



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA
LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA**

Rocío Abigail Monterroso Duarte

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, agosto de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE
EXCAVACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROCÍO ABIGAIL MONTERROSO DUARTE

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Chistian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de mayo de 2015.

Rocio Abigail Monterroso Duarte



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 23 de mayo de 2017

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Rocío Abigail Monterroso Duarte, quien contó con la asesoría del Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. civil, Guillermo Francisco Melini Salguero
 Asesor y Jefe Del Departamento de Planeamiento



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
U S A C

/mrrm.





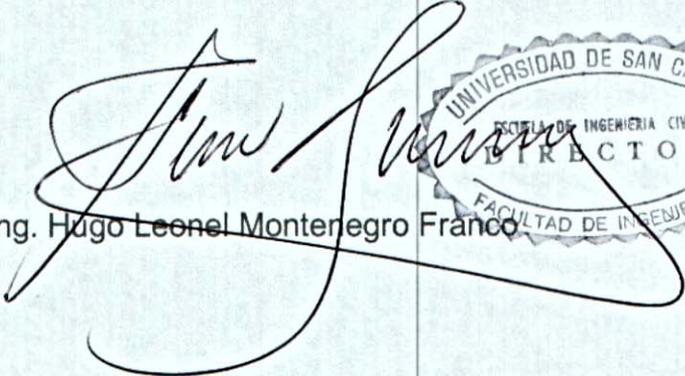
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Rocío Abigaíl Monterroso Duarte ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Monteregro Franco



Guatemala, julio 2017

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala

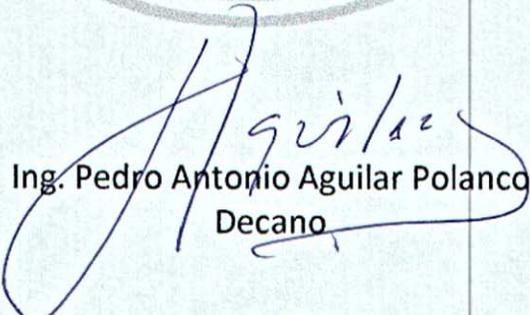


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 327.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS Y PREVENCIÓN DE RIESGOS EN EL PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA LA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA**, presentado por la estudiante universitaria: **Rocío Abigail Monterroso Duarte**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser Él quien me ha proveído de fuerzas, amor y consuelo a lo largo de mis estudios. Su fidelidad ha perdurado y perdurará por siempre.
- Virgen María** Por su intercesión desde el inicio hasta el final de mi carrera.
- Mis padres** Tomás Monterroso Siquibache y María Gloria Duarte Vielman, por su apoyo, oraciones y amor incondicional, por el sacrificio que realizaron para que pudiera culminar esta meta.
- Mis hermanos** Norma, Bélgica, Edwin y Thomas, por el apoyo y ánimo constantes, por la unión y el lazo de amor que nos une y ha fortalecido para cumplir nuestras metas.
- Mis sobrinos** Axel Antonio, Jonatan, Juan Pablo, Gloria Sofía, Mariam, Diego, Daniel, Angie, Sebastián, Isaac, Dasha, Ezequiel y Jacob, porque han sido siempre mi alegría, cada uno ha llenado de dulces momentos mi vida.

Mi comunidad

Undécima comunidad de la parroquia Sagrada Familia, por su apoyo, ánimo y oraciones.

Mención especial

José Meléndez, por siempre ser esa persona con la que puedo contar, y quien me ha apoyado en todo momento.

Mis amigos

José Ventura, Arístides Castro, Roberto Yela, Josué Escalante, Darvin Arandhy, Robin Maldonado, Ana Hernández y Cristian Nájera, por el apoyo, amistad y ayuda brindada durante el ciclo de estudios.

Mis amigas

Pilar Moscoso, Gabriela Pérez e Ingrid Peitzner, por su valiosa amistad, apoyo y cariño.

