

Estudios y diseños de las obras de rescate en la mina Pasta de Conchos

José I. Ibarra Q.
Departamento de Mecánica de Rocas
Comisión Federal de Electricidad Ciudad de México, México
jose.ibarraq@cfe.mx

Efraín Gallegos M.
Departamento de Mecánica de Rocas
Comisión Federal de Electricidad Coahuila, México
efrain.gallegos@cfe.mx

Resumen— Se presentan los estudios y diseños llevados a cabo para el proyecto de rescate en la mina Pasta de Conchos, partiendo de la información disponible de evaluaciones preliminares, se programó y ejecutó una campaña de estudios, con exploración directa en el sitio de obras, con el objetivo de determinar las condiciones geológicas, geofísicas, geohidrológicas y geotécnicas, sintetizándolo en un modelo geotécnico con la distribución espacial de las propiedades y condiciones. En paralelo, con el proceso de estudios, se llevó a cabo el análisis de las condiciones de las obras abandonadas objeto del rescate (ubicaciones probables de restos de los mineros, potencial daño a la masa rocosa, presencia de agua y metano) evaluando alternativas de arreglo de obras, determinando finalmente un proyecto definido como una Obra Civil de Rescate, proyectando obras de acceso y ventilación (lumbreras y rampas) y galerías de aproximación a los sitios de interés, para conectar finalmente con túneles de conexión a las galerías mineras abandonadas.

Keywords— (Pasta de Conchos, obra civil de rescate, unidad geotécnica, ubicación probable, lumbreras, rampas, galerías)

I. ANTECEDENTES

El 19 de febrero del año 2006 ocurrió una explosión de metano y polvo de carbón en la mina de carbón Pasta de Conchos, ubicada en el estado de Coahuila, México, la cual se encontraba en fase de preparación para el minado. Se realizaron labores de rescate de restos de los mineros, dando por concluidas las maniobras en el año de 2017, donde permanecen actualmente los restos de 63 mineros dentro de las galerías mineras abandonadas. En el año de 2010, se procedió al cierre definitivo de las obras mineras colocando tapones estructurales a prueba de explosión.

En 2019, a partir de una evaluación de preliminar a solicitud de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), el Servicio Geológico Mexicano (SGM), determino la factibilidad de realizar un proceso de rescate de los restos de los mineros.

En septiembre de 2020, se encargó a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) el desarrollo de los estudios y diseño del proyecto de rescate de la Mina Pasta de Conchos.

La CFE proyectó y ejecutó la campaña de estudios directos en el sitio de obras, concluyendo finalmente un diseño de ingeniería básica de las obras para el rescate en la mina Pasta de Conchos

II. ESTUDIOS

Los estudios preliminares a cargo del SGM se realizaron de forma indirecta, identificando zonas de interés, con potencial daño a la masa rocosa, que deberán validarse y tomarse en consideración para el diseño de las obras. Además, se recabó información parcial de los estudios llevados a cabo por la compañía minera en su etapa de exploración de reservas. A partir de los niveles de información disponibles, se programaron los estudios, Fig. 1.

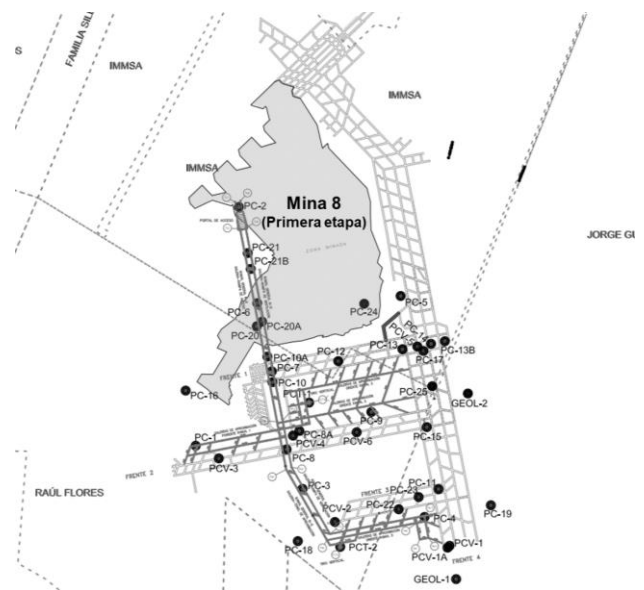


Fig. 1. Exploración con barrenación directa

A. Estudio Topográfico

Necesario para el establecimiento del control topográfico superficial y la generación del plano espacial de la ubicación de la infraestructura superficial y las obras mineras abandonadas”.

