127-SSA1-1994	Salud Ambiental Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero de 1996.

4. Definiciones

Para propósitos de esta Norma, las siguientes definiciones y unidades son aplicables:

4.1 Acreditamiento: Acto mediante el cual la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere la *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*.

4.2 Acuífero: Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

4.3 Ademe: Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definidos, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.

4.4 Asignatario: Dependencia u organismo descentralizado de la administración pública federal, estatal o municipal que explota, usa o aprovecha aguas nacionales mediante asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.5 Bentonita: Arcilla plástica que contiene principalmente sílice coloidal, caracterizada por la propiedad de aumentar varias veces su volumen al ponerse en contacto con el agua.

4.6 Brocal: Base de concreto perimetral al ademe del pozo, colocada en el extremo superior del mismo para soportar al cabezal de descarga.

4.7 Campo de percolación: Área preparada para verter agua que se empleará para la recarga artificial de acuíferos, ya sea por inundación directa o en forma de riego.

4.8 Concesionario: Persona física o moral que explote, use o aproveche aguas nacionales mediante concesión otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.9 Contraademe: Tubería, generalmente de acero, utilizada en la ampliación de la parte superior de un pozo, cuya función es evitar derrumbes, entradas de aguas superficiales e infiltraciones que contaminen al acuífero.

4.10 Degradación: Cambio o modificación de las propiedades físicas y químicas de un elemento, por efecto de un fenómeno o de un agente extraño.

4.11 Depósito de jales: Sitio donde se depositan residuos generados en las operaciones primarias de separación y concentración de minerales.

4.12 Desarrollo del pozo: Conjunto de actividades tendientes a restituir e incrementar la porosidad y permeabilidad del filtro granular y la formación acuífera adyacente al pozo.

4.13 Desinfectante: Sustancia o proceso que destruye o impide la reproducción de microorganismos infecciosos, tales como las bacterias y los enterovirus.

4.14 Filtro granular: Material redondeado de origen natural, exento de materia orgánica o cualquier sustancia que altere o modifique sus propiedades físicas y químicas naturales, cuyo tamaño se selecciona en

función de las características del acuífero; se coloca entre el ademe y el contraademe o pared de la unidad geológica horadada y su función principal es la de evitar la entrada de material fino al interior del pozo.

4.15 Fluido de perforación: Agua, agua con bentonita, aire, aire con espumantes, o lodos orgánicos, empleados en las labores de perforación rotatoria de pozos, para remover el recorte del fondo, enfriar y limpiar la barrena, mantener estables las paredes y reducir la fricción entre las paredes del pozo y la herramienta de perforación.

4.16 Fuente contaminante: Conjunto de elementos que generan productos que alteran, en forma negativa, las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua.

4.17 La Comisión: Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

4.18 Lecho de absorción: Obra de superficie para la recarga artificial de acuíferos, que consiste en adecuaciones del cauce de un río para mantener o aumentar su capacidad de infiltración.

4.19 Material consolidado: Agregado natural de fragmentos de roca unidos unos con otros directamente, o con ayuda de un cementante (material precipitado químicamente) o con matriz (material terrígeno).

4.20 Material no consolidado: Agregado natural de partículas poco cohesivas, no cementadas entre sí.

4.21 Nivel freático: Nivel superior de la zona saturada, en el cual el agua, contenida en los poros, se encuentra sometida a la presión atmosférica.

4.22 Perforista: Persona física o moral con quien el concesionario o asignatario ha convenido la perforación.

4.23 Permeabilidad: Capacidad de un material para transmitir un fluido.

4.24 Plantilla: Losa de concreto perimetral al brocal para protección superficial del pozo.

4.25 Pozo: Obra de ingeniería, en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción, para permitir extraer agua del subsuelo.

4.26 Pozo de absorción: Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; esta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

4.27 Pozo de infiltración o inyección: Obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero.

4.28 Rejilla; cedazo: Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

4.29 Relleno sanitario: Sitio para el confinamiento controlado de residuos sólidos municipales.

4.30 Unidad de verificación: Personas físicas o morales que hayan sido acreditadas para realizar actos de verificación por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, en coordinación con las dependencias competentes.

4.31 Uso agrícola: La utilización de agua nacional, destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

4.32 Uso agroindustrial: La utilización de agua nacional, para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios.

4.33 Uso doméstico: Utilización del agua nacional, destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

4.34 Uso en acuicultura: La utilización de agua nacional, destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas.

4.35 Uso industrial: La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

4.36 Uso pecuario: La utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial.

4.37 Uso público urbano: La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal.

4.38 Uso en servicios: La utilización de agua nacional para servicios distintos a los señalados en las fracciones 4.31 a 4.39 de esta Norma.

4.39 Usos múltiples: La utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos en párrafos anteriores, salvo el uso para conservación ecológica, el cual está implícito en todos los aprovechamientos.

4.40 Verificación: Constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

5. Clasificación

Para propósitos de esta Norma, los pozos se pueden clasificar, en cuanto a su uso, en agrícola, agroindustrial, doméstico, en acuacultura, en servicios, industrial, pecuario, público urbano y múltiples.

6. Especificaciones

6.1 Materiales usados en la construcción de pozos

Las piezas y sustancias utilizadas en la construcción de pozos deben ser de calidad comercial.

6.2 Area restringida de emplazamiento del pozo

El área de protección entre el sitio seleccionado para construir un pozo y las fuentes potenciales de contaminación existentes que no pueden ser suprimidas, tendrá un radio mínimo de 30 m con respecto al pozo.

Las fuentes de contaminación son las siguientes (esta lista no es limitativa, sino que depende de lo que, para situaciones y condiciones particulares, la Comisión considere necesarias):

- Alcantarillado sanitario
- Campos de percolación
- Canales de aguas residuales
- Cloacas
- Depósitos de jales
- Fosas sépticas
- Gasolineras y depósitos de hidrocarburos
- Lechos de absorción
- Letrinas
- Pozos abandonados no sellados
- Pozos de absorción
- Puntos de descarga de aguas residuales de uso industrial
- Rellenos sanitarios
- Ríos y cauces con aguas residuales provenientes de los usos definidos en los puntos 4.31 a 4.39
- Rastros y establos

El radio mínimo podrá ser modificado por la Comisión o por la autoridad local competente, a través de la disposición legal o reglamentaria aplicable, con base en un estudio específico del sitio que considere la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la extensión de su área de influencia, para diferentes tiempos.

Cuando no sea posible cumplir el radio mínimo especificado en la presente Norma o en la disposición local reglamentaria, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño que propone, para evitar la contaminación del acuífero, basado en estudios hidrogeológicos.

6.3 Desinfección de la herramienta en la etapa de perforación del pozo

La herramienta y la tubería de perforación se deben desinfectar antes de iniciar los trabajos de perforación. Previo a la desinfección, es necesario remover las grasas, aceites y otras sustancias adheridas a las herramientas.

6.4 Preparación y disposición adecuada de los fluidos de perforación

En la perforación de pozos con fluidos, cuya base principal sea el agua y la bentonita, éstos no deben contener ninguna sustancia que degrade las características químicas del agua subterránea.

6.4.1 Preparación de los fluidos

El agua utilizada en la preparación del fluido de perforación debe tener características físico-químicas tales que no inhiban las propiedades del fluido y no degraden al agua del subsuelo. Debe estar libre de organismos patógenos y poseer un pH entre 6 y 10.

Bajo ninguna circunstancia se debe permitir el uso de aguas residuales.

6.4.2 Protección de acuíferos por pérdida de circulación

No se deben añadir al fluido de perforación materiales que puedan contaminar o reducir la propiedades hidráulicas del acuífero.

6.4.3 Disposición de los residuos

Concluidos los trabajos de construcción del pozo, el perforista debe retirar los residuos de lodo y materiales de construcción del área de trabajo, de acuerdo a la reglamentación federal o estatal.

Los residuos se podrán esparcir en sitios cercanos, previa autorización de los propietarios de los terrenos. En todo caso se deberá realizar una limpieza del área de trabajo con el fin de restaurar el sitio a sus condiciones originales.

6.5 Protección superficial e interna de la estructura del pozo

Todos los aprovechamientos hidráulicos subterráneos deben contar con protección sanitaria. De acuerdo con la estructura del pozo, el espacio anular entre las paredes de la formación y el ademe, así como la terminal superior del pozo, son las áreas que presentan mayor riesgo de contaminación.

6.5.1 Ademe para protección del pozo

6.5.1.1 Sobreelevación del ademe por encima del nivel del suelo

El extremo superior del ademe debe sobresalir cuando menos 0.50 m por encima del nivel del terreno natural o sobreelevado.

6.5.1.2 Cedazo o rejilla

El material del cedazo o rejilla y sus elementos de unión (soldadura o pegamento) deben ser de calidad comercial y uniforme.

6.5.1.3 Filtro granular

En caso de que sea necesario el uso de filtro granular, éste debe estar conformado por partículas inertes redondeadas, de origen natural; asimismo, no deberá tener un porcentaje mayor del 5% de material carbonatado. En ningún caso se deben utilizar filtros de material triturado.

6.5.2 Contraademe

El contraademe debe tener la longitud necesaria para evitar la infiltración de agua superficial o agua contaminada, contenida en el subsuelo, hacia el interior del pozo. El contraademe debe tener una longitud mínima de seis metros y debe sobresalir 0.20 m del nivel del terreno natural o sobreelevado, o bien 0.50 m, dependiendo del diseño del pozo (ver figuras ilustrativas 1 y 2). El espacio anular entre el contraademe y la formación adyacente será rellenado por completo con una lechada de cemento normal.

En el caso de que se perforen pozos donde existan acuíferos con agua de diferente calidad, el concesionario o asignatario deberá presentar a la Comisión el diseño del pozo para evitar la mezcla del agua de ellos por efecto del pozo, y que pueda causar la degradación de la calidad del agua de alguno de los acuíferos.

6.5.3 Sobreelevación y protección del área de emplazamiento del pozo

6.5.3.1 Tipo y dimensiones del brocal

Cuando el diseño del pozo sea como se presenta en la figura ilustrativa 1, la forma exterior del brocal será la de un prisma cuadrangular, cuyos lados tendrán una longitud igual al diámetro total superficial de la perforación, con una altura de 0.50 m a partir del nivel del terreno natural o sobreelevado. En el momento de la construcción del brocal, se deben colocar dos tubos para la colocación del filtro granular.

Cuando el diseño del pozo sea como el presentado en la figura ilustrativa 2, el contraademe debe tener la misma altura que el ademe, sin que sea necesario poner tubos engravadores, ya que el espacio anular sólo lleva una tapa removible.

En ambos casos, la plantilla y la parte superficial de la cementación del contraademe, deben formar estructuralmente un solo cuerpo.

Cuando el pozo esté emplazado en unidades de material consolidado, el ademe debe estar ahogado en el brocal. Cuando el pozo esté perforado en material no consolidado, se debe dejar un espacio anular mínimo de 0.0063 m entre el brocal y el ademe.

Cuando el concesionario o asignatario, y sólo por razones técnicas, considere otro diseño de brocal, deberá presentarlo a la Comisión para su aprobación.

6.5.3.2 Plantilla

La superficie de la plantilla alrededor del pozo debe construirse con una pendiente del 2% (dos por ciento), de tal modo que el agua u otro fluido que escurra se aleje del pozo en todas las direcciones.

La forma exterior de la losa será cuadrada, y debe tener una longitud mínima por lado de 3 (tres) veces el diámetro total de la perforación. El espesor total de la losa será de 0.15 m, de los cuales los 0.05 m inferiores estarán por debajo del nivel del terreno natural o sobreelevado, previo desplante y apisonamiento de este último (véase figura 1).

En caso de existir evidencia de inundaciones en el área, la plantilla debe estar sobreelevada. Para ello, el usuario debe considerar el nivel de la máxima inundación registrada en los últimos 30 años, la orientación geográfica y la elevación topográfica del sitio de emplazamiento del pozo.

6.5.4 Tipo y dimensiones de la protección del pozo

En pozos de uso público urbano se debe contar, además de la cerca de malla ciclónica, con una caseta para garantizar la protección y buen funcionamiento del pozo. En caso de que sea necesario construir casetas subterráneas, éstas deben tener un drenaje adecuado o, en su defecto, contar con una estación de bombeo para desalojar el agua. En pozos de uso industrial ubicados dentro de instalaciones industriales cerradas, el concesionario o asignatario deberá garantizar la adecuada protección superficial del pozo.

En los demás usos definidos en la presente Norma, los pozos deben contar con una cerca perimetral de protección de malla ciclónica de al menos 3 x 3 m en planta. En caso de que las características y el espacio del terreno lo permitan, podrán construirse obras civiles complementarias.

6.6 Desinfección del pozo

La desinfección del pozo debe ser realizada durante la etapa de desarrollo del mismo, antes de que el equipo permanente haya sido instalado, el cual debe también ser desinfectado.

Para ello, deberá aplicarse el desinfectante necesario para que la concentración de cloro en el agua contenida en el pozo sea de 200 mg/L como mínimo. El agua en el pozo deberá tratarse con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud.

Después de que el desinfectante haya sido aplicado, se agitará el agua del pozo para lograr una buena mezcla y se inducirá el contacto de la mezcla agua-desinfectante con las paredes del ademe, rejilla, filtro y formación del acuífero.

Posteriormente, se debe circular la mezcla dentro del ademe con la columna de bombeo, y luego extraerla mediante bombeo. Después de que el pozo haya sido desinfectado, debe ser bombeado hasta que no se detecten residuos del desinfectante utilizado.

6.7 Dispositivos de medición y monitoreo

6.7.1 Medidor de volúmenes

Con el objeto de disponer de un medio seguro para conocer los caudales de extracción del pozo, es indispensable la instalación de un dispositivo de medición compatible con los volúmenes proyectados de extracción. Para uso público urbano, el medidor debe cumplir con los requisitos estipulados en la Norma Oficial Mexicana de medidores de agua NOM-012-SCFI o usar dispositivos similares que cumplan con las normas vigentes.

6.7.2 Toma lateral

Se requiere instalar un dispositivo lateral en la tubería principal de descarga para el muestreo del agua.

6.7.3 Medición de niveles

También se requiere la instalación de un dispositivo que permita medir la profundidad del nivel del agua en el pozo.

6.8 Documentos requeridos para la aprobación de operación del pozo

Para aprobar la operación del pozo por parte de la Comisión, es necesario que el concesionario o asignatario entregue los siguientes documentos:

- a) Croquis de localización del pozo, indicando las posibles fuentes de contaminación
- b) Registro eléctrico del pozo, integrado por:
 - Curvas de resistividad (normal corta, normal larga y lateral)
 - Curva de potencial espontáneo (S.P.)
- c) Registro estratigráfico (corte litológico)
- d) Diseño final del pozo
- e) Requisitos y memoria de cálculo y resultado del aforo
- f) Análisis físico-químico del agua que incluya determinación del pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio y sólidos disueltos totales.

