

Riesgos laborales implícitos en la construcción de las lumbreras para el túnel emisor oriente en México

Risks involved in shaft construction for the eastern drainage tunnel in Mexico

Riscos laborais implícitos na construção das saídas de ventilação para o túnel emissor oriente no México

DOI: rces.v24n36.a8

Recibido: 01/04/2015

Aceptado: 01/10/2015

Víctor Jiménez Argüelles

Doctor, profesor investigador de la UAM, Ciudad de México, México.
Correo electrónico: jjav68@yahoo.com.mx

Francisco González Díaz

Doctor, profesor investigador de la UAM, Ciudad de México, México.
Correo electrónico:fgd@correo.azc.uam.mx

Hugon Juárez García

Doctor, profesor investigador de la UAM, Ciudad de México, México.
Correo electrónico: hjg@correo.azc.uam.mx

Alonso Gómez Bernal

Doctor, profesor investigador de la UAM, Ciudad de México, México.
Correo electrónico:agb@correo.azc.uam.mx

Riesgos laborales implícitos en la construcción de las lumbreras para el túnel emisor oriente en México

Resumen

En el presente artículo se describen las principales etapas que se llevan a cabo para la construcción de las lumbreras (pozos verticales de gran diámetro), que son necesarias para la posterior construcción de los túneles. De manera particular se analizan las diferentes situaciones de riesgo que se presentan durante la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), el cual tendrá como objetivo conducir aguas negras, tendrá una longitud de 52 km, un diámetro final de 7.5m, y requerirá de la construcción previa de 25 lumbreras que van desde los 55 m hasta los 150m de profundidad.

Debido a las magnitudes del proyecto (52 km), se tendrá que trabajar en diferentes zonas geográficas y diferentes estratos geológicos, inclusive con presencia de grandes corrientes de agua subterránea, lo que hace que se incrementen los riesgos por efecto de posibles derrumbes o inundaciones durante la excavación. Por lo anterior, se tendrán que realizar excavaciones en suelos de diferentes propiedades, lo que hará que los procedimientos constructivos varíen dependiendo del tipo de suelo. Igualmente, por la magnitud de este tipo de proyectos, se requiere de una minuciosa gestión en la programación, ya que es necesario trabajar de manera simultánea con diferentes frentes para cumplir con los tiempos establecidos.

En este estudio se hace mención de que, ciertamente, este tipo de proyectos conlleva riesgos de categoría alta para los trabajadores; pero al mismo tiempo se hacen los análisis de las actividades y situaciones para demostrar que es posible minimizar dichos riesgos laborales.

Palabras clave

Riesgos, trabajadores, lumbreras, construcción, túneles.

Clasificación JEL: J21, J24, J28

Risks involved in shaft construction for the eastern drainage tunnel in Mexico

Abstract

This article describes the main stages involved in the construction of the shafts (large-diameter vertical wells), which are necessary for the subsequent construction of the tunnels. The different risk situations present during the construction of the Eastern Drainage Tunnel (in Spanish, "Túnel Emisor Oriente"-TEO) are analyzed. In order for this 52 km-long and 7.5 m-wide tunnel to carry sewage, 25 shafts must first be built ranging from 55 to 150 meters deep.

The magnitude of such a project implies working in different geographical areas and varied geological strata involving the presence of groundwater, which increases the risks due to possible landslides or flooding during excavation. Since digging will occur in different types of soil, varying procedures must be used depending on soil type. Likewise, due to the magnitude of this kind of project, detailed scheduling planning is required as simultaneous work on different fronts is necessary to meet deadlines.

The study mentions that, while projects like these involve high risks for workers, analysis of activities and situations is conducted precisely to demonstrate that such risks can be considerably reduced.

Keywords

Risks, workers, shafts, construction, tunnels.

Riscos laborais implícitos na construção das saídas de ventilação para o túnel emissor oriente no México

Resumo

No presente artigo, se descrevem as principais etapas que se levam a cabo para a construção das saídas de ventilação (poços verticais de grande diâmetro), as quais são necessárias para a posterior construção dos tuneis. De maneira particular se analisam as diferentes situações de risco durante a construção o Túnel Emissor Oriente (TEO), o qual terá como objetivo conduzir esgoto e que terá uma longitude de 52 km, um diâmetro final de 7.5 m e que requererá da construção prévia de 25 saídas de ventilação que vão desde os 55 m até os 150 m de profundidade.

Devido às magnitudes do projeto (52 km), se terá que trabalhar em diferentes zonas geográficas e diferentes estratos geológicos, incluso com presença de grandes correntes de água subterrânea, o que faz que se incrementem os riscos por efeito de possíveis deslizamentos ou enchentes durante a escavação. Por isso, terá que realizar escavações em solos de diferentes propriedades, o que fará que os procedimentos construtivos variem dependendo do tipo de solo. Igualmente, pela magnitude deste tipo de projetos, se requiere de uma minuciosa gestão na programação já que é necessário trabalhar de maneira simultânea com diferentes frentes para cumprir com os tempos estabelecidos.

Neste estudo, se faz menção de que, certamente este tipo de projetos envolve riscos de categoria alta para os trabalhadores, mas também, se faz as análises das atividades e situações para demonstrar que é possível minimizar ditos riscos laborais.

Palavras-chave

Riscos, trabalhadores, saídas de ventilação, construção, tuneis.

1. Introducción

1.1. Antecedentes del proyecto Túnel Emisor Oriente

La zona Metropolitana del Valle de México está construida sobre una cuenca cerrada, que originalmente formaba un sistema lacustre integrado por cinco grandes lagos: Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco.

En época de lluvias, estos lagos se convertían en un solo de dos mil kilómetros cuadrados de superficie. Esta condición explica las periódicas inundaciones que desde la fundación de Tenochtitlan han enfrentado sus habitantes, así como la necesidad de construir importantes obras de drenaje para el control y el desalojo de las aguas residuales y pluviales del valle. La construcción de la Ciudad de México sobre lo que eran los lagos ocasionó dos problemas permanentes: la necesidad del desalojo del agua de lluvia para evitar inundaciones y el hundimiento por la sobreexplotación de los mantos acuíferos. Para tal efecto, en 1975 se inauguró el Túnel Emisor Central de 50 km, el cual representa el componente principal del actual drenaje profundo (Aguilar, 2011).

Hoy la capacidad del sistema de drenaje de la zona Metropolitana es insuficiente y presenta serios problemas. Basta comparar la capacidad que tenía en 1975 con la que tiene en la actualidad, que es 30% menor, con casi el doble de la población. Esta disminución se debe principalmente al constante hundimiento de la Ciudad de México, originado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos del Valle de México (Alberto, 2010).

Para resolver a fondo la problemática del sistema de drenaje es necesario construir un nuevo drenaje

profundo: el Túnel Emisor Oriente, con capacidad de conducción de 150 m³ de aguas negras por cada segundo. Cabe resaltar que el costo total se estimó en 12 mil millones de pesos (Comisión Nacional del Agua, 2011).

1.2. Condiciones geotécnicas del Valle de México

Debido a la gran longitud del túnel TEO, el proyecto se debe realizar en suelos de diferentes características, por ejemplo en los suelos blandos de la zona del lago, que tienen como principal característica la alta compresibilidad y cuyo proceso de consolidación está en su primera etapa, con una tasa de hundimiento de más de 30 cm por año (Contreras, 2010).

Otro aspecto muy importante por señalar es que la trayectoria del túnel en varios kilómetros se ubica en el margen de un canal que conduce aguas negras (sin revestimiento de concreto), y en otro de los tramos se localiza a 10 m de una laguna (Holguín et al., 2010). De manera general, las lumbreras que se describen en el presente trabajo se construyen en el ambiente de suelos blandos caracterizados por una muy baja resistencia al esfuerzo cortante, una muy alta compresibilidad, una muy baja permeabilidad, con agua subterránea en condiciones hidrodinámicas (Juárez et al., 2010).