B. Exploración Directa

Ejecutada con barrenos y recuperación de núcleos, obteniendo muestra en diámetro HQ, para conocer la secuencia litológica, identificación de estructuras geológicas, e información complementaria para el proyecto.

- 35 barrenos orientados a los arreglos de obra.
- 6 barrenos conectados a obras abandonadas.
- Registro geológico y geotécnico de barrenos.
- Ensayes de permeabilidad.
- Ensayes de contenido de metano en el manto de carbón.
- Registro de concentración de metano en la boca de barrenos comunicados.
- Obtención de muestras para pruebas en laboratorio.

C. Exploración Geofísica Indirecta

Con el objetivo primario de la identificación de potenciales zonas de daño a la masa rocosa, en el entorno de las obras mineras abandonadas, así como de los parámetros necesarios para el diseño, utilizando las técnicas:

- Dispersión de ondas Superficiales (DOS)
- Tomografía de refracción sísmica (TRS)
- Tendidos de Resistividad Eléctrica (TRE)
- Tomografía Sísmica entre Barrenos (TSB)
- Sísmica de Reflexión Somera de Alta Resolución (SiRSAR)

D. Estudio Geohidrológico

Se estudiaron las condiciones del agua superficial, los niveles de agua en pozos existentes y nuevos barrenos, estableciendo la existencia de un acuífero superficial con niveles variables y de forma gradual, se verificó la existencia de agua acumulada en las galerías abandonadas (del orden de 200 000 m³), identificando un comportamiento de vasos comunicantes, Fig. 2.

E. Estudio Geológico.- Geofísico

Se realizó la interpretación de información previa, la geología superficial, la interpretación de la exploración directa e indirecta, así como los resultados del estudio geohidrológico, generando un modelo geológico estructural, integrando un grado de detalle suficiente para diferenciar las interestratificaciones de Lutitas, Limolitas, Areniscas y horizontes y mantos de Carbón

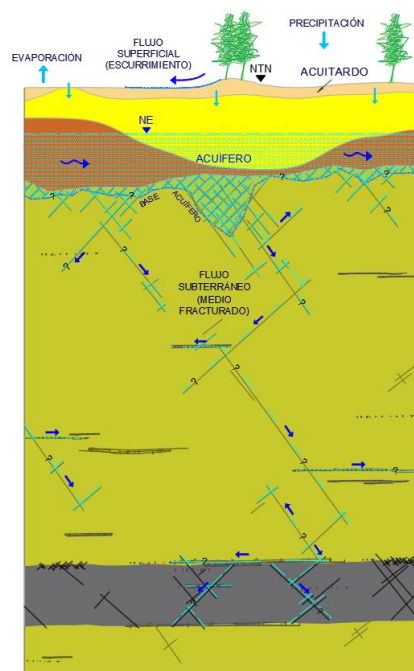


Fig. 2. Modelo geohidrológico

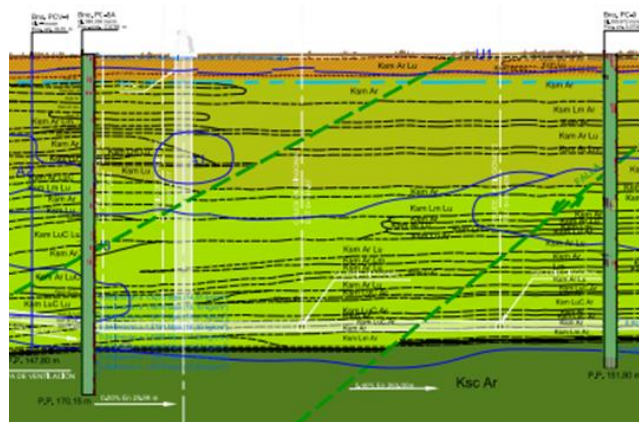


Fig. 3. Sección geológica típica

La información se sintetizó en planos en planta y secciones orientadas sobre los ejes de las obras abandonadas y los nuevos desarrollos, Fig.3.