7. Verificación

La verificación de las especificaciones indicadas en el inciso 6 se realizará en forma periódica, aleatoriamente o cuando la Comisión lo estime necesario, utilizando los métodos de muestreo estadístico establecidos en las normas oficiales mexicanas, y considerando las especificaciones que en el momento de la visita sea posible verificar. Dicha verificación podrá ser realizada por personal de la Comisión o por unidades de verificación acreditadas para tal efecto.

7.1 Desinfección del pozo (especificación del inciso 6.6)

El método de muestreo se realizará conforme a la Norma NOM-014-SSA1 y los límites utilizados para verificar la desinfección del pozo serán de acuerdo a la Norma NOM-127-SSA1 en cuanto a los parámetros bacteriológicos.

7.2 Disposición de los residuos (especificación del inciso 6.4.3)

La disposición de los lodos de perforación y otros residuos, se verificará visualmente tanto en el sitio del pozo como en el de la disposición final.

7.3 Especificaciones de la distancia mínima a las fuentes contaminantes; dimensiones del ademe, contraademe, plantilla y dispositivo de medición (especificaciones de los apartados 6.2, 6.5 y 6.7)

La verificación de las especificaciones de las dimensiones será hecha *in situ*, con los instrumentos de medición pertinentes y con una tolerancia de $\pm 10\%$.

7.4 Especificaciones restantes

Las restantes especificaciones se verificarán visualmente y mediante la lectura del registro en la bitácora de perforación.

7.5 Informe de las verificaciones

El informe de las verificaciones efectuadas debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa del pozo, con una fotografía del sitio
- Resultados obtenidos de las verificaciones
- Nombre y firma del responsable de las verificaciones
- Fecha de ejecución de las verificaciones.

8. Recomendaciones

Para los procesos constructivos, desarrollo, aforo y desinfección, se pueden consultar los libros de Perforación de Pozos y Rehabilitación de Pozos del "Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento", editado por la Comisión Nacional del Agua, mismo que se pone a disposición del público para poder ser consultado en las oficinas de dicho órgano administrativo desconcentrado, ubicadas en cerrada de Sánchez Azcona número 1723, piso 7, colonia Del Valle, 03100, México, D. F.

9. Observancia de esta Norma

La Comisión Nacional del Agua será la encargada de vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, quien promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

10. Bibliografía

- ANSI/AWWA C654-87, *Norma de la AWWA para Desinfección de Pozos* (traducción de la CNA).
ANSI/AWWA A100-90, *Standard for Water Wells*.
AWWA, *Groundwater*, 1989.
Foster, S. S., Gale, I. N. y Spanhol, I. H., *Effects of Wastewater Recharge on Aquifer Water Quality*, informe No. 2 del libro *Impact of Wastewater Use and Disposal on Groundwater*.
Campbell, M. and Lehr, J., *Well Cementing*, *Water Well Journal*, July 1975.
Chapman, S.L., *The Foreman Story: Idaho Department of Water Administration Closes Flowing Artesian Well*, *Water Well Journal*, October 1972.
Jones, Elmer E., *Well Construction Helps Determine Water Quality*, *Journal of Environmental Health*, Vol. 35, No. 5, 1973.
Dunbar, D., Tuchfeld, H., Siegel, R. y Sterbentz, R., *Groundwater Quality Anomalies Encountered During Well Construction*, publicado en *Groundwater Monitoring Review*, Vol. 5 No. 3, 1985.
Gass, T.E., *The Impact of Abandoned Wells on Ground Water Quality*, *Water Well Journal*, March 1981.
Johnson Division, UOP Inc., *El Agua Subterránea y los Pozos*, 1975.
Johnson, R.C. Jr., Kurt C.E. y Dunham, G.F. Jr., *Well Grouting and Casing Temperature Increases*, *Ground Water* 17:3, 1980.
Keech, D.K., *Plugging Abandoned Wells*, *Ground Water Age*, January 1973.
Kurt, C.E. y Johnson, R.C. Jr., *Permeability of Grout Seals Surrounding Thermoplastic Well Casing*, *Ground Water* 20:4, 1982.
McElhiney, W.A., *Cementing Small Wells*, *Water Well Journal*, January-February 1955.
McGinty, J.E. y Calvert, D.G., *Cementing Off, Plugging and Redrilling*, *Water Well Journal*, July 1975.
Moehrl, K.H., *Well Grouting and Well Protection*, *Journal American Water Works Association*, April 1964.
Roscoe Moss Company, *Handbook of Groundwater Development*. John, Wiley and Sons, 1989.
SARH, *Seminario de Capacitación sobre Construcción, Equipamiento, Operación y Mantenimiento de Pozos Profundos*, preparado por la Subsecretaría de Agricultura y Operación, 1980.
US-EPA, *Manual of Water Well Construction Practices*, Office of Water Supply, EANIDAR FORM-570/9-75-001.
Water Well Journal, *Sealing Abandoned Water Wells*, April 1973.
Water Well Journal, *Abandoned Wells: A Problem with a Solution*, October 1975.

11. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

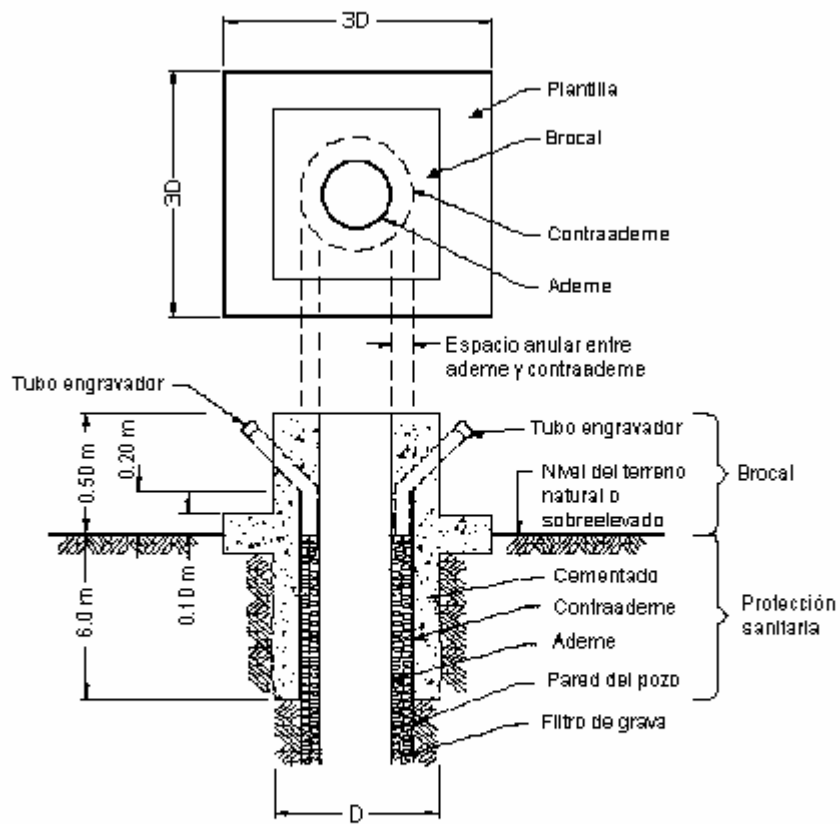
Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda totalmente con ninguna norma internacional, por no existir referencia en el momento de su expedición.

12. Vigencia

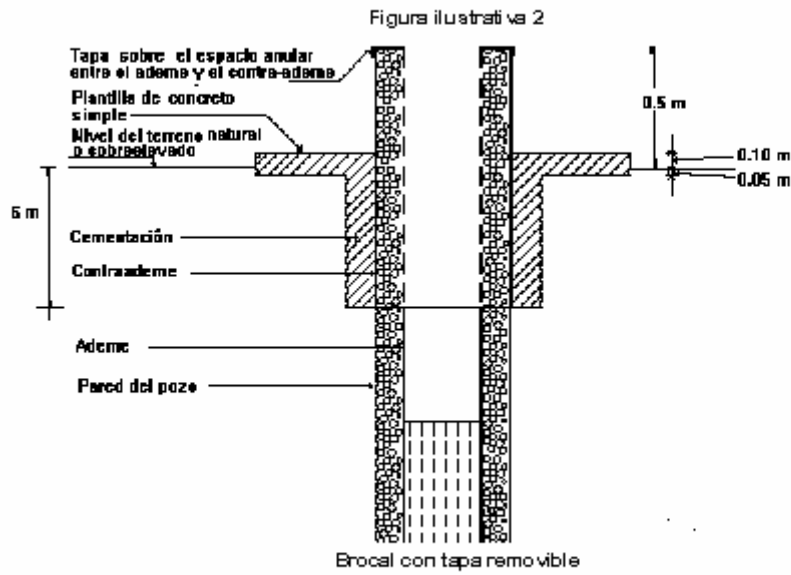
La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 90 días naturales siguientes a su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

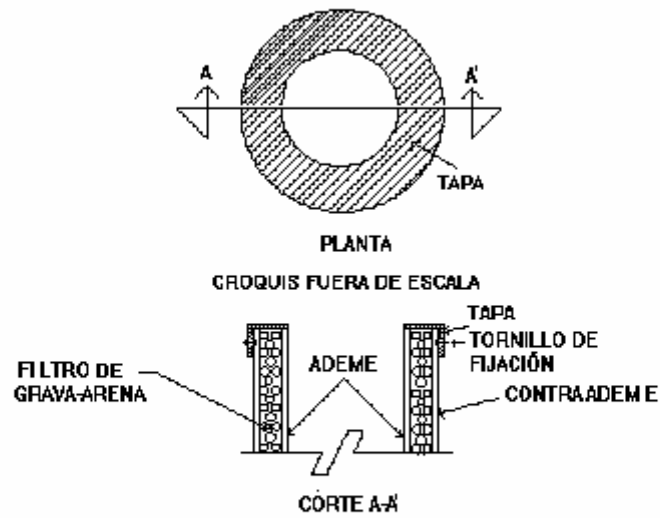
Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, el siete de enero de mil novecientos noventa y siete.- El Director General de la Comisión Nacional del Agua, **Guillermo Guerrero Villalobos**.- Rúbrica.

APENDICE "A"
Figura ilustrativa 1



Brocal con ademe y contraademe embebido en concreto





Detalle de la tapa sobre el espacio anular del filtro

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 2.- NOM-004-CONAGUA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

NORMA Oficial Mexicana NOM-004-CONAGUA-1996, Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.- Comisión Nacional del Agua.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-CNA -1996, "REQUISITOS PARA LA PROTECCION DE ACUIFEROS DURANTE EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE POZOS DE EXTRACCION DE AGUA Y PARA EL CIERRE DE POZOS EN GENERAL".

GUILLERMO GUERRERO VILLALOBOS, Director General de la Comisión Nacional del Agua, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, II, III, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 2o. fracción II, 3o. fracción XI, 38 fracción II, 40 fracciones I, X y XIII, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 62, 63 y 64 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 9o. fracciones I, IV, XII y 12 de la Ley de Aguas Nacionales; 10 segundo párrafo y 14 fracciones XI y XV del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, y

CONSIDERANDO

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Proyectos de Normas Oficiales Mexicanas, el C. Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996, que establece los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 9 de octubre de 1996, a efecto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo.

Que durante el plazo de noventa días naturales, contado a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, los análisis a que se refiere el citado ordenamiento legal, estuvieron a disposición del público para su consulta.

Que dentro del plazo referido, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma en cita, los cuales fueron analizados en el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, realizándose las modificaciones pertinentes, mismas que fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 24 de julio 1997 por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua.

Que previa aprobación del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, en sesión de fecha 9 de abril de 1997, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-CONAGUA-1996, "REQUISITOS PARA LA PROTECCION DE ACUIFEROS DURANTE EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE POZOS DE EXTRACCION DE AGUA Y PARA EL CIERRE DE POZOS EN GENERAL".

CONTENIDO

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
5. Clasificación
6. Especificaciones
7. Verificación
8. Observancia de esta norma
9. Bibliografía
10. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
11. Recomendaciones
12. Vigencia

0. Introducción

La necesidad de obtener agua en cantidades económicamente explotables ha originado la perforación de aproximadamente 140 000 pozos. En un futuro próximo muchos de estos pozos requerirán de mantenimiento y rehabilitación y, en otros casos, al terminar su vida útil, serán clausurados o simplemente abandonados.

Los pozos para extracción de agua son un conducto de comunicación entre el medio ambiente exterior y los acuíferos; el uso o manejo inadecuado de estas instalaciones puede provocar la contaminación de dichos acuíferos.

Para minimizar este riesgo se elaboró la presente Norma, en la cual se establecen los requisitos que se deben cumplir en cuanto a mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos.

1. Objetivo

Proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva.

2. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable a todos los pozos de exploración, monitoreo o producción que penetren total o parcialmente un acuífero, y que sean destinados a alguno de los usos de extracción de agua clasificados en esta Norma, así como a aquellos que fueron perforados para otros usos, y que han quedado abandonados. Su cumplimiento es exigible a los concesionarios y asignatarios de pozos de extracción de agua y a los dueños de pozos para otros usos, y es independiente del trámite para la concesión o asignación del volumen de aguas nacionales.

3. Referencias

- NOM-003-CNA-1996 Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de febrero de 1997.
- NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de agosto de 1994.
- NOM-006-ENER-1995 Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación - Límites y método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de noviembre de 1995.

Las normas enunciadas podrán consultarse en el domicilio del Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, sito en la calle de J. Sánchez Azcona número 1723, piso 7, colonia Del Valle, Delegación Benito Juárez, código postal 03100, México, D.F.

4. Definiciones

4.1 Acreditamiento:

Acto mediante el cual la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial reconoce organismos nacionales de normalización, organismos de certificación, laboratorios de pruebas y de calibración y unidades de verificación, para que lleven a cabo las actividades a que se refiere la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

4.2 Acuífero:

Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

4.3 Acuífero conocido:

Cualquier formación geológica por la cual circulan o se almacenan aguas subterráneas que estén en uso o aprovechamiento de acuerdo a los incisos 4.26 a 4.35, o bien, que figure en informes oficiales; además, deberá tener una transmisividad mínima de $0,3 \times 10^{-3}$ m²/s y menos de 2 500 mg/L de sólidos disueltos totales.

4.4 Ademe:

Tubo generalmente metálico o de policloruro de vinilo (PVC), de diámetro y espesor definidos, liso o ranurado, cuya función es evitar el derrumbe o el colapso de las paredes del pozo que afecten la estructura integral del mismo; en su porción ranurada, permite el flujo del agua hacia los elementos mecánicos de impulsión de la bomba.

4.5 Asignatario:

Dependencia y organismo descentralizado de la administración pública federal, estatal o municipal que explota, usa o aprovecha aguas nacionales mediante asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.6 Cierre de pozos:

Conjunto de trabajos que se ejecutan para clausurar pozos, ya sea de manera temporal o definitiva. Su finalidad es evitar la contaminación del agua subterránea, eliminar el riesgo físico, preservar el rendimiento del acuífero y evitar posibles contaminaciones entre acuíferos.