1.3. Gestión de riesgos

De manera general hemos de mencionar y aceptar que en los trabajos requeridos en el sector de la construcción existen riesgos que de manera natural y propia, por las actividades requeridas, siempre estarán latentes, es decir que siempre existirán riesgos implícitos y de manera particular los proyectos subterráneos representan un alto riesgo en todas sus etapas.

Así, por ejemplo, existen estratos de suelo que presentan variaciones bruscas de un punto a otro, lo que hace que la estabilidad de los mismos durante las excavaciones presente un alto riesgo por posibles derrumbes. La presencia de ríos y lagunas en la cercanía del proyecto igualmente incrementa el riesgo de que se presenten inundaciones durante las excavaciones, situación que se puede agravar si los estratos de suelo son altamente permeables, o inclusive puede hasta darse el caso de que se tengan huecos o cavernas en el subsuelo.

La gestión de riesgos implica entonces que todas las situaciones desfavorables sean previstas, incluyendo los eventos más remotos, tales como sismos, tormentas, huracanes, etc.

Por tal razón, también será necesario considerar que estas situaciones podrían presentarse en cualquier momento, aun cuando se lleve a cabo una minuciosa y estricta tarea de prevención, y que por lo tanto se tendrá que planear y programar la manera en que se pueden afrontar dichas situaciones imprevistas, es decir, considerar inclusive cómo hacer intervenir la etapa de control de riesgos.

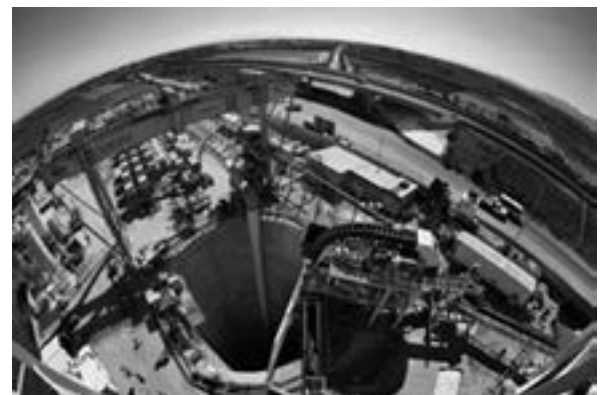
Atendiendo a los principios de la gestión de riesgos, es necesario y está justificado que se realicen los estudios preliminares necesarios para analizar y comprender el subsuelo donde se asentará el proyecto. Por otra parte, antes de iniciar la ejecución del proyecto, la empresa constructora deberá planear y programar las actividades que hayan resultado de alto riesgo, de tal forma que para el momento en que se lleven a cabo las tareas se puedan realizar en el tiempo pronosticado, con los recursos necesarios y en la obra. Esto significa que ya en la obra se habrá de retomar lo programado para continuar con las etapas de la organización y la dirección, y solo así se podrá evitar la improvisación de los trabajos y, en consecuencia, minimizar los riesgos laborales.

2. Lumbreras

Las lumbreras son accesos verticales o inclinados que sirven para realizar a través de ellos todas las operaciones auxiliares en la construcción de los túneles (fig. 1): excavación, ventilación, bombeo, rezaga, transporte vertical, instalaciones eléctricas y de aire comprimido, acceso de personal, etc. Las lumbreras sirven también para la captación de las aguas de colectores superficiales para llevarlos al drenaje profundo (Luna, 2010).

Las obras subterráneas del sistema de drenaje profundo y del Metro de la Ciudad de México, por su magnitud y por las características del subsuelo, han dejado grandes experiencias en la construcción de lumbreras en suelos blandos; esto ha permitido que en la actualidad las lumbreras se puedan construir con una planeación anticipada, y que se pueda contar con los análisis de riesgos laborales para minimizar los accidentes (Méndez et al., 2009).

Figura 1. Vista aérea de una de las lumbreras del túnel TEO



2.2. Procedimientos constructivos para las lumbreras

Las lumbreras construidas en la primera etapa del sistema de drenaje profundo, en los suelos blandos arcillosos de la zona de transición y de la zona de lago del subsuelo de la Ciudad de México, se realizaron con la técnica mexicana (Solum), con la técnica francesa (Soletanche), y otras dos con la técnica italiana (Icos). Los procedimientos son bastante parecidos, las excavaciones se realizan por sectores estabilizándose con lodo bentonítico; después, con un tubo *tremie* se vuelan los muros; para posteriormente excavar el núcleo y, al final, colar el fondo de la lumbrera.

Durante la ejecución de estas obras se presentaron innumerables problemas de carácter técnico, pero el cuidado que se tuvo en los procedimientos permitió llevar la construcción de lumbreras en arcilla a buen término. Esto a su vez ha servido de enorme experiencia en cuanto al conocimiento del comportamiento del subsuelo, característico del Valle de México (Monroyet *et al.*, 2010).

2.2.1. Técnica Solum

Esta técnica consiste principalmente en los siguientes pasos:

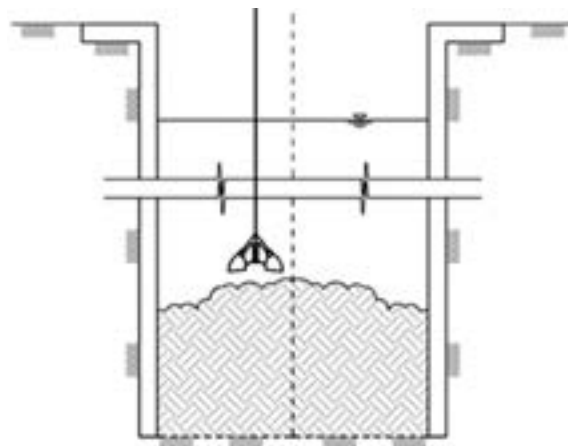
a) Después de marcar en el terreno el centro de la lumbrera y las fronteras del revestimiento, se subdivide el área en seis partes iguales, cada una con un ángulo central de 60° . Se realizan perforaciones de 0.60m de diámetro hasta la profundidad requerida en un sector anular, las cuales deben tener una separación entre sí de aproximadamente 0.50m, es decir, siempre dejando una parte del terreno de este sector sin perforar.

Todo se estabiliza por medio de un lodo con bentonita, y una vez terminada la perforación de un sector anu-

lar, se procede a la extracción del material remanente por medio de una almeja, siempre reemplazando el material extraído por cantidades iguales de lodo. Después de excavar este primer sector anular se procede al colado del mismo, que consiste en bajar el armado, colando concreto desde el fondo a través de un tubo *tremie*, desplazando el lodo de bentonita por diferencia de densidades. Se realiza este mismo procedimiento de excavación y colado para el siguiente sector anular en forma alternada, y así sucesivamente hasta terminar con la excavación y el revestimiento de las paredes de la lumbrera (Mooser, 2009).

b) Se excava el núcleo con una almeja hasta la profundidad en la que no se presentan todavía expansiones en el fondo por la descarga del suelo, esto de acuerdo con cálculos de mecánica de suelos y con las observaciones provenientes de la instrumentación y las mediciones. Al llegar a dicho nivel se suspenden los trabajos y se reemplaza el peso del material excavado por un volumen equivalente de agua para evitar el bufamiento. La excavación del núcleo se continúa extrayendo el material debajo del agua hasta llegar a la profundidad de diseño (fig. 2).