Mis cuñados

Axel Reyna, Miguel Tzoy, Silvia Hernández y Lourdes Duarte, por formar parte de esta meta alcanzada, por sus ánimos y apoyo brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|---|---|
| Universidad de San Carlos | Por los conocimientos obtenidos y por brindar un acceso a la educación profesional al servicio de Guatemala y su desarrollo. |
| Facultad de Ingeniería | Por la formación académica, y por cada ingeniero que compartió sus conocimientos al bien del aprendizaje de la carrera de Ingeniería Civil. |
| Ing. Guillermo Melini | Por el tiempo que ha dedicado en el asesoramiento del trabajo de graduación, por apoyarme y compartir sus conocimientos. |
| Instituto Nacional de Electrificación (INDE) | Por la ayuda e información brindada para la realización de este trabajo de graduación. |

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Torres de transmisión eléctrica.....	1
1.1.1. Torres de suspensión	3
1.1.2. Torres de retención.....	4
1.1.3. Torres de remate o terminal.....	5
1.2. Tipos de cimentación en torres de transmisión eléctrica	5
1.2.1. Cimentaciones superficiales	8
1.2.2. Cimentaciones profundas	11
1.3. Seguridad en la construcción	13
1.3.1. Factores que disminuyen los índices de accidentes.....	19
1.3.2. Efectos positivos de adoptar la seguridad en el trabajo.....	23
1.3.3. Rentabilidad de la seguridad	23
1.3.4. Programa de prevención de accidentes	24
1.3.4.1. Objetivos.....	24
1.3.4.2. Obligaciones y deberes de los coordinadores de seguridad	25

1.3.4.3.	Comunicación de lesiones y accidentes	26
1.3.4.4.	Parte típica de un procedimiento disciplinario.....	26
2.	ESTUDIO Y PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	27
2.1.	Estudio de seguridad y salud	27
2.1.1.	Documentos mínimos del estudio de seguridad y salud.....	28
2.1.1.1.	Memoria descriptiva	28
2.1.1.1.1.	Procedimientos	28
2.1.1.1.2.	Equipos técnicos y medios auxiliares	28
2.1.1.1.3.	Riesgos que pueden ser evitados.....	29
2.1.1.1.4.	Riesgos que no pueden eliminarse.....	29
2.1.1.1.5.	Condiciones del entorno.....	29
2.1.1.1.6.	Tipología de los materiales y elementos.....	29
2.1.1.1.7.	Características de los materiales y elementos.....	30
2.1.1.1.8.	Proceso constructivo	30
2.1.1.2.	Condiciones en función de las normas legales y reglamentarias.....	30
2.1.1.3.	Planos del desarrollo de las medidas de prevención.....	31

	2.1.1.4.	Mediciones de unidades de seguridad y salud definidos	31
	2.1.1.5.	Presupuesto de gastos previstos para la aplicación y ejecución del estudio de seguridad y salud	31
	2.2.	Plan de seguridad.....	32
	2.2.1.	Consideraciones generales	33
3.		EXCAVACION PARA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	35
	3.1.	Procedimientos de excavación	36
	3.1.1.	Excavación manual.....	37
	3.1.2.	Excavación con equipo mecánico.....	38
	3.2.	Evaluación de los riesgos y peligros al realizar excavaciones.....	39
	3.2.1.	Tipos de Accidentes	39
	3.2.2.	Evaluación de riesgos.....	40
	3.3.	Seguridad al excavar.....	41
	3.3.1.	Equipo de protección personal	53
	3.3.2.	Protección colectiva.....	54
	3.3.3.	Lista de comprobación.....	54
	3.3.3.1.	Antes de realizar los trabajos.....	55
	3.3.3.2.	Cuando se están ejecutando los trabajos.....	55
	3.3.4.	Plan de emergencia.....	55
4.		ESTUDIOS PREVIOS	57
	4.1.	Estudio geotécnico	57
	4.1.1.	Suelos cohesivos y suelos no cohesivos	59
	4.1.2.	Estratificación del terreno	59
	4.1.3.	Ensayos de laboratorio	60

4.1.3.1.	Permeabilidad	60
4.1.3.2.	Granulometría	61
4.1.3.3.	Consistencia.....	63
4.1.3.4.	Resistencia a corte del suelo.....	64
4.1.3.4.1.	Ensayo de compresión triaxial	64
4.1.3.4.2.	Ensayo de corte directo	65
4.2.	Estudio geológico.....	66
5.	MÉTODOS DE PROTECCIÓN PARA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO.....	67
5.1.	Sistemas de entibación	68
5.1.1.	Elementos que componen un sistema de entibación.....	69
5.1.1.1.	Tablaestacas	70
5.1.1.2.	Puntales	70
5.1.1.3.	Largueros	70
5.1.2.	Criterios básicos de diseño	71
5.1.2.1.	Envoltentes de presión	72
5.1.2.2.	Envoltente de presiones para cortes en suelos estratificados.....	73
5.1.3.	Materiales de entibación.....	74
5.1.3.1.	Madera	74
5.1.3.1.1.	Características generales de la madera para entibaciones.....	76
5.1.3.2.	Metal	76
5.1.4.	Tipos de sistemas de entibación	78