4.7 Concesionario:

Persona física o moral que explota, usa o aprovecha aguas nacionales mediante concesión otorgada por la Comisión Nacional del Agua.

4.8 Contra ademe:

Tubería, generalmente de acero, utilizada en la ampliación de la parte superior de un pozo, cuya función es evitar derrumbes y entradas de aguas superficiales e infiltraciones que contaminen al acuífero.

4.9 Desinfectante:

Sustancia o proceso que destruye o impide la reproducción de microorganismos infecciosos tales como las bacterias y los enterovirus.

4.10 Drenes horizontales:

Conductos horizontales que sirven para interceptar y coleccionar agua subterránea, donde ésta fluye por gravedad.

4.11 Filtro granular:

Material redondeado de origen natural, exento de materia orgánica o cualquier sustancia que altere o modifique sus propiedades físicas y químicas naturales, cuyo tamaño se selecciona en función de las características del acuífero; se coloca entre el ademe y el contra ademe o pared de la unidad geológica horadada, siendo su función principal la de evitar la entrada de material fino al interior del pozo.

4.12 La Comisión:

La Comisión Nacional del Agua, órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

4.13 Mantenimiento de pozos:

Conjunto de actividades cuyo objetivo es mantener la eficiencia de la captación dentro de un intervalo aceptable y que prolongue la vida útil de los pozos.

4.14 Noria:

Aprovechamiento de gran diámetro y poca profundidad que se utiliza para extraer agua subterránea.

4.15 Pozo abandonado:

Cualquier perforación que penetra total o parcialmente un acuífero y que, debido a la inconveniencia económica, física o técnica para su operación o rehabilitación, ha quedado fuera de servicio.

4.16 Pozo con puntero:

Pozos cuyo ademe es hincado; el primer tramo colocado termina en punta y regularmente sustituye al tapón de fondo. Se hinca a través de materiales no consolidados.

4.17 Pozo de infiltración o inyección:

Obra de ingeniería que permite la recarga artificial del acuífero.

4.18 Pozo para extracción de agua:

Obra de ingeniería en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas para su construcción y que permite extraer agua del subsuelo.

4.19 Pozo para otros usos diferentes a la extracción de agua:

Cualquier perforación que penetra total o parcialmente un acuífero que se esté explotando o que se reserve para uso futuro.

4.20 Rehabilitación de pozos:

Conjunto de trabajos que se ejecutan en un pozo, sin incrementar la profundidad, encaminados a corregir deficiencias en el funcionamiento del mismo y cuya finalidad es mejorar el caudal de explotación respecto a la condición inicial que se registraba antes de los trabajos, prolongar su vida útil, mejorar la calidad del agua o la combinación de estos objetivos en un caso ideal.

4.21 Rejilla; cedazo:

Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, para permitir el paso del agua al interior del pozo.

4.22 Reposición de pozos para extracción de agua:

En esta Norma se entenderá como la construcción de un pozo nuevo, cuando un diagnóstico técnico aconseje el cierre del existente.

4.23 Sellado de pozos:

Son los trabajos realizados en el pozo, tendentes a restituir las condiciones del terreno natural.

4.24 Transmisividad:

Caudal que se filtra por el área dada por el espesor total del acuífero y un ancho unitario, bajo un gradiente unitario a temperatura de 20°C.

4.25 Unidad de verificación:

Personas físicas o morales que hayan sido acreditadas por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial para realizar actos de verificación en coordinación con las dependencias competentes.

4.26 Uso agrícola:

La utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

4.27 Uso agroindustrial:

La utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas y pecuarios.

4.28 Uso doméstico:

Utilización del agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa.

4.29 Uso en acuicultura:

La utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas.

4.30 Uso industrial:

La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua, aun en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación.

4.31 Uso pecuario:

La utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial.

4.32 Uso público urbano:

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal.

4.33 Uso en servicios:

La utilización de agua nacional para servicios distintos de los señalados en las fracciones 4.26 a 4.35 de esta Norma.

4.34 Uso en generación de energía eléctrica:

La utilización de agua nacional para generar energía eléctrica.

4.35 Uso en silvicultura:

La utilización de agua nacional para el desarrollo forestal.

4.36 Verificación:

Constatación ocular o comprobación mediante muestreo y análisis de laboratorio acreditado, del cumplimiento de las normas.

5. Clasificación

Para fines de la presente Norma, los pozos se distinguirán en aquellos para extracción de agua y pozos para usos diferentes a ésta.

Los pozos y perforaciones para extracción de agua, en cuanto a su uso, se pueden clasificar en público urbano, agrícola, agroindustrial, doméstico, de acuicultura, servicios, industrial, generación de energía eléctrica, pecuario y silvicultura.

En cuanto a los pozos para usos diferentes a la extracción de agua, se clasifican como pozos de exploración, explotación u operación en minería, petroleros, de ingeniería civil, de infiltración o inyección, y de investigación.

6. Especificaciones

6.1 Mantenimiento de pozos para extracción de agua

6.1.1 Desinfección periódica

Para los pozos destinados al uso público urbano, así como para aquellos destinados a usos agroindustrial e industrial que procesen alimentos, será obligatoria la desinfección del pozo, como se indica a continuación:

Después de que haya sido instalado el equipo permanente del pozo (bomba y motor) y entre en operación, éste debe desinfectarse como mínimo cada tres años. Para ello, deberá aplicarse proporcionalmente al volumen de agua contenido en el pozo el desinfectante necesario para que el cloro activo sea de 200 mg/L como mínimo.

El agua en el pozo deberá tratarse con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud.

Después de que el desinfectante haya sido aplicado, se agitará y se recirculará el agua del pozo para lograr una buena mezcla e inducir el contacto de dicha mezcla con las paredes del ademe, rejilla, filtro granular y formación del acuífero.

Luego se dejará reposar la mezcla agua-desinfectante en el interior del pozo durante al menos 12 horas, pero no más de 24 horas.

6.1.2 Monitoreo de calidad del agua

En todos los pozos de extracción de agua se deberán tomar muestras simples cada tres años, con objeto de efectuar un análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua, de acuerdo con los métodos de análisis establecidos en Normas Mexicanas (NMX) o los internacionalmente aceptados, que incluyan la determinación de pH, conductividad eléctrica, sulfatos, nitratos, cloruros, dureza total, calcio, sodio, potasio, sólidos disueltos totales y bacterias coliformes fecales.

6.2 Rehabilitación de pozos para extracción de agua

Antes de iniciar los trabajos de rehabilitación, si la bomba desinstalada estuvo lubricada con aceite, es necesario remover el aceite acumulado en la superficie del agua del interior del pozo.

Todo pozo para extracción de agua que sea sometido a trabajos de rehabilitación deberá someterse a un tratamiento de desinfección de acuerdo con el inciso 6.3 de la norma NOM-003-CNA-1996.

En el caso de que simplemente se retire y se vuelva a instalar su equipo de bombeo, éste deberá desinfectarse antes de su instalación.

Asimismo, independientemente de lo anterior, el equipo de bombeo debe cumplir con los requisitos estipulados en la norma NOM-006-ENER-1995.

6.2.1 Trabajos de actualización durante la rehabilitación del pozo

Con el objeto de reducir al mínimo los riesgos de contaminación superficial del pozo y de contar con un medio que permita cuantificar los caudales de agua extraídos, se deben seguir las mismas disposiciones indicadas en las secciones 6.5.3.2, 6.5.4, 6.7.2, 6.7.3, y 6.8 incisos d), e), f) y g) de protección superficial de la estructura del pozo, del dispositivo de medición y de registros requeridos, correspondientes a la norma NOM-003-CNA-1996.

6.3 Cierre de pozos para extracción de agua

Si de acuerdo con la información disponible, el concesionario o asignatario determina la inconveniencia económica, física o técnica para que un pozo continúe en operación, se deberá proceder al cierre temporal o definitivo del pozo.

En lo que respecta a los pozos que se encuentren abandonados, la Comisión solicitará al propietario del predio que proceda al cierre del pozo.

6.3.1 Cierre temporal del pozo

El tiempo máximo que un pozo podrá estar fuera de operación será de tres años. Lo anterior debe ser notificado por el concesionario o asignatario a la Comisión. Establecida la notificación, el concesionario o asignatario debe desmontar el equipo de bombeo, sellar la parte superior del ademe por medio de una tapa de acero y colocar, si el pozo carece de ella, una cerca de protección de 3 x 3 m en planta con una altura mínima de 1,50 m. En el caso de ademe de policloruro de vinilo (PVC), la parte superior del ademe debe sellarse con una tapa hermética.

Para la reutilización del pozo, el concesionario o asignatario debe, previamente, notificarlo a la Comisión.

6.3.2 Cierre definitivo del pozo

Cuando el pozo haya permanecido sin operar por más de tres años, será considerado como pozo abandonado. El concesionario o asignatario debe proceder a clausurar el pozo abandonado de manera definitiva, o bien solicitar la autorización para que el pozo sea habilitado como pozo de observación conforme al inciso 6.3.4, o como pozo de respaldo, sujeto al inciso 6.3.5.

6.3.2.1 Cierre de pozos secos

Para el sello del pozo seco se puede utilizar grava y arena. La colocación de estos materiales debe realizarse del fondo del pozo hacia arriba. Los 12 m superiores serán rellenados con bentonita, lechada de cemento o concreto.

Concluidos los trabajos de relleno del pozo, se debe colocar en la superficie una plantilla de concreto de 1 x 1 m y de 0,10 m de espesor.

6.3.2.2 Cierre de pozos con nivel estático En caso que no se cuente con el diseño del pozo sujeto a cierre, se debe llevar a cabo, previamente, un registro de videograbación en el interior del mismo.

Para el sello del pozo con ademe ranurado, así como en las zonas productoras de pozos sin ademe, se podrá utilizar bentonita, lechada de cemento o concreto y en el caso que esto sea impráctico o no conveniente, grava limpia. El resto del pozo, en la zona de ademe ciego o no productora, se rellenará con materiales impermeables como arcilla, bentonita, lechada de cemento o concreto, debiendo quedar, como mínimo, los 6 m superiores sellados con lechada de cemento.

La colocación de estos materiales deberá realizarse del fondo del pozo hacia arriba por un método que no produzca segregación de los materiales.

Concluidos los trabajos de relleno, se debe colocar en la superficie una plantilla de concreto de 1 x 1 m y de 0,10 m de espesor.

6.3.2 Registro del pozo cerrado

Como requisito para cerrar el pozo, se debe presentar a la Comisión un informe que contenga los siguientes datos:

- Localización (coordenadas referidas a planos INEGI)
- Profundidad
- Diámetro
- Litología atravesada
- Causas que motivan el cierre
- Diseño del cierre

6.3.3 Utilización del pozo de producción como pozo de observación

En caso de que el concesionario o asignatario desee mantener un pozo como pozo de observación, en vez de proceder a su cierre definitivo, deberá cumplir con lo siguiente:

Dentro de la tubería de ademe se alojarán tubos de 100 mm de diámetro interior como máximo, para la instalación de dispositivos de monitoreo. En el tramo de ademe que penetre dentro del acuífero que se pretende monitorear, se debe colocar material granular (mezcla de grava y arena) a partir del fondo del pozo y alrededor de la tubería de diámetro interior máximo de 100 mm.

Arriba de la frontera superior del acuífero por monitorear, se colocará un sello de bentonita con un espesor mínimo de 0,30 m y el resto se rellenará con bentonita, lechada de cemento, concreto o materiales que asemejen o restituyan las condiciones geohidrológicas de la formación.

El tubo en el cual se instalará el instrumento destinado al monitoreo deberá tener una tapa con un sistema de sujeción conveniente contra la entrada de sustancias contaminantes al acuífero por la vía de la tubería de observación; la tapa deberá también cubrir el espacio anular que existe entre el ademe y el contra ademe.

En caso de que no exista plantilla, ésta deberá construirse alrededor del pozo, utilizando concreto, con dimensiones mínimas de 1 x 1 m con 0,10 m de espesor y pendiente favorable en todas direcciones, de tal manera que el agua u otro fluido drene alejándose del pozo.

Los pozos de observación deben estar registrados ante la Comisión como tales.

6.3.4 Pozos de respaldo

Sólo se autorizará la conservación de pozos de respaldo para uso público urbano y se podrán mantener con instalaciones eléctricas e hidráulicas, con o sin equipo de bombeo, destinados a casos de emergencia por falla de las fuentes de abastecimiento de operación normal. Para lo anterior, el concesionario o asignatario deberá justificar ante la Comisión el número de pozos, de acuerdo al caudal requerido, anexando su localización física y características principales del acabado del pozo.

Todo pozo de respaldo debe cumplir con la especificación 6.1 de la presente Norma en cuanto a desinfección periódica. Los pozos clasificados como de respaldo deben estar registrados ante la Comisión como tales.

6.3.5 Casos especiales

Todo pozo que haya sido afectado por intrusión salina o cualquier tipo de contaminante natural o antropogénico, será considerado como un caso especial. Por consiguiente, su cierre definitivo, su habilitación como pozo de observación o cambio de uso, estará sujeto al dictamen técnico y disposiciones que para ese propósito emita la Comisión.

También se considerarán como casos especiales los pozos siguientes:

6.3.6.1 Drenes horizontales en pozos radiales

En pozos radiales, los drenes horizontales deben rellenarse con lechada de cemento o bentonita.

6.3.6.2 Norias

De acuerdo con la litología en donde estén emplazadas, diámetro, profundidad y permeabilidad, se podrá utilizar en su porción inferior un relleno de grava, arena y bentonita, y en los tres metros superiores, material impermeable de origen local, concreto o lechada de cemento.

6.3.6.3 Pozos con puntero

Para pozos en material no consolidado y de profundidad menor de 15 m, antes del sellado se deberá retirar la tubería y se rellenará el pozo con arena y bentonita. Los pozos con profundidades mayores de 15 m deben clausurarse de acuerdo con lo especificado en el inciso 6.3.2.

6.4 Cierre de pozos de uso diferente a la extracción de agua y que penetren total o parcialmente un acuífero conocido

6.4.1 Pozos para uso diferente a la extracción del agua (excepto petroleros)

Los pozos de exploración deberán clausurarse en un máximo de 30 días después de que hayan cumplido con su objetivo; los pozos de observación u operación, en cuanto dejen de utilizarse. Para el cierre de los pozos, éstos deben rellenarse con bentonita o lechada de cemento, o bien, tratar de restituir las condiciones geohidrológicas originales con base en la estratigrafía y permeabilidad encontrada durante la perforación e instalar en la boca del pozo un bloque de suelo-cemento, de sección cuadrada, de por lo menos 0,30 m por lado y 0,10 m de espesor, debiendo enviar a la Comisión un informe que contenga los siguientes datos:

- Localización (coordenadas referidas a planos INEGI)
- Profundidad
- Diámetro
- Litología cortada
- Diseño del cierre

6.4.2 Pozos petroleros

Cuando se abandone un pozo petrolero, sea de exploración o de producción, que penetre total o parcialmente un acuífero conocido, Petróleos Mexicanos debe dar aviso a la Comisión, presentando los mismos datos que se solicitan en el inciso 6.4.1.