Figura 2. Excavación del núcleo



c) Inmediatamente después de terminar la excavación se procede al colado de una primera losa de fondo de concreto en forma de tapón o plantilla, dejándose fraguar lo suficiente. Después se limpia el azolve y se baja una parrilla de armado para colar una segunda losa de fondo bajo el agua. Una vez hecho esto, se extrae el agua dentro de la lumbrera bajando al personal necesario para sellar (calafatear) el tapón de fondo y evitar la entrada de agua o de material. Por último, se procede a colar el fondo definitivo de concreto reforzado y a su anclaje a los muros de revestimiento de la lumbrera (Paniagua, 2002).

2.2.2. Técnica Soletanche

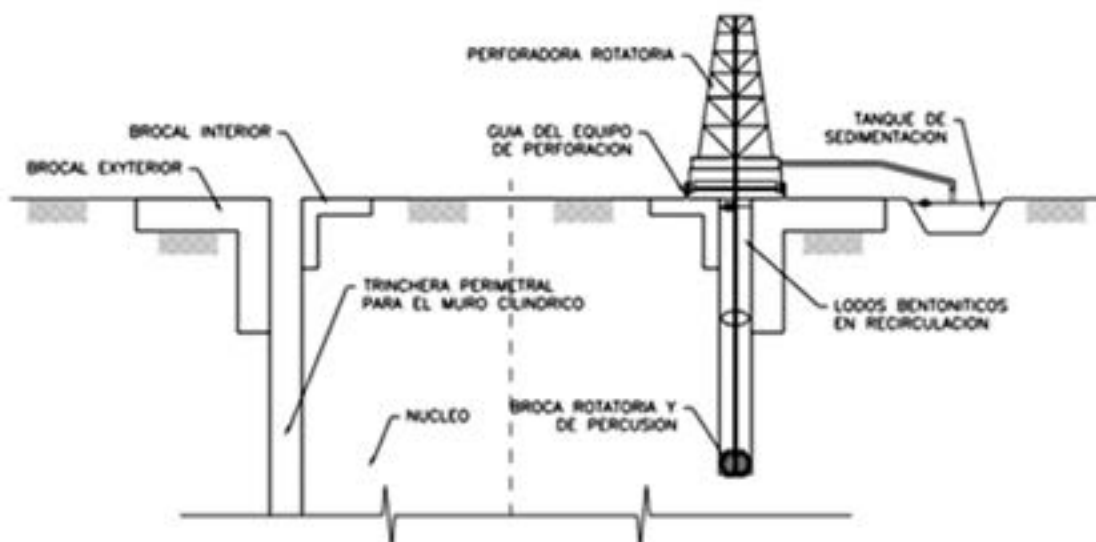
Este procedimiento es muy similar al anterior, con dos variantes principalmente:

a) La excavación del sector anular se realiza con un taladro barrenador guiado, colocado en la periferia de

la lumbrera y montado sobre una vía. Esta maquinaria extrae el material por medio de una broca rotatoria y de percusión (fig. 3). Al comenzar la excavación del material se inyecta, al mismo tiempo, lodo con bentonita desde el exterior. La broca tiene las funciones de licuar el material y de extraer esta mezcla de rezaga y bentonita por medio de una tubería de succión puesta dentro de la misma, depositando dicho material en un tanque sedimentador ubicado en la superficie, donde se recupera la mayor parte de la bentonita para inyectarla nuevamente. La maquinaria, además de su movimiento vertical-rotatorio, cuenta con un movimiento horizontal, lo que facilita la excavación de todo el sector anular al mismo tiempo.

Una vez terminada la excavación de este sector se ponen las parrillas de armado y se procede al colado del muro de la lumbrera con concreto a través de un tubo *tremie*, desplazando el lodo por diferencia de densidades (Trigo, 2009).

Figura3. Excavación de la trinchera principal



b) El mismo taladro realiza una perforación de mayor diámetro en los extremos del sector anular, donde se coloca una tubería que sirve de límite del sector en ambos extremos, para posteriormente realizar el colado con el procedimiento expuesto anteriormente. Una vez que el concreto ha fraguado lo suficiente, se retira la tubería y se procede a la excavación del siguiente sector, quedando la junta de colado.

Después de colar todo el muro de la lumbrera, se excava el núcleo empleando una almeja, y si no se presentan expansiones importantes, no es necesario estabilizar el fondo con agua o bentonita. Si a medida que avanza la excavación del núcleo de la lumbrera se encuentran escurrimientos fuertes por las juntas, se procede a hacer un barrenado para inyección de lechada.

2.2.3. Técnica de Icos

El procedimiento de construcción con esta técnica es el siguiente:

a) Antes de comenzar la perforación de los muros de la lumbrera se marca sobre el terreno un hexágono, circunscribiendo a un círculo cuyo diámetro es de 9 m, en donde posteriormente irían los muros rectos del revestimiento primario hasta la profundidad deseada (40 m máximo). En la parte exterior se construye un brocal de concreto para poder colocar la máquina perforadora y la almeja (Auvinet, 2006).

b) Posteriormente se realizan perforaciones de 0.60 m de diámetro hasta la profundidad deseada, sustituyendo el material con lodo de bentonita. Las perforaciones tienen entre sí una distancia aproximada de 2 m y siempre coinciden con las esquinas de los lados del hexágono. El material que se deja entre las perforaciones es extraído por medio de una almeja, estabilizando las paredes con lodo bentonítico.

Hecho todo esto, se baja el armado en tramos de 12 m (2 lechos), uniéndolos entre sí por medio de un traslape de 1.50 m. El colado de los muros de la lumbrera se realiza con tubería *tremie*, el concreto va desplazando el lodo por diferencia de densidades hasta finalizar con el colado de una de las paredes del revestimiento primario, continuando con las siguientes, hasta completar el hexágono.

c) Detalle de la junta de colado. Después de colar las paredes del hexágono se excava, a base de pico y pala, una corona circular de 1.40 m de altura para hacer más rígida la parte superior de la lumbrera, colándose monolíticamente junto con el primer anillo del revestimiento secundario. La altura de este primer anillo es de aproximadamente 2 m, con un espesor mínimo de 0.40 m, y su armado es integral con respecto al de la corona, anclándose a la pared del hexágono.

Cuando el concreto de la corona y del anillo ha fraguado, se retira la forma metálica que había sido utilizada como cimbra y se excavaba el núcleo de la lumbrera hasta una profundidad de 3 m, medidos a partir del paño inferior del primer anillo. Esto se realiza con el fin de colar en las esquinas de las paredes del hexágono unas pequeñas columnas cuyo armado se ancla al de las paredes del revestimiento, y que sirve para disminuir las filtraciones, separar los anillos y proporcionar mayor rigidez a la estructura. Estas columnas presentan una altura de 3 m (fig. 4).

d) Este mismo procedimiento se repite hasta llegar a una profundidad de 25m (fig. 5). A partir de este nivel, el revestimiento es continuo, es decir, ya no se colaron columnas en las esquinas sino que los anillos se continuaron hasta llegar al fondo. En ninguna de las dos lumbreras construidas con esta técnica se presentaron bufamientos importantes del fondo mientras se construían. Después de bombear el agua que queda dentro de la lumbrera, se procede a colar

el fondo, teniendo en cuenta que se optó por hacerlo cóncavo para tener mejores condiciones para resistir las presiones. El armado del revestimiento secundario se ancló por medio de soldadura, con un espesor mínimo de 0.80 m.

Ver figura 5, siguiente página

2.2.4. Técnica Ipsa

Esta técnica fue usada en una lumbrera que se encontraba localizada, en sus primeros 23 m de profundidad, en arcillas características del Valle de México, y en la profundidad restante, en una roca basáltica muy fracturada. La geometría de esta lumbrera fue

muy particular, por ser la que recibía por superficie el agua del gran canal, y que por la parte inferior daba salida al túnel del interceptor del oriente.