F. Estudio Geotécnico

Realizado para la adquisición de información, se hicieron levantamientos geotécnicos en minas subterráneas, tajos a cielo abierto de la región, las cuales cuentan con condiciones similares, se incluyó la información geológica y geotécnica de los barrenos de exploración, así como los resultados de las pruebas de laboratorio. A partir de las secciones geológicas, se integraron los modelos geotécnicos, identificando seis unidades geotécnicas, definidas a partir de la litología, la estructura estratificada y comportamiento mecánico de la roca intacta, Fig. 4.

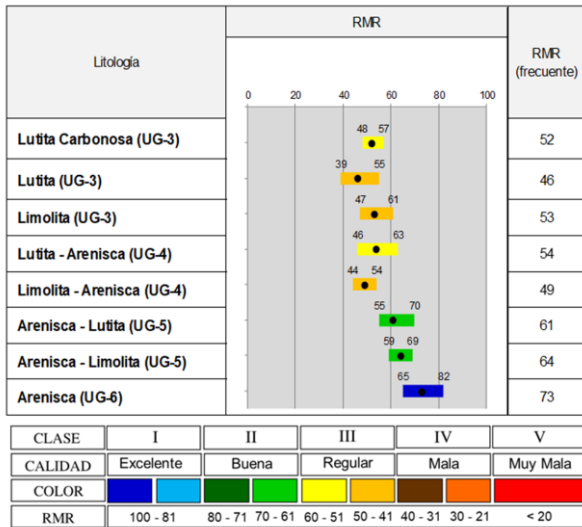


Fig. 4. Clasificación RMR (Bieniawski, 1989). Parámetros adaptados a las unidades geotécnicas de Mina Pasta de Conchos.

- UG-1 Materiales aluviales y alterados
- UG-2 Manto de carbón
- UG-3 Lutitas, Limolitas y carbón (estratificada)
- UG-4 $\geq 60\%$ Lutitas –Limolitas, $\leq 40\%$ Arenisca
- UG-5 $\geq 60\%$ Arenisca, $\leq 40\%$ Lutitas –Limolitas
- UG-6 Arenisca

El modelo geotécnico se integró en las secciones, indicando gráficamente la distribución espacial de las unidades geotécnicas, así como las propiedades índices, mecánicas de la roca intacta, la calificación de la calidad de la masa rocosa con las metodologías del Rock Mass Rating (RMR) y Geological Strength Index (GSI), además de parámetros de excavabilidad, requerimiento de soporte, Fig. 5.

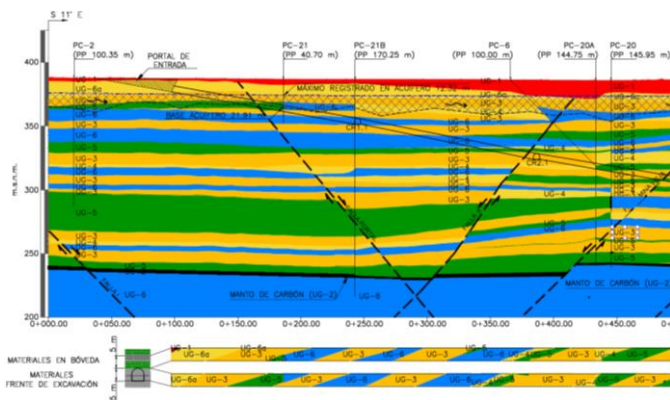


Fig. 5. Sección longitudinal. Modelo geotécnico tipo, rampa principal de acceso y ventilación

III. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

EL desarrollo del Proyecto de Rescate de la mina Pasta de Conchos es complejo, debiendo considerar múltiples aspectos para garantizar el éxito del proceso de rescate, con la premisa de no dejar un trabajador más en las maniobras, entre otros, se señalan los siguientes.

A. Geometría y Condiciones de las Obras Abandonadas

Considerando la etapa de abandono en que se encuentra el proyecto, fue necesario reconstruir la geometría de las obras mineras, identificando que las obras mineras correspondían a una segunda etapa de minado a partir de un acceso inclinado, con un sector minado y abandonado al norte de la zona de interés. Las obras mineras corresponden al desarrollo de cuatro galerías generales (norte-sur), con desarrollos de galerías dobles o triples (al oeste), estas últimas como preparativo de paneles para la aplicación del método de minado de frentes largas.