El pozo se debe sellar con lechada de cemento normal en la zona del acuífero y como mínimo cinco metros arriba y abajo de él, de tal manera que se asegure que en caso de ruptura del ademe no se introducirán contaminantes al acuífero.

7. Verificación

7.1 Mantenimiento y rehabilitación de pozos de agua

Para su verificación, se considerarán todos los pozos en operación en el país destinados a los usos indicados en los incisos 4.26 a 4.35.

La Comisión, por sí misma o a través de unidades de verificación acreditadas, verificará el cumplimiento de las especificaciones de desinfección y rehabilitación de pozos indicadas en los incisos 6.1 y 6.2.

El incumplimiento de alguna de las especificaciones indicadas será motivo de suspensión de la operación del pozo, y su reanudación sólo la aprobará la Comisión, después de cumplir con las especificaciones de la presente Norma.

7.1.1 Desinfección (especificación del inciso 6.1)

El procedimiento para el muestreo de la desinfección del pozo será el indicado en la norma NOM-014-SSA1-1993.

7.1.2 Dimensiones, dispositivo de medición y registros (especificaciones del inciso 6.2.1)

La verificación de las dimensiones será realizada con los instrumentos de medición pertinentes y una tolerancia de $\pm 10\%$.

La verificación del dispositivo de medición se hará visualmente y la de los registros mediante la lectura de la bitácora de obra.

7.2 Cierre de pozos

Todo pozo abandonado estará sujeto a la aplicación de esta Norma de acuerdo a las especificaciones indicadas en las secciones 6.3 y 6.4.

Toda reposición de pozo para extracción de agua sólo será aprobada cuando el solicitante cumpla previamente, con las especificaciones de cierre del pozo indicadas en la sección 6.3 de esta Norma.

7.3 Informe de la verificación

El informe de las verificaciones efectuadas debe incluir al menos la siguiente información:

- Identificación completa del pozo

- □ Resultados obtenidos de la verificación
- Nombre y firma del responsable de la verificación
- Fecha de ejecución de la verificación

8. Observancia de esta Norma

La Comisión Nacional del Agua será la encargada de vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, quien promoverá la coordinación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios, sin afectar sus facultades en la materia y en el ámbito de sus correspondientes atribuciones.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9. Bibliografía

- 9.1 ANSI/AWWA C654-87, Norma de la AWWA para desinfección de pozos.
- 9.2 ANSI/AWWA A100-90, Standard for water wells.
- 9.3 AWWA, Groundwater; 1989.
- 9.4 Campbell, M. and Lehr, J., Well Cementing, Water Well Journal, July 1975.
- 9.5 Chapman, S.L., The Foreman Story: Idaho Department of Water Administration Closes Flowing Artesian Well, Water Well Journal, October 1972.
- 9.6 Gass, T.E., The Impact of Abandoned Wells on Ground Water Quality, Water Well Journal, March 1981.
- 9.7 Johnson Division, UOP Inc., El agua subterránea y los pozos, 1975.
- 9.8 Johnson, R.C. Jr., Kurt, C.E. and Dunham, G.F. Jr., Well Grouting and Casing Temperature Increases, Ground Water 17:3, 1980.
- 9.9 Keech, D.K., Plugging Abandoned Wells, Ground Water Age, January 1973.
- 9.10 Kurt, C.E. and Johnson, R.C. Jr., Permeability of Grout Seals Surrounding Thermoplastic Well Casing, Ground Water 20:4, 1982.
- 9.11 McElhiney, W.A., Cementing Small Wells, Water Well Journal, January-February 1955.
- 9.12 McGinty, J.E. and Calvert, D.G., Cementing Off, Plugging and Redrilling, Water Well Journal, July 1975.
- 9.13 Moehrl, K.H., Well Grouting and Well Protection, Journal American Water Works Association, April 1964.
- 9.14 Roscoe Moss Company, Handbook of Groundwater Development, John Wiley and Sons, 1989.
- 9.15 SARH, Seminario de capacitación sobre construcción, equipamiento, operación y mantenimiento de pozos profundos, preparado por la Subsecretaría de Agricultura y Operación, 1980.
- 9.16 State of Iowa, "Water Well Construction Rules", 1979.
- 9.17 State of Nebraska, Nebraska Department of Health, "Regulations Governing Water Well Construction, Pump Installation and Water Well Abandonment Standards", 1994.
- 9.18 State of Georgia, Environmental Protection Agency of the State of Georgia, "Rules of Water Well Standards Advisory Council", 1991.
- 9.19 US-EPA, Manual of Water Well Construction Practices, Office of Water Supply, EANIDAR FORM-570/9-75-001.
- 9.20 Water Well Journal, Sealing Abandoned Water Wells, April 1973.
- 9.21 Water Well Journal, Abandoned Wells: A Problem with a Solution, October 1975.

10. Concordancia con normas y recomendaciones internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana no concuerda con normas internacionales. Sin embargo, coincide parcialmente con los estándares de la AWWA C654 en lo que respecta a desinfección y A100 en lo que se refiere al cierre de pozos.

11. Recomendaciones

Para los trabajos de desinfección de pozos se puede consultar el libro "Rehabilitación de pozos" del Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, editado por la Comisión.

12. Vigencia

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 180 días naturales a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veinticinco días del mes de julio de mil novecientos noventa y siete.- El Director General de la Comisión Nacional del Agua, Guillermo Guerrero Villalobos.- Rúbrica.

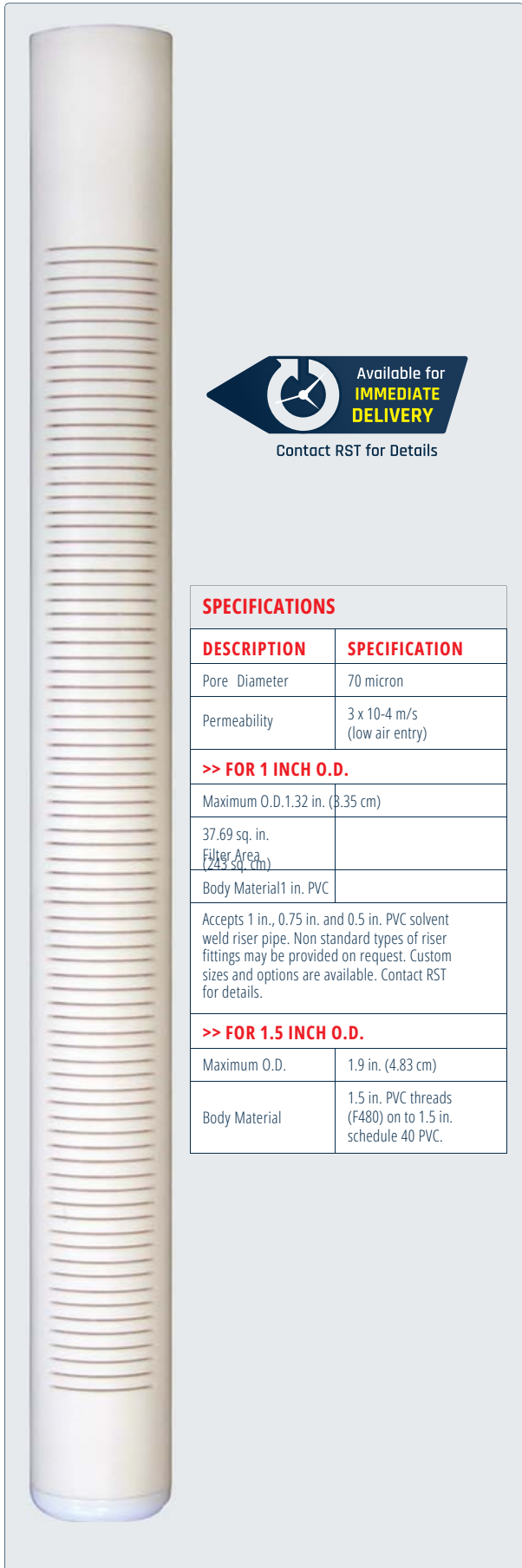
Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 3.- PIEZÓMETRO ABIERTO TIPO CASAGRANDE

Ficha del fabricante: Casagrande standpipe piezometer

Ficha del fabricante: PVC Wellscreen and threaded pipe



**Available for
IMMEDIATE
DELIVERY**

Contact RST for Details

SPECIFICATIONS	
DESCRIPTION	SPECIFICATION
Pore Diameter	70 micron
Permeability	3 x 10 ⁻⁴ m/s (low air entry)
>> FOR 1 INCH O.D.	
Maximum O.D.	1.32 in. (3.35 cm)
Filter Area (243 sq. cm)	37.69 sq. in.
Body Material	1 in. PVC
Accepts 1 in., 0.75 in. and 0.5 in. PVC solvent weld riser pipe. Non standard types of riser fittings may be provided on request. Custom sizes and options are available. Contact RST for details.	
>> FOR 1.5 INCH O.D.	
Maximum O.D.	1.9 in. (4.83 cm)
Body Material	1.5 in. PVC threads (F480) on to 1.5 in. schedule 40 PVC.

! PRODUCT CATEGORY:
PIEZOMETERS + TRANSDUCERS

Casagrande Standpipe Piezometer

RST's Casagrande Standpipe Piezometer tip consists of a slotted PVC body that encloses and protects a porous plastic filter element. A PVC Riser Pipe (available from RST) is connected to the tip and extended to the surface. A CPVC body is available for leachate extraction.

The Casagrande Standpipe Piezometer is mainly used for measurement of piezometric levels and pore water pressures in soil and rock formations where the time lag and high displacement requirements inherent in standpipes are not crucial, and where the presence of standpipes will not hinder construction. Water elevation in the riser pipe is measured using a Water Level Meter. Alternatively, a Vibrating Wire Piezometer can be lowered in the pipe to allow remote reading; Bourdon tube gauges may be attached to monitor artesian pressures.

Drive-in models and custom sizes are also available.
Contact RST Instruments for more details.

> APPLICATIONS

- Monitoring of pore pressures in dams and embankments.
- Slope stability investigation and leachate extraction.
- Groundwater sampling, monitoring, dewatering and drainage operations.

> FEATURES

The flush body design permits a 33% larger filter area than 0.75 in. externally coupled instruments, while maintaining the same outside diameter.

A unique two step internal bushing will accept either 0.5 in. or 0.75 in. riser pipes while the body will accept a 1.0 in. coupling. The same tip, therefore, will fit all three common sizes of risers.

Optional model for larger 1.5 inch pipe.

The large number of uniform pores permits high permeability in a short length.

Smooth and protected filter element resists clogging.
The large number of uniform

pores permits high permeability in a short length.

May be cleaned by back flushing.

Excellent chemical resistance.

Low cost, with same day delivery.

> BENEFITS

Increase Safety

High Reliability

Custom Options

ORDERING INFO

Custom sizes and options are available.
Contact RST for more details.

SIZEPART # >> FOR 1 INCH

O.D.	
5.24 cm (6 in.)	PP0306
30.48 cm (12 in.)	PP0312
45.72 cm (18 in.)	PP0318
60.96 cm (24 in.)	PP0324
91.44 cm (36 in.)	PP0336
152.40 cm (60 in.)	PP03360-1.0

>> FOR 1.5 INCH O.D.

5.24 cm (6 in.)	PP0306-1.5
30.48 cm (12 in.)	PP0312-1.5
60.96 cm (24 in.)	PP0324-1.5
152.4 cm (60 in.)	PP0360-1.5
1.5 in. sizes: larger inner volume allows more sampling.	

OPTIONAL EQUIPMENT

- 1.0, 0.75, or 0.5 in. riser pipe
- Bentonite pellets
- Protective enclosures
- Bubbler Readout Systems
- Water Level Meter



Accu-Seal PVC
Wellscreen
and Pipe



Contact RST for Details



Flush Threaded PVC Well Casing

	PRODUCT CATEGORY:
	ENVIRONMENTAL

PVC Wellscreen and Threaded Pipe

RST Accu-Seal PVC Wellscreen and Pipe is a system of top-quality monitoring pipe products for groundwater hydrology, environmental, drainage, water wells, and geotechnical applications. The pipe can be slotted and/or threaded.

RST's Flush Threaded PVC Well Casing is engineered to be assembled quickly and accurately for use in water wells and similar applications. Slotted PVC Well Screens are also available.

PVC construction provides durability and effectiveness in the most adverse field conditions and protection against most chemicals and corrosive agents. The thread/sealing system, conforming to ASTM F480, uses precision threads, an "O"-ring seal and a wedge locking mechanical seal to obtain a quick, strong, water-tight connection. Standard threaded and slotted pipe (schedule 40 & 80) is available as shown below.

SPECIFICATIONS: SCHEDULE 40

INCHES	LENGTHS (NOMINAL)	O.D.	I.D.	THREAD OPTION	SLOTS (FULL LENGTH, STANDARD PATTERN)
1.0	5 ft, 10 ft	1.315	1.049	F480	0.010 in, 0.020 in
1.5	5ft, 10 ft	1.900	1.610	F480	0.010 in, 0.020 in
2.0	5 ft, 10 ft	2.375	2.067	F480	0.010 in, 0.020 in
2.5	5 ft, 10 ft	2.875	2.469	F480	0.010 in, 0.020 in

SPECIFICATIONS: SCHEDULE 80

INCHES	LENGTHS (NOMINAL)	O.D.	I.D.	THREAD OPTION	SLOTS (FULL LENGTH, STANDARD PATTERN)
0.75	5 ft, 10 ft	1.050	0.741	F480	N/A
1.0	5 ft, 10 ft	1.315	0.957	F480	0.010 in, 0.020 in
1.5	5 ft, 10 ft	1.900	1.500	F480	0.010 in, 0.020 in
2.0	5 ft, 10 ft	2.375	1.939	F480	0.010 in, 0.020 in
2.5	5 ft, 10 ft	2.875	2.323	F480	0.010 in, 0.020 in

> APPLICATIONS

Water wells and similar applications.

> FEATURES

PVC construction provides ultimate protection against galvanic and electrolytic corrosion.

PVC compounds repel most common chemicals residing in water wells.

Installation is simple with minimal downtime.

Meets or exceeds all applicable standards.

> BENEFITS

▣ Increase Productivity

▣ High Reliability

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 4.- PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS DE CUERDA VIBRANTE.




Disponible para
entrega inmediata
Contactar a RST
para detalles

Piezómetro de
cuerda vibrante
estándar VW2100

Piezómetro de
cuerda vibrante
de alta dureza
VW2100-HD

Piezómetro de
cuerda vibrante
de punta de
inserción
VW2100-DP

	CATEGORÍA DE PRODUCTO:
	PIEZÓMETROS Y TRANSDUCTORES

Piezómetros de cuerda vibrante

El piezómetro de cuerda vibrante de RST ofrece una precisión a largo plazo, una estabilidad de las lecturas y una fiabilidad bajo condiciones geotécnicas exigentes. Los piezómetros de cuerda vibrante son los piezómetros eléctricos de primera elección ya que la salida de frecuencia de los aparatos de cuerda vibrante es inmune al ruido eléctrico externo y capaz de tolerar un cableado húmedo, lo cual es común en las aplicaciones geotécnicas.