El procedimiento constructivo empleado consiste en lo siguiente:

a) Localizado el eje de la lumbrera, se procede a marcar en el campo un polígono de 16 lados iguales. La longitud de cada uno de los lados del polígono es la abertura máxima de la almeja, con la que se excavan los muros de la lumbrera sustituyendo el material por lodo bentonítico. Al igual que en las anteriores técnicas, se excava a mano el brocal, que sirve de guía para la herramienta de excavación y para evitar cualquier desprendimiento de sus paredes.

Figura 4. Columna, primer anillo y primera serie de columnas

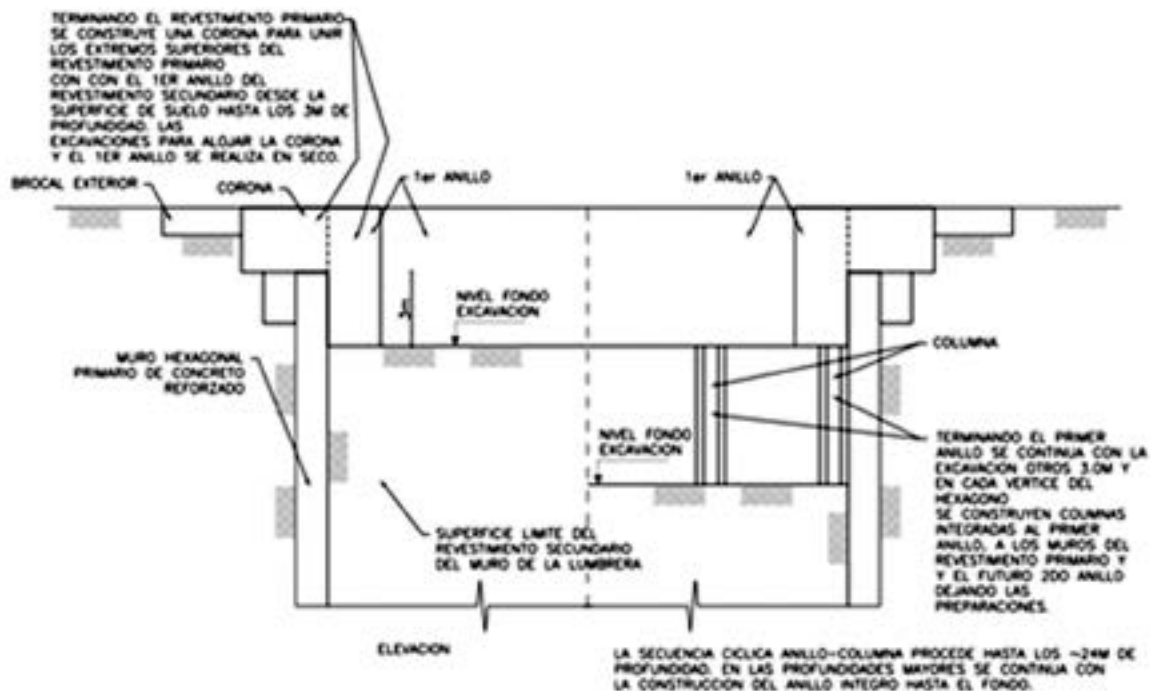
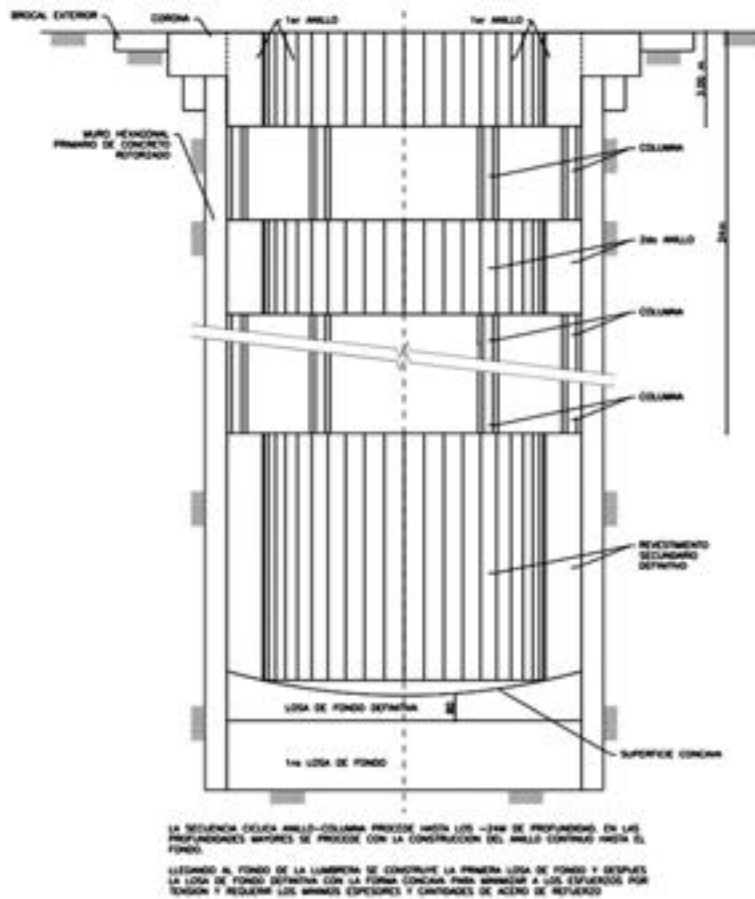


Figura 5. Secuencia del proceso constructivo



b) El procedimiento de excavación de los tableros de la lumbrera fue el siguiente:

- Excavación del tablero 1.
- Colocación del armado de acero de refuerzo de la primera columna.
- Colado de la columna bajo lodo bentonítico utilizando un tubo *tremie*.
- La misma secuencia se aplica para los tableros restantes, solo que por seguridad se procede de manera tal que los tableros no sean contiguos.

2.2.5. Lumbreras flotadas con el método Cravioto

En 1969 los ingenieros Jorge Cravioto y Abel Villareal patentaron el método para construir lumbreras por flotación, el cual ha permitido construir, con seguridad y eficiencia, más de 20 lumbreras en las arcillas blandas de la Ciudad de México. Las dimensiones máximas han sido de 19 metros de diámetro y 30 metros de profundidad; los lapsos constructivos han

variado entre 4 y 6 meses. Las distintas etapas del procedimiento constructivo comprenden lo siguiente:

a) Construcción de brocales:

Se construyen dos brocales de concreto reforzado que conforman un polígono de 10, 12 o más lados, que circunscribe al diámetro de la lumbrera más una cierta holgura, para dar la guía y garantizar la verticalidad de la excavación de los tableros de la zanja anular. En los vértices del polígono se realizan perforaciones de 45 cm de diámetro con máquina y hasta la profundidad de desplante de la lumbrera, manteniéndolas llenas con lodo bentonítico.

b) Excavación de la zanja anular:

Los tableros de la zanja anular se distribuyen uniformemente con el fin de excavarlos de manera alternada con un equipo de almeja guiada, hasta alcanzar la profundidad del proyecto. Durante la etapa de extracción de suelo en la zanja perimetral, el volumen de material desalojado se sustituye constantemente por un lodo bentonítico de ciertas características especificadas, manteniendo siempre su nivel por lo menos a un metro abajo del brocal para garantizar la estabilidad de las paredes de la excavación.

c) Excavación del núcleo:

Terminada la zanja perimetral, se demuele el brocal interior y se procede al retiro del núcleo central de suelo con almeja. La estabilidad de la excavación se logra manteniéndola siempre llena con bentonita recirculada y sometida, continuamente, a un control de densidad muy riguroso.