El sistema de sostenimiento era precario, consistente de forma general de marcos simples de madera sin arrostramiento lateral entre marcos, los cuales se asume fueron desarticulados por los eventos explosivos en cadena, favoreciendo daño en la bóveda de las excavaciones.

Además, como se indicó anteriormente, con el paso del tiempo se acumuló agua en las galerías abandonadas, la cual debe drenarse previo a la llegada de las obras a los niveles inferiores,

B. Ubicación Probable de los Mineros

Se tienen los registros de la distribución probable de los mineros al inicio de turno (“pueblo”), asociados a la operación de los mineros continuos que desarrollaban obra, así como de la maquinaria e infraestructura auxiliar del proceso. En la Fig. 1 se muestra el mapa de ubicaciones probables de los mineros al momento del accidente, Fig.6.



Fig. 6. Ubicación probable de los mineros en las obras mineras abandonadas de Pasta de Conchos

C. Disponibilidad de Acceso a los Predios Superficiales

En el área de interés se considera liberada la concesión del manto mineral (subterráneo), sin embargo, la distribución de los predios superficiales corresponde a particulares, en las cuales se evaluaron las afectaciones. Durante el desarrollo del proyecto, se concretó la donación del predio al norte a la CFE, condición relevante para la ubicación final de las obras.

D. Tiempos de Arribo a los Sitios Objetivo

La ubicación probable de los mineros se encuentra principalmente en los extremos de las obras abandonadas, además, se consideró la ubicación estratégica los accesos (rampas y lumbreras), para cubrir mayor Área y reducir los tiempos de arribo a los sitios objetivo, condición establecida por las autoridades del proyecto.

E. Sistema de Ventilación

El origen del accidente se considera probablemente asociado a deficiencias en la capacidad del sistema de ventilación, la actualización de la legislación establecida en la NOM – 032 – STPS -2008, que establece estudios, diseño y controles más exigentes, así como la premisa de la Obra Civil de Rescate, requiriendo un diseño con un factor de seguridad adecuado que elimine el riesgo de un incidente similar.

F. Proceso Constructivo

Los desarrollos mineros en las minas de carbón se realizan con equipos mecanizados especializados (roadheader – minero continuo), debiendo cumplir con las características de seguridad (intrínsecamente seguros) de acuerdo a la normatividad, sin embargo, los tiempos de procura son mayores a los seis a nueve meses. Por lo que se considera que el primer año de la obra se excavara con equipos convencionales (barrenación y voladura), debiendo migrar gradualmente conforme se alcancen los niveles en la zona de influencia del manto de carbón.

IV. DISEÑO DE LAS OBRAS

A. Análisis de Alternativas

Una vez definidas las condiciones geológico geotécnicas y las condiciones de diseño se plantearon los arreglos de obra para cumplir con los objetivos de llegada a los sitios probables, considerando el acceso principal de rampas desde los predios disponibles, planteando dos posiciones de acceso desde el sur (Opciones 1 y 2), y tres arreglos de obra desde el norte (Opciones 3, 4 y 5).

Los accesos desde el sur, requerían de mayor tiempo para la llegada a los objetivos al norte, por la necesidad del desarrollo de galerías, además de la negociación en condiciones desfavorables con el particular.

Durante el proceso, se tuvo posesión por parte de CFE del predio al norte, descartando finalmente los arreglos de acceso al sur. De las tres alternativas al norte, se consideraron dos en los extremos oriente (Opción 3) y poniente (Opción 4), con una posición intermedia (Opción 5).