Los piezómetros de cuerda vibrante contienen un cable de acero altamente extensible con un ancla fija a una extremidad y al otro extremo cuenta con un diafragma que entra en contacto con la presión del agua. El cable se altera eléctricamente, con la frecuencia resonante de vibración proporcional a la tensión en el cable. Esta frecuencia induce una corriente alternativa en una bobina que es detectada por la unidad de lectura, tal como la unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106 (ver folleto separado) y esta es convertida en unidades de presión. La salida de frecuencia es inmune al ruido eléctrico externo y capaz de tolerar un cableado húmedo, lo cual es común en las aplicaciones geotécnicas. Se incorpora una protección contra truenos de alta fiabilidad en el transductor de cuerda vibrante.

La señal de frecuencia es excepcionalmente inmune a los efectos de cable, incluyendo su longitud (hasta varios kilómetros), empalme, resistencia, captación de ruido y humedad. El circuito de la bobina de cuerda vibrante no contiene ninguna unidad semiconductor y tiene incorporado un dispositivo de protección de descarga de gas ionizado contra los daños debidos a descargas transitorias. Como resultado, el piezómetro de cuerda vibrante ofrece una fiabilidad excelente en situaciones geotécnicas típicas; por ejemplo, cables externos de larga longitud enterrados en suelos saturados.

El piezómetro se equipa con un filtro de poro de acero inoxidable sinterizado estándar para prevenir las partículas de suelo que entren en contacto con el diafragma. Un termistor está construido en el cuerpo del piezómetro para permitir la medición de la temperatura y la compensación de temperatura del piezómetro. La fabricación estándar es enteramente de acero inoxidable. Se envían los piezómetros de cuerda vibrante de RST con un cable cubierto de poliuretano extremadamente duro y protegido por una lámina para una resistencia máxima en condiciones de campo.

> CARACTERÍSTICAS

Precisión y fiabilidad comprobadas en campo.	Protección integral contra truenos.
Transmisión de señal de varios kilómetros.	Compatible con adquirentes de datos.
Alta precisión – es decir que un modelo ventilado de baja presión podrá medir cambios de niveles de agua tan pequeños como 0.5 mm (0.02 pulg.).	
Tolerará un cableado húmedo común en aplicaciones geotécnicas.	
Un termistor para la medición de la temperatura es estándar.	Fabricación de acero inoxidable, herméticamente sellado.
Desplazamiento de agua de poro insignificante durante el proceso de medición.	
Caja dura para minimizar los errores de lectura debidos a la presión de la sobrecarga.	
Se puede cambiar las longitudes de cable sin afectar la calibración.	

> BENEFICIOS

- ✓ Seguridad aumentada
- ✓ Alta precisión

> APLICACIONES

- Investigaciones de estabilidad de talud.
- Monitoreo de niveles de agua de pozos y piezómetros abiertos tipo Casagrande.
- Evaluación de desempeño e investigación de estabilidad de diques y presas de rellenos de tierra.
- Monitoreo de presiones detrás de muros de contención y muros diafragmas.
- Monitoreo de presiones de poro durante un relleno o una excavación.
- Monitoreo de presiones de poro en aplicaciones de reclamación de terrenos.

Piezómetros de cuerda vibrante



CATEGORÍA DE PRODUCTO:
PIEZÓMETROS Y TRANSDUCTORES

ESPECIFICACIONES + PEDIDO

ESPECIFICACIONES	
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN
Sobre rango	2 X escala entera
Resolución	Mínimo 0.025% de escala entera
Precisión	0.1% de escala entera
Linealidad	<0.5% de escala entera
Temperatura de operación	De -20 a 80°C (de -4 a 176°F)
Desplazamiento del diafragma	<0.001 cc a escala entera
Desviación del cero térmico	<0.05% de escala entera/°C
Materiales	Caja de acero inoxidable herméticamente sellada
Tipo de termistor	NTC 3K 0hm @ 25°C
Intercambiabilidad del termistor	±0.2°C
Resolución del termistor	0.1°C
Filtro	Filtro sinterizado de 50 micrón. (Filtro de aluminio de alto ingreso de aire de 1 bar disponible)



ESPECIFICACIONES DEL CABLE ELÉCTRICO

# DE PARTE	DESCRIPCIÓN
EL380004	Dos pares torcidos de cable con cobertura de poliuretano.
EL380004HDL	Dos pares torcidos de cable de alta resistencia con una gruesa capa de poliuretano para agregar protección.
EL380004K	Dos pares torcidos de cable reforzado Kevlar®, poliuretano no estirable usado para instalaciones rudas donde el estiramiento del cable pueda ser una preocupación.

Según las condiciones de campo y los requisitos de referencia atmosférica, otros tipos de cables están disponibles. Dichos cables incluyen variedades ventiladas, de FEP, de PVC, de poliuretano y blindados.

EQUIPO OPCIONAL

Unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106
Adquisidores de datos
Juegos de empalme de cable

Tamaños típicos disponibles!

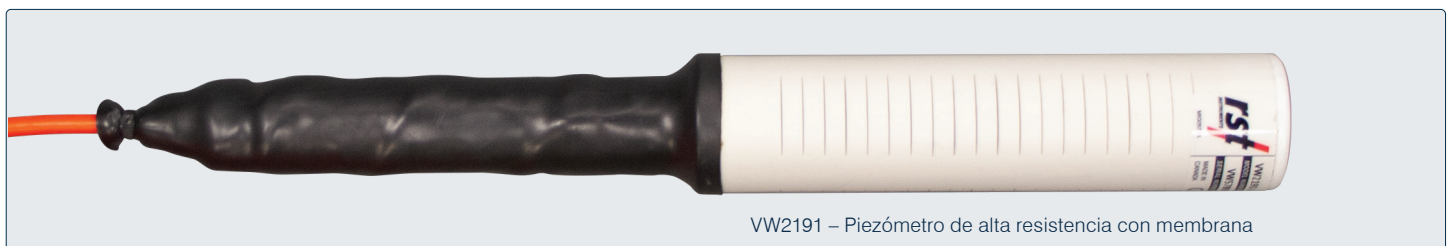
Disponible para todos los rangos de VW2100; contacte a RST para obtener longitudes y cantidades disponibles.



Contactar a RST para detalles

PEDIDO

# DE PARTE	DESCRIPCIÓN	RANGO DE PRESIÓN	DIMENSIÓN
VW2100	Modelo estándar para aplicaciones generales	0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0 MPa	19 mm Ø X 130 mm
VW2100-HD	Piezómetro de alta resistencia para enterramiento directo en rellenos y diques de grandes presas o para instalaciones en pozos con presión elevada	0.35, 0.7, 1.0, 2.0 3.0, 5.0, 7.5, 10, 20 MPa	25.4 mm Ø X 146 mm
VW2100-DPC	Modelo con punta de empuje con hilo para CPT	0.07, 0.175, 0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.5 MPa	33 mm Ø X 432 mm
VW2100-DPEW	Modelo con punta de empuje y cuerda tipo EW	0.07, 0.175, 0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.5 MPa	34.6 mm Ø (cuerpo) X 304.8 mm
VW2100-L	De baja presión, no ventilado	70, 175 kPa	25 mm Ø X 133 mm
VW2100-LV	De baja presión, ventilado	70, 175 kPa	25 mm Ø X 133 mm
VW2100-M	Versión miniatura – 17.5 mm de diámetro	0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0 MPa	17.5 mm Ø X 133 mm
VW2100-MM	Versión micro-miniatura – 11.1 mm de diámetro	0.35, 0.7 MPa	11.1 mm Ø X 165 mm
VW2190	Piezómetro de alta dureza con membrana para ambientes de salmuera	0.07, 0.175, 0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.5 MPa	42 mm Ø X 319 mm
VW2191	Piezómetro de alta dureza con membrana para ambientes ácidos con protección secundaria contra la corrosión	0.07, 0.175, 0.35, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.5 MPa	42 mm Ø X 319 mm



Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 5.- INCLINOMETROS

Ficha del fabricante: Digital MEMS portable inclinometer system.

Ficha del fabricante: Digital horizontal inclinometer system.

Ficha del fabricante: Tuberías inclinométricas.

DIGITAL MEMS INCLINOMETER SYSTEM

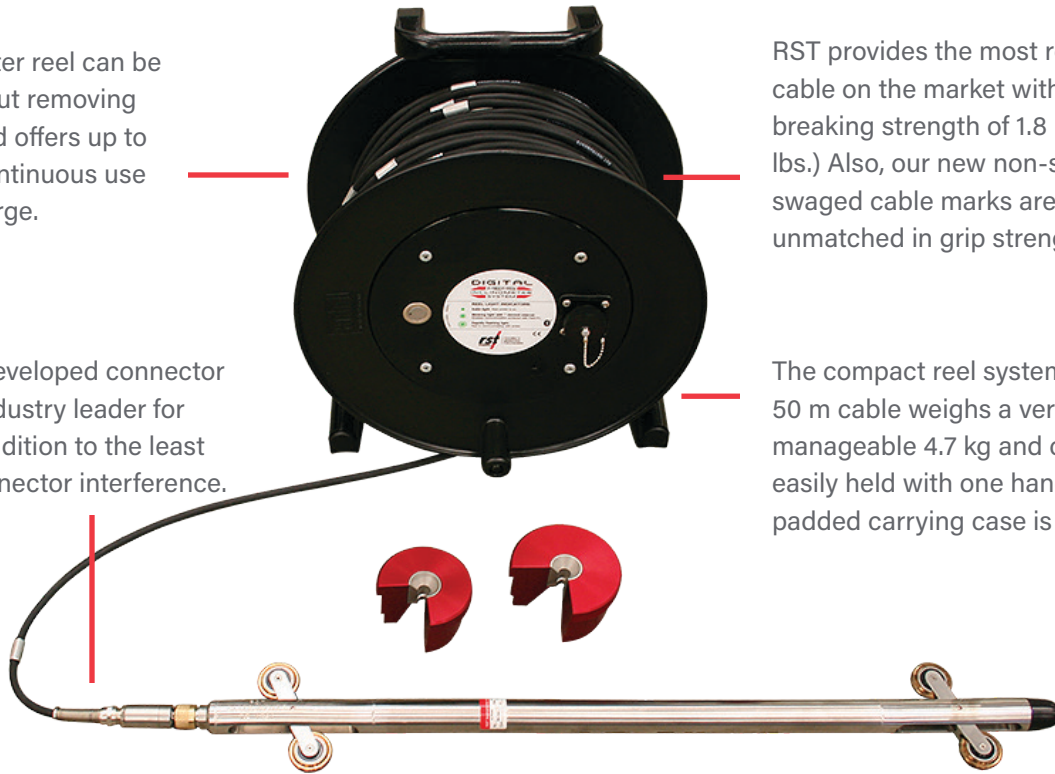
For measuring lateral deformation in earth and retaining structures using inclinometer casing, the Digital MEMS Inclinometer System from RST Instruments was the first, and is still the best, Digital MEMS Inclinometer System available.

The inclinometer reel can be charged without removing the battery and offers up to 30 hours of continuous use from a full charge.

RST provides the most robust cable on the market with a breaking strength of 1.8 kN (400 lbs.) Also, our new non-slip, swaged cable marks are unmatched in grip strength.

RST's newly developed connector is by far the industry leader for durability in addition to the least amount of connector interference.

The compact reel system with 50 m cable weighs a very manageable 4.7 kg and can be easily held with one hand. A padded carrying case is included.



Since 2003, RST's Inclinometer systems have the shortest overall length available for a given base length compared to competitive inclinometers. With a minimum negotiable casing radius of 1.93 m, RST's Digital MEMS Inclinometer can traverse a smaller radius bend than all other inclinometers available in the industry. A local microcontroller in the probe manages data collection, applies precision digital calibration, and provides a fast settling time which results in very efficient data collection.

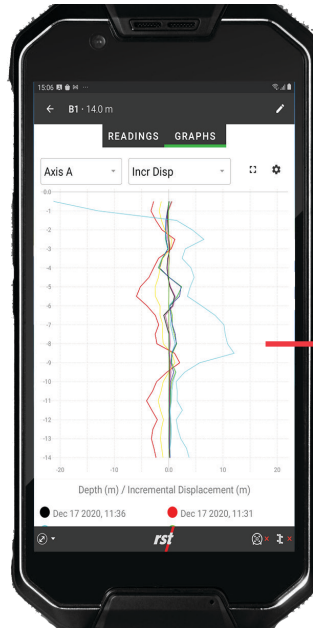


Digital Inclinometer App compatible with Android-enabled devices.

DIGITAL INCLINOMETER MOBILE APPLICATION

RST Instruments' digital inclinometer mobile application (available at no cost from RST's website and Google Play store) takes displacement readings from RST digital vertical inclinometer probes wirelessly. Powerful in-app data analysis tools allow you to visualise your readings on the fly, at the borehole.

The inclinometer data can then be exported via email or saved to your device in csv. or .rpp format for instant compatibility with Inclinalysis™, Slope Indicator's Digipro software, as well as GTilt and GTilt Plus. The application also displays information about the status of connected reels and probes to quickly locate hardware problems. The ability to organize your instruments by site and search for specific boreholes by name means that the information you need is always easy to find. Each borehole and site can be associated with unique contact information for operations that involve multiple stakeholders.



APPLICATIONS

On-site data collection

Compatible with RST Instruments' digital vertical inclinometer probes

RST Instruments recommends rugged devices designed harsh environments such as the Samsung Active 2, Juniper Mesa 3 and the Juniper CP3 mobile devices.

FEATURES

Manage Multisite Operations Data

Group the display of readings by site and individual borehole for easy access to the information you need. Create, delete, or modify entries as site conditions change.

Instantly Summarize Data

In-app graphs and readings histories provide summaries so you can see what the collected data means for your operations. Visually compare multiple readings on the same screen.

Read from Mobile Devices

Collect data in the field with your own existing Bluetooth-enabled Android mobile device.