Se habilita y construye un tanque metálico reforzado internamente y descubierto en su cara inferior, con un diámetro ligeramente mayor al exterior de la propia lumbrera, que presenta además una serie de

tuberías colocadas en el centro del tanque, y cuatro líneas distribuidas en su perímetro, con el fin de manejar los respectivos procesos de inmersión a través de la inclusión y el desalojo del aire en el interior, lo que motiva que sea hermético en todas sus uniones soldadas.

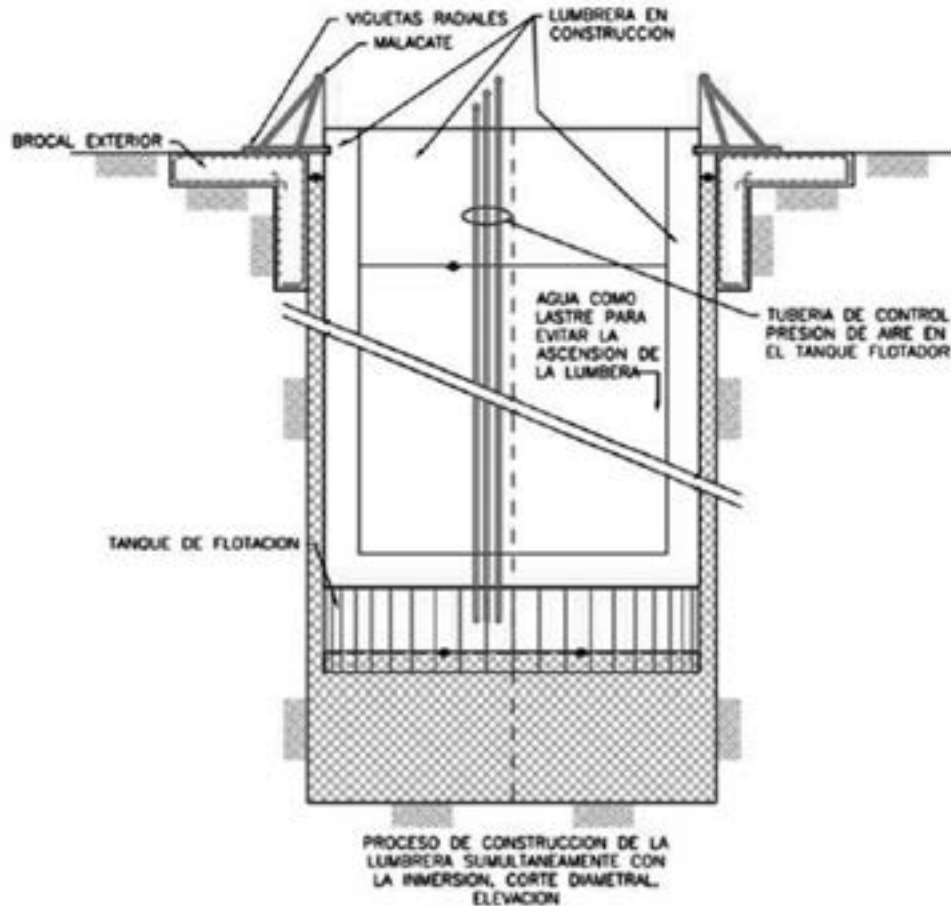
d) Construcción e inmersión de la lumbrera:

A continuación, se coloca el tanque metálico sobre la superficie del lodo, para que flote en posición invertida, sosteniéndolo del brocal exterior mediante viguetas metálicas y cuatro malacates con poleas de carga, para que de esta manera se convierta en un área de trabajo sobre la cual se colocan el acero de refuerzo para la losa de fondo y parte de los muros de la lumbrera, procediendo posteriormente a cimbrar perimetralmente el tramo respectivo con una altura próxima a los 2.0 m y a realizar el colado correspondiente para su construcción consecutiva.

Terminada la primera etapa de colado, se inyecta aire en el interior del tanque metálico para propiciar su flotación y retirar así el sistema de viguetas radiales de sostenimiento. De esta manera queda listo para iniciar la primera inmersión respectiva, provocada al desalojar de una forma controlada el aire atrapado en el interior del tanque.

El descenso de la estructura tanque-lumbrera es guiado a través de los cuatro malacates que permiten su ajuste en caso de que sea necesario, sumergiéndose hasta que la sección del muro esté al nivel del brocal para detenerlo nuevamente con las viguetas radiales, y proseguir con el siguiente tramo de armado, cimbrado, colado y descenso respectivo. Este proceso se repite cuantas veces sea necesario hasta colocar el tanque sobre el fondo de la excavación (fig.6), procediendo a construir las traveses de liga entre el muro de la lumbrera y el brocal exterior.

Figura 6. Proceso constructivo por tanque de flotación



Cabe hacer notar que durante el ciclo de colados e inmersiones el empuje de flotación tiende a ser mayor que el peso del conjunto ya construido, por lo cual llega a ser necesario colocar un lastre adicional en el interior de la lumbrera con un volumen de agua o lodo, a fin de ayudar a las inmersiones de la estructura.

e) Relleno de la zanja anular:

A través de las tuberías instaladas en el tanque de flotación y prolongadas hasta la parte superior de la lumbrera, se rellena con mortero el interior del tan-

que de flotación; asimismo, mediante diversas líneas de tuberías *tremie*, instaladas perimetralmente, se rellena el espacio anular entre el muro de la lumbrera y la pared de la excavación, con el fin de proporcionar un confinamiento adecuado y evitar la flotación de la estructura en el momento de desalojar el lastre. Después del fraguado del mortero del relleno perimetral se retira el agua del interior de la lumbrera y se construye la losa de fondo definitiva (Orduño *et al.*, 2010).

2.3. Riesgos laborales en la construcción de las lumbreras

Una vez descritos los diferentes procedimientos de construcción para lumbreras, se puede apreciar que de manera general el método a elegir dependerá en gran medida de las propiedades del terreno, y por ello, como primer punto, es indispensable contar con los estudios preliminares del subsuelo y de manera particular en la zona donde se pretende construir cada una de las lumbreras.

2.3.1. Análisis de riesgos laborales en la construcción de lumbreras

La Normativa Oficial Mexicana (NOM 031-STPS-2011, en su apartado 5.3) exige que los patrones del sector de la construcción cuenten con los análisis de riesgos potenciales para todas y cada una de las actividades que han de llevar a cabo. Los análisis de riesgos se definen como los documentos que contienen las características de la obra de construcción y los riesgos asociados a cada una de las actividades que se desarrollan en esta, así como las medidas preventivas para cada riesgo identificado.

Para tal efecto, se cuenta con un esquema en el que se plantean, para cada una de las actividades y cada uno de los procesos, los peligros y riesgos potenciales, permitiendo obtener al final el grado de riesgo para la actividad.