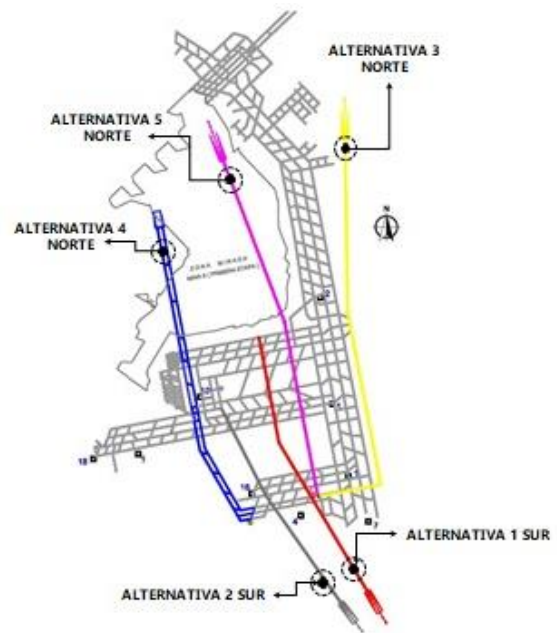


Fig. 7. Alternativas de acceso del Proyecto

El acceso oriente requería de una mayor longitud de desarrollo y el cruce de la obra nueva con las cuatro galerías generales. Finalmente, la rampa en la posición intermedia requería del cruce de las obras triples de los ramales 1 y 2 oriente, demandando además mayor longitud de desarrollo de galerías y mayor tiempo de arribo.

De los análisis, se seleccionó la Opción 4, con llegada de rampa en una posición intermedia en el pilar de roca entre el minado antiguo y la frente larga, ofreciendo una llegada rápida al objetivo de la frente larga y el ramal 2 oriente.

Una vez preseleccionada la opción, se ajustaron los objetivos de exploración, optimizando el programa de exploración a los ejes de obra definidos.

B. Diseño de las Obras Civiles de Rescate

El grupo de Ingeniería trabajó en un proceso de diseño y optimización de la opción seleccionada, ajustando el punto de llegada de la rampa al entorno del manto de carbón, la geometría de las obras en el panel entre los ramales 1 y 2 oriente, así como la posición de las galerías hacia el ramal 3 oriente y el frente de las galerías generales.

Se incorporaron al proyecto como obras de acceso, para potencial llegada temprana a los sitios objetivo, refuerzo de los circuitos de ventilación (lumbrera PCT-1), así como mejoras en los aspectos de seguridad contar con rutas de evacuación múltiples. Además, con la proyección de la lumbrera PCT- 2 al sur se tendría la posibilidad de contar con un frente de desarrollo hacia el ramal 3 oriente y el frente de galerías generales, actuando como un circuito de ventilación y unidad de rescate independiente, Fig. 8.

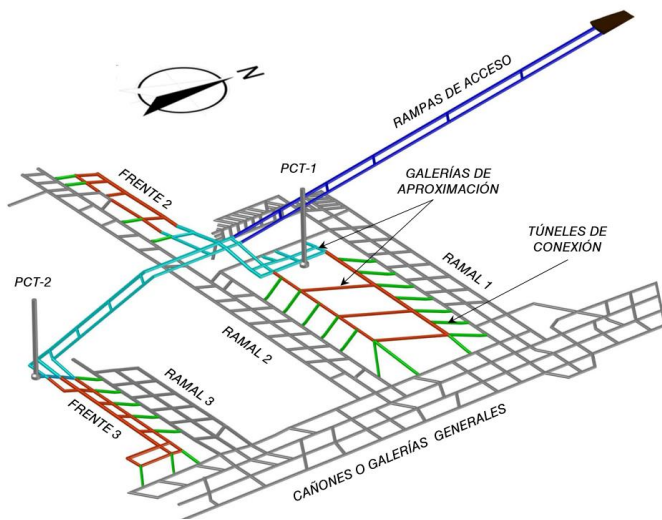


Fig. 8. Obras mineras abandonadas y proyecto de rescate

Previo a la llegada de las rampas y lumbreras a sus niveles inferiores, se tienen proyectados al menos cuatro pozos de bombeo, ubicados en los puntos extremos y menor nivel de los ramales de las galerías abandonadas, para extraer y tratar el agua acumulada.

Se definieron tres niveles de sostenimiento, adecuados a las características geotécnicas y estructurales de la masa rocosa:

- Tipo A, Concreto lanzado de 5 cm y anclas pasivas, en las unidades Geotécnicas UG-5 y UG-6, dominados por Areniscas.
- Tipo B, Concreto lanzado de 10 cm y anclas pasivas, en las unidades Geotécnicas UG-4 y UG5, con presencia de Lutitas, Limolitas y menor presencia de Areniscas.
- Tipo C, Marcos metálicos y empaque de concreto hidráulico en la zona del acuífero superior y las unidades Geotécnicas UG-2 y UG-3, dominadas por rocas de estratificación fina de Lutitas, Limolitas, Lutitas Carbonosas y Carbón.