Depth (m)	Face A+	Face A-
0.5	2.8815	-2.9114
1.0	3.1217	-3.1434
1.5	1.8894	-1.8876
2.0	0.6715	-0.6893
2.5	-1.7807	1.6715
3.0	-0.6534	0.5653
3.5	0.6144	-0.7441
4.0	0.8404	-0.8776
4.5	3.7438	-3.8053
5.0	7.6677	-7.7078
5.5	7.4564	-7.5254
6.0	4.0473	-4.1238
6.5	3.0120	-3.0103
7.0	2.1881	-2.2721
7.5	3.2214	-3.3133
8.0	3.3859	-3.4127
8.5	-0.5744	0.4493

Take Advantage of the Flexibility of the Mobile Environment

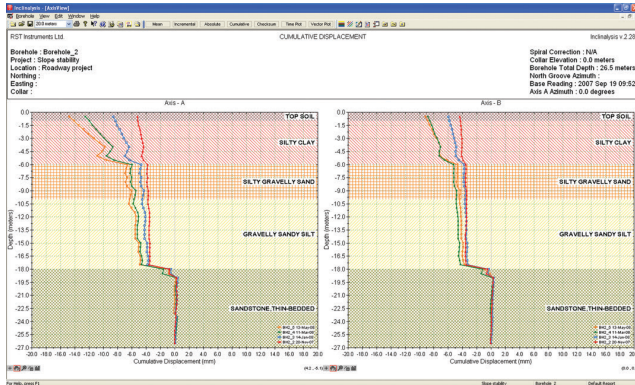
Readings taken in the RST application can be saved locally and exported to the RST Inclinalysis™ software.

Wireless Data Collection

Wireless Bluetooth technology allows you to collect data without the need for a physical connection between the inclinometer and the readout instrument. By removing the physical connection between the inclinometer control cable and the readout instrument there is no concern with fragile connectors, cable related failure and related reliability problems which means more reliable readings and fewer points of failure.

ANALYSIS SOFTWARE

The RST Digital MEMS Inclinometer System and Inclinalysis™ Software offer a powerful combination for quick and efficient reduction of large volumes of inclinometer data. Data can be analyzed and presented quickly in a variety of formats.



RST Inclinalysis™ Software is powerful, yet easy to use. Plotting, manipulating data and printing are all only a few clicks away. Menu and plot functions are designed to be intuitive making the program very easy to learn. Designed to complement the Digital MEMS Inclinometer System, data is organized in a standard file structure which makes importing data seamless between Inclinalysis™ and the RST Digital Inclinometer App.

Plot

Plot data at the click of a button. View several plots simultaneously across the screen. Ability to save multiple reports for a single borehole.

Intuitive

Menu and plot functions are designed to be intuitive and easy to learn. Cascade windows to display multiple plots and tabular data on the same screen.

Customize

Create custom plot titles and change graph properties. Change reading units instantly to millimeters, metres, inches or feet. Specify top or bottom data reference. Correct for bias-shift.

Assess

Create vector plots displaying change in magnitude and direction, and time plots to assess the rate of movement at a particular depth or in a specific movement zone. Instant visual data validation by plotting checksum data.

Import

Import inclinometer data in a variety of formats from different manufacturers including spiral data.

Compare

Display data in tabular format and compare directly to plots. Take direct measurements off any plot.



DIGITAL MEMS INCLINOMETER SYSTEM

SPECIFICATIONS

INCLINOMETER	METRIC SYSTEM	IMPERIAL SYSTEM
Wheelbase	0.5 m	2 ft
Probe diameter	25.4 mm	1.00 in
Probe length (including connector)	719 mm	32.6 in
Probe weight	1.06 kg	2.45 lbs
Probe material	Stainless steel	Stainless steel
Full-scale range (other ranges available)	±30 degrees	±30 degrees
Data resolution	0.005 mm per 500 mm	0.00002 ft per 2 ft
Memory	> 1,000,000 readings	> 1,000,000 readings
Repeatability	±0.002°	±0.002°
System accuracy	±2 mm per 25 m	±0.1 in. per 100 ft
Axis alignment	Digitally nulled	Digitally nulled
Temperature rating	-40 to +70°C	-40 to + 158°F
Sensor type	MEMS Accelerometer, Biaxial	

CABLE REELS

Up to 75 m cable reel diameter	310 mm	12.2 in
100 to 200 m cable reel diameter	380 mm	15 in
+225 m cable reel diameter	460 mm	18 in
Reel weight with 50 m (100 ft.) cable	4.7 kg	8.4 lbs

CABLE

Cable Diameter	6.40 mm (±0.1 mm)	0.25 in
Cable weight	2.3 kg/ 50 m	3.1 lbs/ 100 ft
Cable breaking strength	1.8 kN	400 lbs
Cable reinforcement	Kevlar [®] ‡	Kevlar [®] ‡
Cable jacket	Polyurethane	Polyurethane
Cable stretch (suspended in 50 m dry borehole)	7.0 mm	0.27 in

ORDERING INFO

SYSTEMS-METRIC

IC32003	30 m complete system with 0.5 m probe
IC32005	50 m complete system with 0.5 m probe
IC32075	75 m complete system with 0.5 m probe
IC32010	100 m complete system with 0.5 m probe
125, 150, 200, 250, 300 m and longer systems available	

SYSTEMS-IMPERIAL

IC32110	100 ft complete system with 2 ft probe
IC32115	150 ft complete system with 2 ft probe
IC32120	200 ft complete system with 2 ft probe
IC32130	300 ft complete system with 2 ft probe
400, 500, 600, 800, 1000 ft and longer systems available	

OPTIONAL SYSTEM ACCESSORIES

IC35805	Dummy probe 0.5 m wheelbase-METRIC
IC35802	Dummy probe 2 ft wheelbase-IMPERIAL
IC32705	Digital MEMS Inclinerometer Spiral Sensor (See separate brochure)
IC35600	RST Inclinalysis™ - Digital Inclinerometer Analysis Software
IC35650	Protective Aluminum Carrying Case - for Inclinerometer Probe

Horizontal MEMS Inclinerometer

(probe available in custom lengths in Metric and Imperial units view separate brochure or contact sales at RST Instruments)

Included System Components

MEMS Digital Inclinerometer probe with protective case
Cable Reel with Wireless Communication System
Cable Reel Carrying Case
Silicone spray for probe/cable connectors
Data collection & transfer software
70 & 85 mm cable grips
AC Adapter for Reel Battery Charger
Android-enabled mobile device



PRODUCT CATEGORY:
INCLINOMETERS + TILT SENSORS

**METRIC SYSTEM:
SPECIFICATIONS**

ITEM	DESCRIPTION
Data Resolution	0.005 mm per 500 mm
Repeatability	±0.002°
System Accuracy	±2 mm per 25 m
Wheel Base	500 mm
Probe Diameter	25.4 mm
Probe Length (including lifting eye)	708 mm
Temp. Rating	-40 to 70°C
Weight	1.091 kg

METRIC: ORDERING

ITEM	PART #
30 m System with 0.5 m Probe 50	IC32003H
m System with 0.5 m Probe 75 m	IC32005H
System with 0.5 m Probe 100 m	IC32075H
System with 0.5 m Probe 150 m	IC32010H
System with 0.5 m Probe Digital	IC32015H
Horizontal 0.5 m Probe	IC32205H

**IMPERIAL SYSTEM:
SPECIFICATIONS**

ITEM	DESCRIPTION
Data Resolution	0.00002 ft. per 2 ft.
Repeatability	±0.002°
System Accuracy	±0.1 in. per 100 ft.
Wheel Base	24 in.
Probe Diameter	1 in.
Probe Length (including lifting eye)	32.19 in.
Temperature Rating	-40 to 180°F
Weight	2.4 lbs.

IMPERIAL: ORDERING

ITEM	PART #
100 ft. System with 2 ft. Probe	IC32110H
150 ft. System with 2 ft. Probe	IC32115H
200 ft. System with 2 ft. Probe	IC32120H
300 ft. System with 2 ft. Probe	IC32130H
500 ft. System with 2 ft. Probe	IC32150H
Digital Horizontal 2 ft. Inclinator Probe	IC32202H



Digital Horizontal Inclinator System

The Digital Horizontal Inclinator System measures settlement or heave under embankments, dams, roadways, storage tanks, and landfills.

Essentially being a horizontal version of the RST Digital Inclinator System (separate brochure), settlement profile surveys are conducted by running the probe in an inclinometer casing installed horizontally rather than vertically. Wireless communication between the inclinometer control cable and the Ultra-Rugged Field PC ensures ease of use and reliability.

> APPLICATIONS

Monitor settlement or heave under embankments, dams, roadways, storage tanks, and landfills.	Observation of ground movements caused by construction and excavation, such as those involved with tunneling.
--	---

> FEATURES

Digital precision and efficient data collection with a high-level user interface that has instant USB synchronization with office computers.

Probe may be used with RST's Vertical In-place MEMS Inclinator System accessories (cable, reel, FieldPC2)

> BENEFITS

3 Increase Safety	3 High Accuracy
3 Increase Productivity	3 High Reliability

GENERAL SPECIFICATIONS

ITEM	DESCRIPTION
Sensor Type	Uniaxial, MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) Accelerometer
Memory	>1,000,000 readings
Measurement Range	±30° from Horizontal
Casing Size Required	70 mm (2.75") or 85 mm (3.34")
Materials	Stainless Steel
Readout	Ultra-Rugged Field PC2

ACCESSORIES

ITEM	PART #
Inclinator™ Digital Inclinator Analysis Software with USB Key	IC35600
Pull Cable on a Reel	WLS-IC35805
Cable Return Pipe	To be sourced locally, 0.5" PVC
Inclinator Casing	Refer to separate brochure

ADDITIONAL EQUIPMENT

ITEM	PART #
3.34 in./85 mm Snap Seal Inclinator Casing Dead-end Pulley	ICA0063-1
3.34 in./85 mm Glue & Snap Inclinator Casing Dead-end Pulley	ICA0063-2
2.75 in./70 mm Snap Seal Inclinator Casing Dead-end Pulley	ICA0064-1
2.75 in./70 mm Glue & Snap Inclinator Casing Dead-end Pulley	ICA0064-2



Tubo de inclinómetro de tipo sello apresurado



Tubo de inclinómetro de tipo pegado & apresurado



Tapón de fondo estándar

Tapón de fondo con válvula para permitir que la manguera de lechada sea bajada dentro del tubo



CATEGORÍA DE PRODUCTO:
Inclinómetros + sensores de inclinación

Tuberías inclinométricas

Las tuberías inclinométricas de RST están diseñadas para ser ensambladas rápidamente y precisamente para el monitoreo a corto y largo plazo en las condiciones de campo las más retadoras. Están adecuadas para ser instaladas en perforaciones, diques, pilas, colocadas en concreto o amarradas a estructuras.

La tubería sirve como un tubo de acceso para guiar una sonda de inclinómetro basada en la tecnología MEMS en las dos direcciones ortogonales a la medición. Los cambios en la salida de la sonda causados por la deformación del revestimiento están proporcionales a la sinusoide del ángulo de inclinación del eje largo del sensor desde la vertical. Estos desplazamientos están agregados de manera incrementada para proporcionar perfiles de desplazamiento total vs. la profundidad.

La clave para las tuberías inclinométricas de calidad no es únicamente en el material pero también en la calidad y la forma de las ranuras. La sonda de inclinómetro utiliza ranuras en la tubería para controlar su propio azimut.

La tubería inclinométrica de RST está fabricada con resina ABS virgen no reciclada. Mientras que esté más costosa que la resina de PVC común, se prefiere el ABS debido a su flexibilidad, su estabilidad y su resistencia al impacto de temperaturas bajas superiores. El uso de resina reciclada degrada el desempeño de la tubería. Cada tubería de RST está hecha con máquina para asegurar la calidad más alta posible.

> ESTE PRODUCTO

Proporciona mediciones de alineamiento y desplazamiento en varias aplicaciones.

Está disponible en estilo de acoplamiento "snap seal" o "glue & snap".

> APLICACIONES

Pilotes.	Deslizamientos de tierra y estabilidad de pendientes.
Control de subsidencia.	Por debajo de grandes tanques de almacenamiento.
Estabilidad de presa y dique.	Desviación de estribos, de muelle de puente.
Áreas cercanas a grandes excavaciones.	

> CARACTERÍSTICAS

Ranuras de guía maquinadas de alta precisión	Espiral baja ≤ 0.005 Rad/3 mz. (≤ 0.3 grad./10 ft.)
Alcanza o excede todos los estandares aplicables	Ensamblaje fácil
Acoplamientos autoalineables, resistentes al agua y a la lechada.	Tamaños de diámetro externo de 70 mm (2.75 pulg.) y 85 mm (3.34 pulg.).
Compatible con todos los tipos de sondas comerciales y de sensores de inclinómetro en fi jo.	
El acople integral reduce la espiral inducida por el ensamblaje por 50% en comparación a los métodos de acople convencionales separados.	
Compatible con unidades de monitoreo de asentamiento por inductancia, por interruptor de lámina, magnéticos o mecánicos.	
Acoples justos integrales de tipo snap seal o glue & snap que minimiza el tiempo de instalación en campo.	
Plástico ABS resistente a la corrosión, a los impactos y las bajas temperaturas.	
Una clave externa proporciona una confi rmación táctil y visual de una instalación apropiada.	

La tubería de alta resistencia ofrece un tubo muy homogéneo con un extra reforzamiento a la ubicación de la conexión entre las secciones de la tubería para asegurar una fuerza torsional, compresiva y de doblaje máxima. Disponible en situaciones donde se requiere extra robustez.

Tuberías inclinométricas



Disponible para entrega inmediata

CATEGORÍA DE PRODUCTO:
Inclinómetros + sensores de inclinación

ESPECIFICACIONES + PEDIDO

Contactar a RST para detalles

DESCRIPCIÓN	REVESTIMIENTO DE SECCIÓN TELESCÓPICA	
	REVESTIMIENTO DE 70 MM (2.75 PULG.)	REVESTIMIENTO DE 85 MM (3.34 PULG.)
Diámetro externo de sección telescópica	76.96 mm (3.03 pulg.)	91.44 mm (3.6 pulg.)
Longitud comprimida	457 mm (18 pulg.)	457 mm (18 pulg.)
Longitud extendida	609 mm (24 pulg.)	609 mm (24 pulg.)
Rango	152 mm (6 pulg.)	152 mm (6 pulg.)
Peso	0.77 kg (1.7 libras.)	0.9 kg (2 libras.)

EQUIPO OPCIONAL
Tapas inferiores y superiores
Ancla de tubería y ancla de tubería con conector de hormigón (ver folleto separado)
Adaptador de reconexión
Herramienta de alineamiento de reconexión
Adaptador de mezcla de lechada "Remale"
Tapa para hormigón
Cemento de solvente ABS-DVW (no se puede enviarlo por aire)

TUBERÍA DE SELLO APRESURADO

Los métodos tradicionales de instalación de tuberías inclinométricas dicen que se debe utilizar pernos o remaches apretados para mantener el acople en corte hasta que se asiente el cemento pegado por solvente ABS. Los requisitos para los remaches aumentan en taladros profundos.

El sello apretado es el sistema de acople sellado por anillos de tipo "O" original, que no requiere pegamiento, remaches apretados, pernos o alambres de corte. Este sistema innovador y patentado permite a las secciones de la tubería de acoplarse mientras que mantenga un alineamiento de ranuras preciso y una alta fuerza de derrumbe. El sistema de sello apretado está autoalineado para una instalación fácil en barrenas vacías y sistemas de avance de revestimiento.