Cabe mencionar que este tipo de análisis tiene poca validez si no se cuenta con:

- Experiencia en los trabajos a realizar (tipo de proyecto)
- Experiencia en seguridad laboral
- Compromiso y sinceridad con la seguridad laboral

En los esquemas recomendados para el análisis de riesgos (tabla 1) se deben considerar principalmente:

- El número de personas expuestas al riesgo
- La existencia de procedimientos constructivos
- La existencia de capacitación en materia de prevención de riesgos
- La cantidad de veces que el trabajador se expone al riesgo
- El grado de lesión que se podría producir en el trabajador

Tabla 1. Esquema para el análisis de los riesgos potenciales

Indices	Probabilidad				
	Personas expuestas	Procedimientos existentes	Capacitación	Exposición al riesgo	Severidad
1	De 1 a 3	Son satisfactorios	Satisfactoria	Baja (1 vez al año)	Lesiones sin requerir incapacidad
2	De 4 a 12	No son satisfactorios	No es satisfactoria	Media (1 vez al mes)	Lesiones con incapacidad
3	Mas de 12	No existen	No existe	Alta (diariamente)	Lesiones con daños irreversibles

En el mismo esquema para el análisis de riesgos, al final se llega a un puntaje que se puede trasladar al grado de riesgo potencial al que estarían expuestos los trabajadores. Estos grados de riesgo se van clasificando desde triviales hasta intolerables (tabla 2); por lo tanto, si los análisis se realizaron con profesionalismo y sinceridad (sin ánimo de ocultar el grado de riesgo), estos deben ser una herramienta indispensable en la prevención de riesgos laborales.

Es necesario mencionar que igualmente es importante que a los responsables del área de seguridad e higiene laboral se les brinde la autoridad y el respaldo en el campo de acción, empezando por proporcionar los equipos de protección individual (EPI's), de acuerdo a la actividad que se vaya a desarrollar, con la calidad especificada en la normatividad y para cada uno de los trabajadores que han de participar.

Tabla 2. Grado de riesgo de acuerdo al puntaje obtenido en el análisis

Puntaje	Grado del riesgo
4	Trivial (T)
De 5 a 8	Tolerable (TO)
De 9 a 16	Moderado (M)
De 17 a 24	Importante (I)
De 25 a 36	Intolerable (IN)

A continuación, se muestra el análisis de riesgos potenciales para las principales actividades que se llevan a cabo durante la construcción de lumbreras.

- a. Actividades preliminares (tabla 3, siguiente página). En esta actividad intervienen principalmente el trazo y la nivelación; los trabajos se desarrollan a nivel del piso del terreno, por lo que el peligro predominante es la exposición directa a

las inclemencias del sol, pero igualmente puede representar un gran peligro la existencia de animales en la zona, por lo tanto se debe considerar todo lo que contiene o pueda conllevar la zona de trabajo (por ejemplo la delincuencia, que en México es un grave problema social).

- b. Construcción de brocales. Los brocales son estructuras de concreto que sirven de guía vertical para que el equipo de excavación pueda ser alineado. Por ello, se requiere de uno exterior y otro interior. Estos trabajos se desarrollan iniciando a nivel de terreno y hasta profundidades de 2m, por lo que los peligros más comunes son la exposición directa al sol, el uso de herramientas y el levantamiento de cargas que pueden resultar con riesgos para los trabajadores (tabla 4, siguiente página).
- c. Construcción de los muros Milán. Los muros Milán son paredes verticales de concreto, que normalmente forman tableros hexagonales. Estos muros generalmente se construyen de hasta 40 m de profundidad, y para ello se requiere contar primero con los brocales guía (fig. 7).

Figura 7. Trabajos necesarios para la construcción de los muros Milán



Tabla 3. Análisis de riesgos para las actividades preliminares

Actividad: actividades preliminares											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad						Probabilidad y severidad	Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)	Índice de severidad			
1. Trazo	Exposición al sol	Insolación	1	1	1	3	6	1	6	TO	Usar casco de ala ancha proporcionar agua
2. Nivelación	Exposición al sol	Insolación	1	1	1	3	6	1	6	TO	Usar casco de ala ancha proporcionar agua

Tabla 4. Análisis de riesgos para la construcción de los brocales

Actividad: Construcción de brocales											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad						Probabilidad y severidad	Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)	Índice de severidad			
1. Excavación hasta 2m de profundidad	Exposición al sol	Insolación y golpes	1	1	1	3	6	1	6	TO	Usar casco de ala ancha proporcionar agua
2. Armado de acero y colocación de concreto	Uso de herramientas y levantamiento de cargas	Golpes, cortes, machucones, lesiones en espalda	1	1	1	3	6	2	12	MO	Usar los EPI's

Los peligros más comunes en estos procesos son los movimientos que se requiere llevar a cabo con la maquinaria pesada (excavadoras con almeja guiada, grúas, cargadores frontales y camiones), el uso de equipos de soldadura y corte, las excavaciones abiertas, la manipulación de lodos bentoníticos y el izaje de las parrillas de acero de refuerzo (tabla 5).

d. Excavación del núcleo. Se considera núcleo al terreno natural que se localiza dentro del muro Milán y que debe ser extraído para dejar el hueco vertical (similar a un tubo), llamado lumbrera. Debido a que las tareas que se realizan son a doble altura (en una misma área se trabaja abajo y arriba), los peligros más comunes en estos procesos se presentan en el momento en que en el fondo de la excavación se encuentra la maquinaria realizando la actividad propia de la

excavación (retroexcavadora) y se requiere bajar y subir el cucharón o bote con el material excavado, por lo que se tiene el riesgo de que pueda caer material sobre los trabajadores en el fondo. Cabe mencionar que cuando las lumbreras se localizan en zonas donde existen corrientes subterráneas de agua, se tiene el riesgo de sufrir inundaciones o derrumbes repentinos (tabla 6, siguiente página).

e. Revestimiento primario. Para los casos en los que el terreno es firme o rocoso el procedimiento para las lumbreras cambia. En estas situaciones se excava directamente el núcleo hasta una profundidad promedio de 1.5m, se instala un anillo metálico circular o poligonal (que servirá como ademe) y se coloca concreto (lanzado a presión) con un espesor promedio de 30cm.

Tabla 5. Análisis de riesgos para la construcción de los muros Milán

Actividad: Construcción de muros Milán											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad					Índice de severidad	Probabilidad y severidad	Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)				
1. Excavación hasta 40m de profundidad	Uso de maquinaria	Atropellamiento, golpes, caídas	3	2	2	3	10	2	20	I	Capacitación y procedimientos constructivos
2. Armado y colocación de acero de refuerzo	Herramientas, soldaduras, cargas	Quemaduras, cortes, golpes, machucones	3	2	2	3	10	2	20	I	Capacitación y procedimientos constructivos
3. Colado de concreto	Equipos de concreto	Golpes, caídas, machucones	2	2	2	2	8	2	16	MO	Capacitación y procedimientos constructivos

Los riesgos más representativos en este proceso se tienen con el descenso del personal al fondo de la lumbrera, ya que aun cuando está prohibido el uso de las canastillas para el transporte de personal, la premura de los trabajos y la tolerancia de los encargados de la obra hacen que el personal se arriesgue (fig. 8). Por otra parte, el levantamiento de cargas y el lanzado de concreto también adquieren importancia en cuanto al grado de riesgo, aunque sin llegar a representar riesgos de fatalidades (tabla 7, siguiente página).

- f. Nivelaciones topográficas. Los trabajos de topografía son necesarios en toda la etapa de la construcción de las lumbreras (tabla 8), pero el grado de riesgo se incrementa considerablemente cuando los trabajos están avanzados a grandes profundidades y los topógrafos requieren hacer mediciones o fijar puntos en zonas de difícil acceso y sin protecciones (fig. 9).