	5.1.4.1.	Entibaciones verticales	79
	5.1.4.1.1.	Grueso del tablero “E” ..	82
	5.1.4.1.2.	Grueso del cabecero	86
	5.1.4.1.3.	Diámetro mínimo del codal.....	88
	5.1.4.1.4.	Determinación de la presión radial para los tensores circulares	89
	5.1.5.	Empuje del suelo en función del diseño de la entibación	91
	5.1.6.	Seguridad en los sistemas de entibación	91
6.		TRABAJOS EN RECINTOS CONFINADOS	93
	6.1.	Riesgos generales.....	94
	6.2.	Riesgos específicos.....	94
	6.3.	Medidas preventivas.....	96
7.		PLAN DE SEGURIDAD ADOPTADO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y PELIGROS EN EXCAVACIONES PARA CIMENTACIONES DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.....	97
	7.1.	Objetivo	97
	7.2.	Reglamentos y normas a implementar	97
	7.3.	Alcance.....	98
	7.4.	Evaluación de riesgos.....	98
	7.5.	Medios humanos	100
	7.6.	Equipo de protección personal	101
	7.7.	Herramienta y equipo	104
	7.8.	Materiales	104
	7.9.	Protección colectiva.....	105
	7.10.	Metodología de trabajo	106
	7.10.1.	Trabajos previos	106

7.10.2.	Sistema de entibación	106
7.10.2.1.	Montaje del sistema de entibación	108
7.10.2.2.	Desmontaje del sistema de entibación	109
7.11.	Anexos	109
CONCLUSIONES.....		111
RECOMENDACIONES		113
BIBLIOGRAFÍA.....		117
ANEXOS.....		119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema eléctrico.....	2
2.	Torre de transmisión eléctrica	3
3.	Cimentación para una torre de transmisión eléctrica en una de sus cuatro patas	6
4.	Ejemplo de ubicación de zapatas aisladas.....	7
5.	Colocación de <i>stub</i> dentro de cimentación.....	8
6.	Cimentación con zapata y pedestal.....	9
7.	Cimentación con zapata y pedestal, donde la zapata no va armada	9
8.	Zapata anclada a roca.....	10
9.	Ejemplo de armado de cimentación para una de las patas de la torre de transmisión eléctrica	11
10.	Excavación para cimentación de estructura de soporte donde se encontró el nivel freático	12
11.	Pilas con campana.....	12
12.	Excavación para cimentación de una de las patas de torre de transmisión eléctrica.....	35
13.	Herramientas utilizadas para excavación manual	37
14.	Excavación manual	38
15.	Excavación en roca	39
16.	Colocación de refuerzo de cimentación dentro de excavación	41
17.	Ejemplo de delimitación y señalización	43
18.	Estructura de ascenso y descenso de material	44
19.	Distancia de colocación de material excavado.....	45

20.	Equipo de protección personal	54
21.	Estratigrafía de un sondeo	60
22.	Ejemplo de informe de ensayo triaxial	65
23.	Aplicación de esfuerzos para ensayo de corte directo	66
24.	Entibación realizada en suelo arenoso	68
25.	Elementos de un sistema de entibación	71
26.	Diagrama de esfuerzos que el suelo aplica a las entibaciones.....	72
27.	Diagrama de presión horizontal aparente en función de las cargas medidas en los puntales	73
28.	Envolvente de presión para arcillas y arenas	74
29.	Entibación con elementos de madera.....	76
30.	Partes que conforman un sistema de entibación metálica.....	77
31.	Corte vertical junto a cimentación	80
32.	Corte vertical junto a vial.....	80
33.	Simbología de entibación semicujada, aplicada a la tabla V	83
34.	Simbología de entibación cuajada, aplicada a la tabla VI	84
35.	Simbología de entibación cuajada, aplicada a la tabla VII	85
36.	Simbología aplicada a la tabla VIII.....	87
37.	Simbología aplicada a la tabla IX.....	87
38.	Simbología aplicada a la tabla X.....	89
39.	Simbología aplicada a la tabla XI.....	90
40.	Inspección de los sistemas de entibación.....	92
41.	Ventilación de un recinto confinado	96
42.	Casco de seguridad y barbiquejo.....	101
43.	Botas antideslizantes	101
44.	Chaleco de alta visibilidad	102
45.	Gafas de seguridad industrial	102
46.	Guantes de protección.....	102
47.	Colocación de arnés de seguridad.....	103