TUBERÍA PEGADO Y APRESURADO

Tubo inclinométrico pegado apretado es un revestimiento de inclinómetro de tipo pegado y apretado es una mejora del diseño sellado y apretado y combina con las mejores características de ambos métodos de instalación con ninguna desventaja. El método pegado y apretado proporciona la rapidez y la conveniencia de un acople precisamente apretado combinado con el bajo costo y la alta fuerza de extensión/torsional de un junto por pegamiento.

La instalación se hace simplemente con la aplicación de pegamiento en la extremidad macho, el apretado de las secciones de revestimiento entre sí e inserción en el taladro. Tal como con el sello apretado, la tubería inclinométrica pegada y apretada está autoalineada para una instalación simple.

SECCIÓN TELESCÓPICA

Cuando se anticipa que el asentamiento o empujón vertical excederá 1-2%, se debe utilizar secciones de tubería inclinométrica telescópicas para permitir un movimiento axial de la tubería inclinométrica mientras que se minimice la distorsión debida a la tensión vertical. Se debe insertar las secciones telescópicas apropiadamente extendidas o derrumbadas, para acomodar el asentamiento/rebote esperado. Secciones de asentamiento están disponibles en 70 mm (2.75 pulg.) y 85 mm (3.34 y.) y cada sección puede acomodar hasta 150 mm (6 pulg.) de compresión o empujón. Como regla general, las secciones telescópicas se recomiendan para un uso en taladros, mientras que se recomienda utilizar las secciones telescópicas (ver folleto separado) en diques que crecen gradualmente, tales como diques y presas de relaves. El uso de mangas corrugadas sobre la tubería inclinométrica es otra opción para acomodar un alto asentamiento en taladros (ver el folleto del sistema de asentamiento magnético).



ESPECIFICACIONES DEL REVESTIMIENTO

DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO EXTERNO DE 70 MM (2.75 PULG.)	DIÁMETRO EXTERNO DE 85 MM (3.34 PULG.)
Diámetro externo de acople sello apretado/pegado y apretado	70 mm (2.75 pulg.)	85 mm (3.34 pulg.)
Diámetro externo de la tubería	70 mm (2.75 pulg.)	85 mm (3.34 pulg.)
Diámetro interno de la tubería	59 mm (2.32 pulg.)	73 mm (2.87 pulg.)
Longitud de la tubería	1.5 or 3 m (5 or 10 pies.)	1.5 or 3 m (5 or 10 pies.)
Peso de la tubería	1.27 kg/m .85 libras/pie.)	1.49 kg/m 1.0 libras/pie.)
Diámetro externo de tapa inferior de tipo sello apretado/pegado y apretado	70 mm (2.75 pulg.)	85 mm (3.34 pulg.)
Material	Plástico ABS	Plástico ABS
Espiral de ranuras	≤ 0.3 deg./10 pies.	≤ 0.3 deg./10 pies.

ESPECIFICACIÓN PEGADO Y APRESURADO - 70 MM

Prueba de carga	738 kg (1630 libras.)
Prueba de derrumbe	17.2 bar (250 psi)

PEDIDO

DESCRIPCIÓN	PEGADO Y APRESURADO		SELLADO APRESURADO	
	70 MM (2.75 PULG.)	85 MM (3.34 PULG.)	70 MM (2.75 PULG.)	85 MM (3.34 PULG.)
1.52 m de longitud (5 pie.)	ICGC205	ICGC305	ICSC205	ICSC305
1.50 m de longitud (4.92 pie.)	ICGC205M	ICGC305M	ICSC205M	ICSC305M
3.05 m de longitud (10 pie.)	ICGC210	ICGC310	ICSC210	ICSC310
Tapa superior	ICC2TC	ICC3TC	ICC2TC	ICC3TC
Tapa inferior	ICGC2BC	ICGC3BC	ICSC2BC	ICSC3BC
Tapa para hormigón	ICGC2CP	ICGC3CP	ICSC2CP	ICSC3CP
Adaptador de hormigón hembra 3/4" NPT	IC1200	IC1200	IC1200	IC1200
Sección telescópica	ICGC2TS	ICGC3TS	ICSC2TS	ICSC3TS

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 6.- SONDA PARA MEDICIÓN DE NIVELES DE AGUA.



PRODUCT CATEGORY:
ENVIRONMENTAL

Water Level Meters

RST Water Level Meters are used for convenient and accurate measurement of elevation of groundwater in boreholes, standpipes, and wells. They employ a high accuracy, NIST traceable, non-stretch, flat tape, permanently marked in 1 mm or 1/100 ft. graduations.

The RST Water Level Meter is supplied on a sturdy winding reel complete with a brake and carrying handle. Features include a shrouded stainless steel probe (allows accurate level determinations under cascading water conditions), a buzzer (with adjustable volume control), and sensitivity control as standard. The moisture resistant electronics and standard 9V battery are housed in the front for quick and easy access.

> APPLICATIONS

Measuring the elevation of groundwater in standpipes, boreholes, and wells.

> FEATURES

An ultra-wide user defined conductivity range allows for use in different liquids ranging from pure water to neat cement grout.

Auto buzzer check at start up. Auto OFF

Multi-functional button and knob act as the control interface.

Sensitivity adjustment.

NIST traceable, non-stretch steel tape, polyethylene coated.

7 strand, 24 gauge stainless steel conductors.

Sensing point at bottom of probe causes negligible water displacement ensuring high accuracy readings.

Frontal battery (standard 9 V) compartment needs no tools for removal/battery replacement.

Auto OFF

Rugged design for the most adverse conditions.

Tape markings will not fade or wear away.

Resolution: 1 mm or 1/100 ft.

Accuracy: 0.1%

13 mm / 0.5 in. O.D. stainless steel probe

> BENEFITS

3 High Reliability

3 High Accuracy



Water Level Meter reels come in various sizes to accommodate different tape lengths.



SPECIFICATIONS

CONTACT RST FOR ADDITIONAL LENGTHS	PART #
	POLY TAPE
30m	WL1030
50m	WL1050
100 m	WL1100
150m*	WL1500
200m*	WL1200
300m**	WL1300
100 ft	WL2010
150 ft	WL2015
300 ft	WL2030
500 ft	WL2050
* A mounted on a medium size reel	
** Mounted on a large size reel	

ACCESSORIES

ITEM	PART #
Aluminum carrying/shipping cases: - up to 100 m / 300 ft	WL6505
- 150-200 m / 500 ft	WL6504
- 300 m	IC3031C
- Soft vinyl carrying cases: - up to 200 m / 500 ft	WL6506
- 300 m	IC6508
Replacement tapes with probe	Please contact RST for more information.



Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 7.- UNIDAD DE LECTURA DE CUERDA VIBRANTE.



La unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106 ilustrada conectada a un piezómetro de cuerda vibrante.

	CATEGORÍA DE PRODUCTO:
	Colección de datos



Disponble para entrega inmediata
Contactar a RST para detalles

Unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106

La unidad de lectura portátil de cuerda vibrante VW2106 lee, visualiza y adquiere los datos de ambos sensores de cuerda vibrante y termistores. Es posible leer celdas de carga de cuerda vibrante sin ningún accesorio adicional.

Posee una precisión sin precedente, una memoria flexible y una comodidad de uso que hace de la unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106 invaluable para proyectos que requieren un monitoreo de sensores de cuerda vibrante. El tiempo de descarga máximo es de solamente 15 segundos. Para complementar su alto nivel de precisión, el VW2106 está también diseñado para una eficiencia máxima con el usuario en mente. Adicionalmente a los requisitos simples de alimentación de solamente 3 baterías "AA", el VW2106 viene bien equipado con características estándares tales como una amplia visualización gráfica con retro iluminación, un multiplexor incorporado, entradas de transductor de cuerda vibrante "sin herramientas" y un parlante incorporado conveniente para diagnóstico de sensores.

> APLICACIONES

Lee, visualiza y adquiere los datos de ambos sensores de cuerda vibrante y termistores.

> CARACTERÍSTICAS

Diseño compacto y durable para portabilidad y uso en campo.

Visualización de gráficos grandes con una retro iluminación conveniente.

Lecturas en unidades brutas o de ingeniería.

Multiplexor incorporado para celdas de carga, hasta 6 calibradores de cuerda vibrante.

Entradas de transductor de cuerda vibrante "sin herramientas".

Baterías alcalinas "AA" reemplazables en campo eliminan la necesidad de una batería de 12V voluminosa y de su cargador.

Parlante incorporado para diagnósticos de sensor.

Almacena hasta 254 ubicaciones de instrumento por ruta, cada una con una etiqueta de texto, constantes de calibración, datos precedentes, y hasta 11,400 puntos de datos etiquetados con la fecha/hora.

Transferencia de los datos a la computadora del usuario vía USB en un formato de archivo compatible con Microsoft Excel® y otros programas basados en hojas de cálculo. Programa de usuario de fácil de uso para Microsoft Windows® incluido.

ESPECIFICACIONES

DESCRIPCIÓN

Rango de excitación del unidad de lectura de cuerda vibrante
Resolución del unidad de lectura de cuerda vibrante

Precisión basada en el tiempo del unidad de lectura de cuerda vibrante

Sensores soportados por la unidad de lectura de temperatura
Precisión de lectura de temperatura

Rango de lectura de temperatura

Visualización

Retro iluminación de visualización

Ubicaciones de instrumentos máximas

Capacidad de memoria

Cadena de identificación de ubicación

Velocidad de descarga

Batería

Indicador de batería

Temperatura de operación

Dimensiones

Peso

ESPECIFICACIÓN

De 400 Hz a 6000 Hz, ondas cuadradas de 5 V

0.01 μ s

\pm 50 ppm

NTC3000 (estándar), NTC2252, NTC10K, RTD

\pm 0.1°C

De -50°C a 80°C

Visualización gráfica de carácter grande de 128 x 64 píxeles

LCD de alta eficiencia con auto apagado

254

11,400 puntos etiquetados personalizados

Hasta 20 caracteres

15 segundos (memoria llena)

3 pilas "AA" alcalinas

Indicador de batería baja en pantalla

De -20°C a 60°C

Espesor 22 cm x Profundidad 19 cm x Altura 9.5 cm
(8.75 x 7.5 x 3.75 pulg.)

1.1 kg (2.4 libras)

INFORMACIÓN DE PEDIDO

ÍTEM	NÚMERO DE PARTE
Unidad de lectura de cuerda vibrante VW2106	VW2106
Cable connector - 5 CLIPS ALIGATOR del VW2106	VW2106-AG

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 8.- RECUPERACION DE DATOS INHALAMBRICOS.

DT LINK WIRELESS



With a laptop connected to the DT LINK HUB wireless readings can be taken in seconds from DT LINK WIRELESS Data Loggers in hard to access areas - all from the convenience of your vehicle.

VIEW IN ACTION: <https://youtu.be/2VXDAGrmSU>



The DT LINK HUB connects to the Ultra-Rugged Field PC2 USB port and readings can be viewed and accessed with the included host software. No additional power is required when using the Field PC2.

The DT LINK HUB also connects to laptops with a USB port. Readings can be viewed and accessed with the included host software.



PRODUCT CATEGORY:
READOUTS + DATA LOGGERS

DT LINK WIRELESS



> DT LINK IS:

- A wireless connection to RST data loggers for quick data collection.
- An alternative to USB wired connection. Low power, long-life battery.
- Point-to-point and line of sight. Ships with DT Logger Host Software.

> WHY DT LINK IS IMPORTANT

DT LINK permits logger placements which have:

- Poor access, equipment required. Trespass issues.
- Access production disruption. Rockfall hazard.
- Fall protection requirement. Other access hazards - animals, toxics, etc.

> APPLICATIONS

- Colled data from data loggers atached from the underside of a brige's deck or high up on this pillars or beams
- Colled data in underground mines and also in open pit mines.
- Collect data over lakes, rivers and streams. Collect data across ravines and valleys.
- The data logger must be within line of sight and within specified antenna range. Please see reverse for specifications.

> BENEFITS OF CHOOSING DT LINK

- 3 Increase Safety
- 3 High Accuracy
- 3 Increase Productivity
- 3 Technical Support
- 3 High Reliability

> DT LINK SUPPORTED DEVICES*

- DT2011B - Single Channel Vibrating Wire with Thermistor Data Logger
- DT2055B - 5/10 Channel Vibrating Wire/Thermistor Data Logger
- DT2040 - 20/40 Channel Vibrating Wire/Thermistor Data Logger
- DT2306 - Potentiometer Data Logger
- DT2350 - 2 Channel Load Cell Data Logger
- DT2485 - DT-BUS (Digital Bus) Data Logger
- DT4205 - 5/10 Channel 4-20mA Transmitter Data Logger/Thermistor Data Logger
- DTL201B and DTL202B - Uniaxial and Biaxial MEMS Digital Tilt Loggers

*See separate product brochures at www.rstinstruments.com





Monitor
with
Confidence

TEL 604 540 1100
info@rstinstruments.com
www.rstinstruments.com

RST Instruments Ltd.
11545 Kingston St.,
Maple Ridge, BC V2X 0Z5 Canada



DT LINK WIRELESS



PRODUCT CATEGORY:
READOUTS + DATA LOGGERS

SPECIFICATIONS + ORDERING

SPECIFICATIONS	
ITEM	DESCRIPTION
Wireless Type	900 MHz spread spectrum (Americas, Australia) 868 MHz (Europe) 2.4 GHz (other countries)
RF Power	24 dBm (900 MHz) 13 dBm (868 MHz) 10 dBm (2.4 GHz)
Typical range Line of sight with base dipole antenna ≈1 m off ground)	800 m(900 Mhz) 500 m (868 Mhz) 300m (2.4 Ghz)
Throughput	380,000 Bytes/minute
Battery life, D size lithium cell	Years, at 1 hour reading intervals. Depend on channel count and reading rate

* NOTE: Higher gain antennas are available. Contact RST with project specifics.



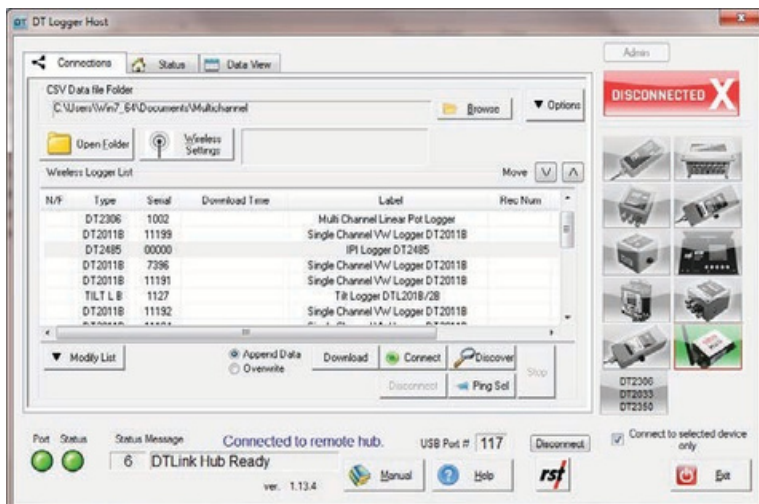
A close up shown of a DT Link Wireless enabled DT2011B Single Channel Vibrating Wire Data Logger.