Figura 8. Personal descendiendo con el uso de canastillas improvisadas



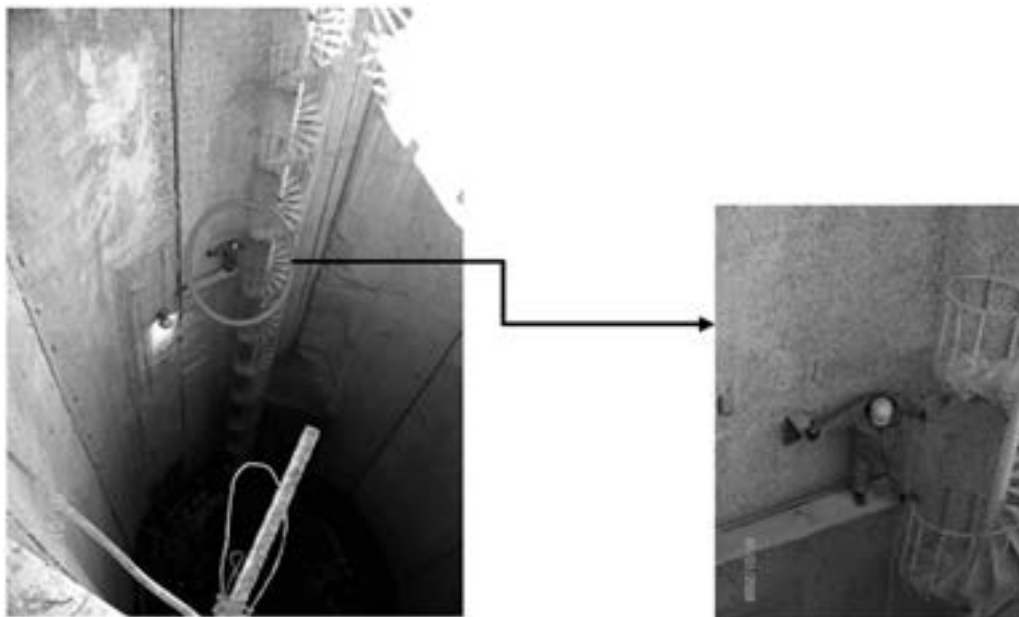
Tabla 6. Análisis de riesgos para la excavación del núcleo

Actividad: Excavación del núcleo											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad					Índice de severidad	Probabilidad y severidad	Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)				
1. Excavación con maquinaria en el piso de la lumbrera	Derrumbes o inundaciones	Aplastamiento, ahogamiento, golpes	1	1	1	3	6	3	18	I	Capacitación y procedimientos
2. Retiro de material fuera de la excavación	Caída de material	Aplastamiento, golpes	1	1	1	3	6	2	12	MO	Capacitación y procedimientos
3. Retiro del material hacia el tiro o depósito	Maniobras vehiculares	Atropellos, golpes	2	1	1	3	7	2	14	MO	Capacitación y procedimientos

Tabla 7. Análisis de riesgos para el revestimiento primario

Actividad: Revestimiento primario											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad							Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)	Índice de severidad	Probabilidad y severidad		
1. Colcoación de anillos metálicos	Levantamiento de cargas	Golpes, caídas, machucones	2	1	1	3	7	1	7	TO	Uso de equipos de izaje
2. Lanzado de concreto	Equipos de alta presión	Golpes, caídas, quemaduras en piel, intoxicaciones	2	1	1	3	7	2	14	MO	Capacitación y uso de ropa y mascarillas especiales

Figura 9. Trabajador realizando actividades de topografía



- g. Losa de fondo. Las losas de fondo son estructuras de concreto con acero de refuerzo que se construyen, una vez excavado el núcleo, en el fondo o piso de la lumbrera. Dichas estructuras requieren un gran espesor (desde 1m hasta 5m) para equilibrar las subpresiones que existen por debajo de las mismas, dependiendo de la profundidad, las condiciones del terreno y la presencia de corrientes subterráneas de agua. Los procesos que son necesarios y representan alto riesgo son principalmente la presión de corrientes subterráneas de agua, la bajada del acero de refuerzo y el propio colado del concreto (descenso del material).
- h. Revestimiento definitivo de las lumbreras (tabla 10, siguiente página). Consiste en una estructura formada por concreto y acero de refuerzo, que refuerza la pared primaria (revestimiento primario). Los riesgos que se presentan en estos trabajos son muy altos, dado que el personal debe trabajar a grandes alturas para conformar las parrillas de acero que formarán el muro definitivo (fig. 11, siguiente página).

Para este tipo de actividades, que representan alto riesgo (tabla 9, siguiente página), en especial para los procesos 1 y 3, no se debe autorizar el inicio de los trabajos hasta que se demuestre con evidencias

Otro riesgo y también de grado alto se tiene presente con las maniobras necesarias para el montaje de la plataforma que servirá como cimbra deslizante (fig. 12, siguiente página).

Tabla 8. Análisis de riesgos para nivelaciones topográficas

Actividad: Nivelaciones topográficas											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad					Índice de severidad	Probabilidad y severidad	Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Índice de personas expuestas	Índice de procedimientos existentes	Índice de capacitación	Índice de exposición al riesgo	Índice de probabilidad (suma de los índices)				
1. Nivelaciones verticales y horizontales	Trabajos en alturas	Caídas	1	2	2	3	8	3	24	Usar arnés y línea de vida	

Tabla 9. Análisis de riesgos para losas de fondo

Actividad: Losa de fondo											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad						Grado del riesgo	Medidas propuestas	
			Indice de personas expuestas	Indice de procedimientos existentes	Indice de capacitación	Indice de exposición al riesgo	Indice de probabilidad (suma de los índices)	Indice de severidad			
1. Bajada de acero al fondo de la lumbrera	Cargas en movimiento a gran altura	Aplastamiento, golpes	2	2	2	3	10	3	30	IN	Capacitación y procedimientos
2. Armado de parilla	Espacios confinados	Golpes, cortes, machucones	2	1	1	3	7	1	7	TD	Capacitación y procedimientos
3. Colado de concreto	Tubería a alta presión	Aplastamiento, golpes	3	2	2	2	9	3	27	IN	Capacitación y procedimientos

Figura 10. Estructura para la losa (izq.) e instalación de tubería para el colado de concreto (der.)



Figura 11. Trabajadores armando las parrillas de acero en alturas

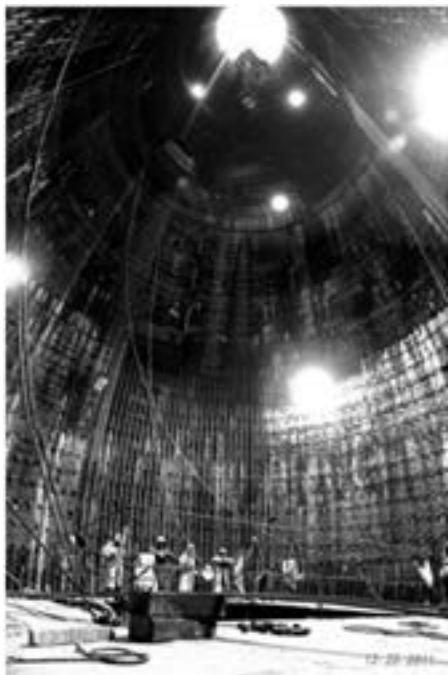


Figura 12. Maniobra para el montaje de la cimbra deslizante



Tabla 10. Análisis de riesgos para el revestimiento definitivo

Actividad: Revestimiento definitivo											
Proceso	Peligros	Riesgos	Probabilidad							Grado del riesgo	Medidas propuestas
			Indice de personas expuestas	Indice de procedimientos existentes	Indice de capacitación	Indice de exposición al riesgo	Indice de probabilidad (suma de los indices)	Indice de severidad	Probabilidad y severidad		
1. Armado de acero	Trabajos a gran altura	Caidas, golpes, cortes	3	2	2	3	10	3	30	IN	Capacitación y procedimientos
2. Montaje de la plataforma (cimbra)	Maniobras de izaje	Aplastamientos, caídas	3	2	2	1	8	3	32	IN	Capacitación y procedimientos
3. Retiro de la plataforma	Maniobras de izaje	Aplastamientos, caídas	3	2	2	1	8	3	32	IN	Capacitación y procedimientos

3. Observaciones

Como se puede observar, cuando en el análisis de riesgos se detecta que la actividad a realizar involucra riesgos altos, es decir de tipo intolerable (IN), las recomendaciones van en el sentido de que es indispensable contar con los procedimientos constructivos en los cuales se debe incorporar igualmente una planeación para las actividades, de tal forma que se minimicen los riesgos. Por otra parte, la capacitación para los trabajadores se proporciona de manera muy limitada, en muchas ocasiones se limitan a realizar pláticas de cinco minutos, antes de iniciar la jornada de trabajo (fig. 13).