Se considera la aplicación de excavación con medios convencionales de barrenación y voladuras en la profundización de lumbreras, así como en al menos dos tercios de la longitud de las rampas. A partir de estos puntos, y para gestionar el riesgo de la presencia de metano en la atmosfera, y la expectativa de mayores rendimientos en los avances de excavación, se considera la utilización de excavación mecanizada con roadheader, controlando en todo momento las longitudes de avance sin soporte, adecuado a las condiciones particulares de la masa rocosa.

El concepto del proyecto se puede dividir en tres grandes tipos obra:

- Obras de acceso y ventilación, constituidos por dos rampas inclinadas con 12° y dos tiros de 8 metros de diámetro.

- Galerías de aproximación, con tres ramales de obras dobles, para posicionar de forma secuencial hacia los sitios objetivo. Estas obras se desarrollan de forma general sobre el manto de carbón.
- Túneles de conexión, constituidos por túneles descendentes en posiciones estratégicas para el acceso selectivo y secuencial a los sitios de alta probabilidad de ubicación de mineros.

El proyecto en una etapa posterior, requerirá de un proceso de desgasificación, de la realización de exploración directa a través de sondeos, desde una ubicación de pilar seguro, de las condiciones de la masa rocosa en las galerías abandonadas, agua remanente, rezaga o material acumulado, así como de las condiciones o concentraciones de metano.

Un tema particular del proyecto y de las obras mineras es la necesidad de utilización del equipamiento, subestaciones, líneas de conducción que cumplan la normatividad de intrínsecamente segura y a prueba de explosiones para gestionar el riesgo de incendio o explosiones ante la presencia de metano y polvo de carbón en la atmosfera de las nuevas obras.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto ha demandado del trabajo intensivo del equipo multidisciplinario de las diversas áreas de Ingeniería de la CFE y la incorporación de paneles de expertos en las áreas de especialidad características de la interface de la obra civil de rescate con los nuevos desarrollos y las galerías abandonadas de una mina de carbón.

El objetivo se ha cumplido en un tiempo reducido, logrando un modelo geotécnico, así como de las condiciones a las que se enfrentará el proyecto y con ello la ingeniería básica y de detalle para la ejecución segura de las obras.

Sin embargo, se encuentra en proceso la definición de la ingeniería de detalle de la conexión, ingreso a las obras mineras abandonadas, y maniobras de rescate, las cuales tendrán condiciones variables, que demandarán un proceso de ingeniería dinámico, y la incorporación de áreas o disciplinas especializadas para la conclusión exitosa de las labores que nos han sido encomendadas.

REFERENCIAS

- [1] E. Hoek, M.S. Diederich, "Empirical estimation of rock mass modulus", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, P.O. Box 75516, North Vancouver, British Columbia, Canada, Queen's University, Miller Hall, Kingston, Ont., Canada, K7L 3N6, 2005.
- [2] Arild Palmström, Berdal Strømme a.s, partner of Norconsult International, Sandvika, Norway, "The weighted joint density method leads to improved characterization of jointing", Paper published in Conference on Recent Advances in Tunnelling Technology. New Delhi, 1996.
- [3] Kalender, H. Sonmez, E. Medley, C. Tunusluoglu, K.E. Kasapoglu, "An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks, 2014.
- [4] Bandis Et Al., "Fundamentals of Rock Joint Deformation". Int. J. Rock Mech. And Min. Sc., vol.20(6), 249-268, 1983.

- [5] Bieniawski Z. T., "A comparison of rock mass deformability measurements by different methods". Proc. Rapid Excavation and Tunneling Conf., New York, 1979, 901 – 916, 1976.
- [6] Bieniawski Z. T., "Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. John Wiley & Sons, 251 pages, 1989.
- [7] Kruseman G. P., Ridder N. A., "Analysis and evaluation of pumping test data". Ed. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Second Edition. The Netherlands, 1994.
- [8] Villanueva M. M, Iglesias L. A., "Pozos y acuíferos, Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo". Ed. IGME, España, 1984
- [9] CFE-LAPEM-GEIC, "Guía Técnica CFE-1010064. Técnica de Gráficas para la interpretación hidrogeoquímica en estudios geohidrológicos". Ed. Comisión Federal de Electricidad, México, 2016.