ORDERING

ITEM	PART #
Single Channel Vibrating Wire with Thermistor Data Logger	DT2011B DTLINK
5/10 Channel Vibrating Wire/Thermistor Data Logger	DT2055B DTLINK
20/40 Channel Vibrating Wire/Thermistor Data Logger	DT2040 DTLINK
5/10 Channel 4-20mA Transmitter/Thermistor Data Logger	DT4205 DTLINK
Uniaxial MEMS Digital Tilt Logger	DTL201B DTLINK
Biaxial MEMS Digital Tilt Logger	DTL202B DTLINK
DT LINK HUB	DT LINK HUB

DT LINK HUB POWER OPTIONS

OPTION	DESCRIPTION
External Power Adapter	Included with DTLink Hub – for use when AC/mains power is available. Laptop required to connect to the DTLink Hub.
Vehicle Power Adapter	Included with DTLink Hub – for use when using hub from a vehicle. Laptop required to connect to the DTLink Hub.
Field PC	Sold separately – Field PC can both power and connect to the DTLink Hub. No laptop required.
Laptop	Most laptops can power the DTLink hub via USB but RST cannot guarantee that it will work in all cases. Please see manual for more details.



The DT Logger Host Software for PC provides an easy to use interface to view the collected data.

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

**ANEXO 9.- REGISTRADORES DE DATOS,
DATA LOGGER**



DT2055B Ten Channel Data Logger



The DT2055B Ten Channel Data Logger is a low cost, battery powered data logger, designed for reliable, unattended monitoring of up to 10 sensors which may be any mix of vibrating wire sensors and thermistors, typically 5 vibrating wire sensors with their associated thermistors.

It is a purpose built logger ideal for remote locations or instruments that require frequent reliable data recording. It connects to all vibrating wire sensors including piezometers, crack meters, and strain gauges. However, the DT2055B Ten Channel Data Logger will not connect to vibrating wire sensors with auto resonant circuitry.

Vibrating wire sensors have unique advantages in geotechnical applications, as the frequency output of the gauge is immune to external electrical noise, able to tolerate wet wiring without signal degradation, and able to transmit the signal up to 1.6 kilometers without loss.

Data logger setup and data collection is done using the Ultra-Rugged Field PC2 or a laptop. Multi-Channel Host Software is also included.

A single gland option (DT2055B-T) is also available for Multi-point Vibrating Wire Piezometer Strings or Thermistor Strings.



As shown here, the DT2055B can also be equipped with an optional radio antenna (L900) to incorporate it into an rstar wireless system. RST's rstar system uses wireless technology to provide continuous data acquisition.



RST Instruments Ltd.
11545 Kingston St.,
Maple Ridge, BC
Canada V2X 0Z5

Telephone: 604 540 1100
Facsimile: 604 540 1005
Toll Free: 1 800 665 5599

info@rstinstruments.com

www.rstinstruments.com

applications

Ideal for applications that require reliable, unattended monitoring of up to five vibrating wire sensors.

features

HARDWARE

Option for radio antenna for incorporation into an RST rstar wireless system for acquiring data.

Robust construction.

4MB memory.

Weather resistant NEMA 4X (IP65) enclosure.

Battery powered for remote sites.

100 year memory backup.

Compatible with all VW sensors - excluding those with auto resonant circuitry.

-40°C to 60°C (-40°F to 140°F) operating range.

0.01µs vibrating wire resolution.

16 bit analog/digital converter.

SOFTWARE

User friendly Windows® host software included at no additional cost.

Compatible with most spreadsheet software.

Data stores in CSV format, and opens in Microsoft® Excel.



specifications + ordering info

DT2055B Ten Channel Data Logger



general specifications

DESCRIPTION	SPECIFICATION
Frequency	0.01% Full Scale
Accuracy	1 part in 65,000
Resolution	Over 120,000 records including: time, 5 channels frequency, frequency2, 5 channels temperature
Memory	1 'D' lithium primary battery
Power Source	Over 5 years / 2 memory fills depending on temperature and use
Battery Life	USB type B connector
Communication	120 x 122 x 91 mm (4.7 x 4.8 x 3.6 in.)
Dimensions	-40°C to 60°C (-40° to 140°F)
Temperature Range	NEMA 4X (IP65)
Enclosure	

data storage specifications

DESCRIPTION	SPECIFICATION
Memory	4 MB
Data Transfer	5,000 data points per second
Interval Mode	10 seconds to 1 day
Variable Rate Mode	16 user programmable
Time Format	sampling rates Month / day / year
Memory Full Behaviour	Hour / minute / second "Wrap around" or "fill & stop"

optional equipment

Communications	cable L900 radio
----------------	------------------

ordering info

PART #	DESCRIPTION
DT2055B	Ten Channel Data Logger
DT2055B-T	Ten Channel Data Logger - Single
IC32000-AR2-RSTS	Gland Ultra-Rugged Field PC2



Setup the data logger and collect data using the Ultra-Rugged Field PC2.

Screenshot of DT2055B Mobile software as shown on the Ultra-Rugged Field PC2.



Ten Channel Data Logger with Single Gland; optional connector available, contact RST for complete details.

GEOTECHNICAL · MINING · ENVIRONMENTAL · STRUCTURAL

Anexos

Geohidrología e Instrumentación Geotécnica Aplicada al Diseño y Construcción de la lumbrera L-12 del Túnel Emisor Oriente, para Abatir las Presiones y el Flujo Subterráneo en un Acuífero de Alta Presión.

ANEXO 10.- FORMATO DE CENSO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO Y DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA, DE PIEZOMETRÍA, DE AFORO DE POZOS Y DE PRUEBA DE RECARGA.

FORMATO SINTESIS DE CENSO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO

IDENTIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Fecha del censo: _____

Nombre: _____

Ubicación: _____

Propietario: _____

Coordenadas:

X _____

Y _____

Z _____



Tipo de aprovechamiento: _____ Pozo () Noria () Activo () Inactivo () abandonado () seco () otro ()

Observaciones: _____

EXPEDIENTE DEL APROVECHAMIENTO

Corte Litológico _____

Registro eléctrico (Geofísico) _____

Prueba de aforo _____

Calidad del agua _____

Observaciones: _____

Registro de videograbación: _____

Registro de verticalidad: _____

Planos As Built: _____

Otros: _____

CARACTERÍSTICAS DEL POZO Y DATOS DE OPERACIÓN

Fecha de construcción: _____

Tipo de ademe: _____

Diámetro del ademe: _____

Profundidad: _____

Caudal: _____

Presión: _____

Nivel estático y fecha: _____

Nivel dinámico y fecha: _____

Tipo de bomba: _____

Profundidad de la bomba: _____

Potencia de la bomba: _____

Diámetro de descarga: _____

Ubicación de la bomba: _____

Regimen de operación del pozo: _____

Telemetría _____

Brocal: _____

Silletas: _____

Acometida eléctrica: _____

Transformador: _____

Interruptores: _____

Caseta: _____

tren de descarga: _____

Muro perimetral: _____

Cerca perimetral: _____

Accesos: _____

Interferencias: _____

Dimensiones del predio: _____

Actividad de pesca: _____

Caminos de operación: _____

Otros: _____

ESTATUS DEL POZO Y OBSERVACIONES

Estatus del pozo: Fuera de operación () vandalizado () pérdida de caudal () pozo arenoso () sustitución de bomba ()

Falta de energía eléctrica () pérdida de verticalidad () contaminación () aspectos sociales () otros ()

Uso: Agua potable () riego () industrial () ganadero () servicios () otros ()

Tipo de descarga: Libre () Tanque elevado () A la red () Mixta (red y tanque) ()

Observaciones: _____

Realizó: _____

Nombre y firma

Verificó: _____

Nombre y firma

FORMATO EXTENSO DE CENSO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO Y DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

IDENTIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Fecha del censo: _____

Nombre: _____

Ubicación: _____

Propietario: _____

Coordenadas:

X _____

Y _____

Z _____

Altura del brocal: _____

Imagen del aprovechamiento

Tipo de aprovechamiento: Noria () Pozo () Manantial () Otro () Activo () Inactivo ()

EXPEDIENTE DEL APROVECHAMIENTO

Corte Litológico _____

Registro eléctrico (Geofísico) _____

Prueba de aforo _____

Calidad del agua _____

Registro de videograbación: _____

Registro de verticalidad: _____

Planos As Built: _____

otros: _____

CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO

Fecha de construcción: _____

Tipo de ademe: _____

Diámetro del ademe: _____

Profundidad: _____

Caudal (aforo inicial construcción): _____

Tipo de bomba: _____

Diámetro de descarga: _____

Ubicación de la bomba: _____

Tipo de descarga: Libre () Tanque elevado () A la red () Mixta (red y tanque) ()

Longitud de la columna de succión: _____ m

Observaciones: _____

Características del brocal del pozo: _____

Características del tren de descarga del pozo: _____

Características de la noria: _____

Características del manantial: _____

Potencia del motor: _____ H.P./R.P.M. _____

DATOS PIEZOMETRICOS Y DE CALIDAD DEL AGUA

Nivel estático: _____

Nivel dinámico: _____

pH _____

Temperatura: _____

Conductividad eléctrica: _____

Fecha: _____

Fecha: _____

Fecha: _____

Fecha: _____

Fecha: _____

Observaciones: _____

Observaciones: _____

Observaciones: _____

Observaciones: _____

Observaciones: _____

FORMATO EXTENSO DE CENSO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO Y DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

DIMENSIONES Y GEOMETRIA DEL PREDIO

Ancho(m) _____

Largo(m) _____

Terreno regular () Terreno irregular ()

Imagen del aprovechamiento

OBRA CIVIL E HIDRÁULICA

BARDA O CERCA PERIMETRAL

SILLETAS Y BROCALES

Dimensiones: _____

Altura: _____

Tipo de material _____

Concertina _____

Dimensiones: _____

Altura: _____

Tipo de material _____

Concertina _____

Porton_puerta de acceso principal: _____

Observaciones: _____

Silleta 1: _____

Silleta 2: _____

Silleta 3: _____

Brocal: _____

Observaciones: _____

CASETA

LOSA-PISO-TERENO NATURAL

Dimensiones: _____

Altura: _____

losa _____

Instalaciones _____

Puerta: _____

Ventanas: _____

Observaciones: _____

Tipo de material: _____

Estado: _____

Dimensiones: _____

Desmonte-deshierbe: _____

Terreno natural(suelo, roca)

Accesos.caminos de operación: _____

Observaciones: _____

TREN DE DESCARGA

Imagen del tren de descarga

Presión: _____

Medidor de flujo: _____

Manometro: _____

Piezas especiales: _____

Observaciones: _____

OBRA ELECTROMECHANICA

Observaciones: Acometida eléctrica () Cuarto de control () Interruptor () Tierra fisica () Transformador () Bomba ()

Tableros () Interruptores () Revisión de instalación () Instalaciones nuevas () Equipo de bombeo ()

TELEMETRIA

Observaciones: Antena () Variables medidas (Presión , Caudal , Niveles , otras) cuarto de control () otras ()

FORMATO EXTENSO DE CENSO DE POZOS DE ABASTECIMIENTO Y DE APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

USO Y RÉGIMEN DE OPERACIÓN

CAUDAL DE OPERACIÓN: _____ l/s Tipo de bombeo: _____ Horas/día Días que opera al mes: _____
Agrícola () Hectáreas regadas: _____ ha Tipo de cultivo: _____ Periodo de riego: _____
Ganadero () Tipo de ganado: _____ Número de cabezas: _____
Potable () Número de habitantes servidos: _____ Cuota de consumo : _____ l/día
Industrial () Tipo de industria: _____ Consumo estimado: _____ l/día
Otros () Especifique: _____ Consumo energetico (bajo) medio () alto ()

ESTADO ACTUAL DEL APROVECHAMIENTO

Vandalismo: _____

Abandonado: _____

Sellado: _____

Seco: _____

Fuera de operación: _____

Pozo de reposición: _____

Aspectos sociales: _____

Accesos: _____

Equipo de bombeo: _____

Instalaciones: _____

Tren de descarga: _____

Transformador: _____

Caseta: _____

Observaciones: _____

Otras consideraciones: _____

Realizó: _____

Nombre y firma

Verificó: _____

Nombre y firma

FORMATO DE PIEZOMETRÍA PARA POZOS DE ABASTECIMIENTO Y/O NORIAS

INFORMACIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Nombre del aprovechamiento:				Imagen del aprovechamiento
Propietario:				
Coordenadas:				
Ubicación:				
Profundidad (m):				
Potencia de la bomba:				
Ubicación de la bomba:				
Estatus del aprovechamiento:				
Observaciones:	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>			

REGISTRO PIEZOMÉTRICO

Nombre del aprovechamiento:				Imagen de la actividad de piezometria
Fecha de medición:				
Profundidad al nivel estático (m):				
Profundidad al nivel dinámico (m):				
Abatimiento (m):				
Caudal (l/s):				
Capacidad específica (l/s/m):				
Observaciones:	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>			
Realizó:	<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="margin: 0;">Nombre y firma</p>			

FORMATO PARA PRUEBA DE AFORO EN POZOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

INFORMACIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Nombre del aprovechamiento:		Propietario:	
Localización:		Ubicación:	
Coordenadas:	Imagen del aprovechamiento		
Tipo de Bomba:			
Modelo y marca:			
Potencia de la bomba (HP)/R.P.M:			
Tazones:			
Diámetro de la descarga:			
Otros:			
Ubicación de la bomba:			
Profundidad (m) del aprovechamiento:			
Nivel estático (m)			
Observaciones:	<hr/> <hr/> <hr/>		

DATOS DE LA PRUEBA DE AFORO

Fecha	Hora	Tiempo	R.P.M	Nivel dinámico (m)	Abatimiento (m)	Carga axial (cm)	Caudal (l/s)	Caudal específico (l/s/m)

Observaciones:	<hr/> <hr/> <hr/>
Realizó:	<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="margin: 0;">Nombre y firma</p>

FORMATO PARA PRUEBA DE RECARGA EN POZOS

INFORMACIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Nombre del aprovechamiento:		Propietario:	
Localización:		Ubicación:	
Coordenadas:		Imagen del aprovechamiento	
Activa:			
Pasiva:			
Tipo y aspectos de la prueba de recarga:	Diámetro de la descarga a pozo: Ubicación de la descarga sumergida: Posición de sensor (divers) dentro del pozo:		
Profundidad (m) del aprovechamiento:			
Nivel estático (m)			
Observaciones:	_____ _____ _____		

DATOS DE LA PRUEBA DE RECARGA

Fecha	Hora	Nivel dinámico (m)	Carga hidráulica (m)	Tiempo de recarga (min)	Lectura del medidor de Flujo (m ³)	Volumen inyectado (m ³)	Caudal de recarga (l/s)

Observaciones:	_____ _____ _____
Realizó:	_____ Nombre y firma