Figura 13. Pláticas de cinco minutos a las 7:00 a.m.



Cuando los resultados de los análisis de riesgos para ciertas actividades resulten intolerables, estas no deben realizarse si no se cuenta con las autorizaciones para la ejecución de los trabajos. Con ello se pretende que en la misma obra se involucren los encargados del proyecto, el personal de seguridad e higiene y los mismos trabajadores que habrán de intervenir, y así minimizar los posibles riesgos.

Cabe mencionar que los análisis siempre deben ir más allá de un simple llenado de formatos. Se deben analizar inclusive las posibles situaciones eventuales, como los sismos, fuertes vientos, huracanes, tormentas eléctricas, problemáticas sociales en la zona de la obra, la presencia de corrientes de agua subterráneas, etc. (fig. 14). De esta manera, no solo se evitarán afectaciones al personal, sino también posibles retrasos en el proyecto.

Figura 14. Inundación de una de las lumbreras por filtraciones



4. Conclusiones

Aun cuando se ha hecho notar que los análisis de riesgos son una herramienta indispensable en las áreas de seguridad e higiene, muchas empresas siguen considerando que la prevención de los riesgos laborales solo representa un gran gasto, y no lo ven como una inversión, lo que origina que los análisis de riesgos sean igualmente un simple requisito por cumplir y no una oportunidad de poder evitar riesgos de accidentes en las obras.

Aunado a lo anterior, en las empresas se ha dado que se contrata personal que no cumple con el perfil para ser el responsable de la seguridad de los trabajadores. En muchas de las empresas aún se tiene la falsa idea de que la seguridad de los trabajadores es solo responsabilidad de ellos, y se piensa más en cómo actuar después de que suceda un accidente en lugar de prevenirlo. Muestra de lo anterior es que durante la construcción del Túnel Emisor Oriente se observó que el personal responsable de la seguridad laboral directamente en la obra tenía una formación como bombero y/o paramédico.

Ciertamente, la cultura laboral que prevalece en las obras de construcción muestra una tendencia hacia los comportamientos inseguros y muchas veces hasta parecería que disfrutaban ir en contra de las reglas; los trabajadores se resisten a usar los EPI's con el pretexto, por ejemplo, de que les estorban.

Otro factor que impacta de manera negativa a la seguridad laboral es el tiempo disponible y casi siempre ajustado para la ejecución de los proyectos de construcción. Esta situación hace que hasta los mismos directores de los proyectos justifiquen los actos arriesgados en los procesos.

La seguridad laboral en las obras de construcción, aunque sigue mostrando deficiencias, ha mejorado mucho en comparación con años anteriores. Ciertamente, aún falta mucho por hacer y solo se podrá esperar avances y resultados significativos si a la prevención de riesgos laborales se le da el debido respaldo desde los altos niveles, empezando por las autoridades gubernamentales, los sectores patronales, los sindicatos de los trabajadores, los clientes y por supuesto los empresarios.

Internamente, en las empresas constructoras se debe considerar la prevención de riesgos laborales desde

un punto de vista sistémico, según el cual todos deben involucrarse de manera participativa. De este modo se podrán planear los procedimientos constructivos conjuntamente con el área de seguridad e higiene, y lo más importante, que dichas estrategias se lleven a cabo en las obras.

5. Recomendaciones

El personal responsable de la seguridad laboral debe tener conocimientos acerca de los procedimientos constructivos para poder emitir recomendaciones y supervisar que los trabajadores no se expongan a riesgos de sufrir accidentes.

En cuestiones de seguridad laboral, en las empresas constructoras se debe pensar más en "prevenir" y no tanto en "actuar después de".

Definitivamente es necesario que los empresarios de la construcción vean el área de seguridad e higiene como un área de oportunidad y no como un gasto.

Es necesario que el personal encargado de la seguridad y la higiene muestre alto compromiso y entregue con su actividad y proteja a sus compañeros de trabajo.

La seguridad laboral en las obras de construcción solo podrá mejorar sustancialmente en la medida en que se capacite a los trabajadores, se predique con el ejemplo y se fomente la cultura de la prevención de riesgos.

Por último, todo lo mencionado anteriormente pone de manifiesto la urgencia de contar con directores de obra que, además de experiencia en construcción, cuenten con los conocimientos sólidos en gestión de proyectos, para poder planear, programar, organizar,

dirigir y controlar todas y cada una de las etapas y áreas involucradas en el proyecto.

6. Referencias

- Aguilar, M. (2011). *The New Mexico City deep sewerage system*. Roma: 7th International Symposium: Geotechnical aspects of underground construction in soft ground.
- Alberto, Y. (2010). *Anexo III. Análisis con elementos finitos (Plaxis) Lumbreira04 TEO-1-L-04-AGCL-A3*. México D. F. COMISSA.
- Auvinet, G. (2006). Notas del curso de Mecánica de Suelos Aplicada, Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Auvinet, G., y Rodríguez, J. F. (2010). *Análisis, diseño, construcción y comportamiento de obras subterráneas en suelo*. Acapulco: xxv Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica.
- Comisión Nacional del Agua. (2011). *Programa de sustentabilidad hídrica del Valle del México. Túnel Emisor Oriente*. Recuperado de www.conagua.gob.mx.
- Contreras, R. (2010). Propuesta conceptual para la construcción de lumbreras del Túnel Emisor Oriente. *Simposio sobre túneles y lumbreras en suelos y rocas*. Ciudad de México: Memoria Técnica, SMIG-AMITOS.
- Holguín, E., et al. (2010). Lumbreras profundas de gran diámetro en suelos de origen lacustre. *Simposio sobre túneles y lumbreras en suelos y rocas*. Ciudad de México: Memoria Técnica, SMIG-AMITOS.
- Juárez, M., et al. (2010). Caracterización geotécnica del subsuelo a lo largo del Túnel Emisor Oriente. *Simposio sobre túneles y lumbreras en suelos y rocas*. Ciudad de México: Memoria Técnica, SMIG-AMITOS.
- Luna, O. (2010). Consideraciones generales en la ingeniería geotécnica de túneles y lumbreras. *Simposio sobre túneles y lumbreras en suelos y rocas*. Ciudad de México: Memoria Técnica, SMIG-AMITOS.
- Méndez, R., et al. (2009). *Procedimiento constructivo Lumbreira04 TEO-1-L-04-PC-CL*. México D. F.: COMISSA.
- Monroy, R., et al. (2010). Mejoramiento de suelo con *jet grouting* para túneles de interconexión. *xxv Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Acapulco: Memoria Técnica, Vol. I. SMIG.
- Mooser, F. (2009). Geología del Túnel Emisor Oriente TEO-1/6-T/L-GEO. México D. F.: COMISSA.
- Orduño, V., et al. (2010). Confiabilidad de lumbreras realizadas por el método de flotación. *xxv Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Acapulco: Memoria Técnica. SMIG.
- Paniagua, W. (2002). *Manual de construcción geotécnica*. México D. F.: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos SMMS.
- Trigo, M. (2009). Bases de diseño para lumbreras TEO-1-L-04-BD-CL. México D. F.: COMISSA.