48.	Sistema de ascenso y descenso, con la correcta implementación de arnés y línea de vida	103
49.	Herramientas utilizadas para excavación manual	104
50.	Ejemplo de delimitación de área de trabajo	105
51.	Dimensiones de la excavación	107
52.	Perfil de sistema de entibación adoptado.....	107
53.	Planta de sistema de entibación adoptado.....	108
54.	Sistema de anclaje de las paredes de la entibación	109

TABLAS

I.	Tipos de suelo en función de la dureza y la herramienta a utilizar para realizar la excavación	58
II.	Ventajas y desventajas de una entibación en madera	75
III.	Ventajas y desventajas de una entibación metálica	78
IV.	Elección del tipo de entibación mínima en función del tipo de terreno	81
V.	Determinación de la separación vertical “S”	82
VI.	Determinación de la separación horizontal “A”	84
VII.	Determinación de la separación horizontal “S”	85
VIII.	Determinación de la separación vertical S para un pozo cuadrado con entibación semicuajada	86
IX.	Determinación de la separación vertical S para un pozo cuadrado con entibación cuajada	88
X.	Diámetro mínimo de codal.....	89
XI.	Valor mínimo de la presión radial Q	90
XII.	Empuje del suelo en función del tipo del suelo y profundidad de la excavación	91
XIII.	Relación entre las concentraciones de oxígeno, el tiempo de exposición y las consecuencias	95

XIV. Evaluación de riesgos98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
ϕ	Ángulo de fricción interna
cm	Centímetro
C	Cohesión
D	Diámetro
D	Diámetro mínimo del codal de entibación
d	Distancia medida desde cualquier eje de referencia
H	Empuje horizontal “H” en kilogramos de entibación
q	Empuje total del suelo en kilogramos sobre centímetro al cuadrado
fy	Esfuerzo de fluencia para el acero
σ	Esfuerzo normal
Ph	Fuerza horizontal
Pv	Fuerza vertical
E	Grueso del tablero de entibación
Kg	Kilogramos
Kv	Kilovoltios
m	Metro
mm	Milímetro
γ	Peso específico del suelo
σ_a	Presión aparente
P₁	Presión en el nivel 1

Q	Presión radial en kilogramo sobre centímetro cuadrado
P	Profundidad
A	Separación horizontal de entibación
S	Separación vertical de entibación

GLOSARIO

ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
Apuntalamiento	Reforzar las paredes de una excavación con puntales.
Barbiquejo	Accesorio que se adhiere al casco de protección personal, favorable para sujetar el casco por debajo de la barbilla, previniendo que el casco se caiga.
Cavado	Acción de levantar o mover la tierra utilizando herramienta menor.
Cieno	Suelo blando, tipo barro, que se deposita en sitios húmedos.
Cohesión	Capacidad de las partículas del suelo de permanecer juntas o unidas.
Disnea	Dificultad al respirar.
Entibación	Sistema de protección provisional, de madera, metal o aluminio, que contrarresta los esfuerzos inducidos por el suelo, cuando se realiza una excavación.
Hidrófilo	Elemento o material que absorbe agua con facilidad.

Izar	Ascender un objeto tirando de una cuerda.
Línea de vida	Equipo de protección contra caídas, consiste en una cuerda o cable de acero galvanizado, sujeta en un punto de anclaje, permitiendo el libre movimiento del trabajador.
Marga	Roca sedimentaria parecida a la roca caliza, compuesta de arcilla y carbonato de calcio.
NIOSH	Instituto para la salud y seguridad ocupacional.
NTE	Normas tecnológicas de la edificación.
NTP	Normas técnicas de prevención.
OSHA	Occupational Safety and Health Administration, es decir, Administración para la Seguridad y Salud Ocupacional.
Vial	Referido a caminos, carreteras y vías públicas.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación expone un análisis de riesgos y peligros que pueden ocasionarse por la falta de atención a los temas de seguridad en los trabajos de excavación manual. Se enfoca principalmente en excavaciones verticales, que son realizadas para las cimentaciones de torres de transmisión eléctrica. Las torres de transmisión eléctrica son estructuras de soporte de las líneas de cables, por donde es conducida la energía eléctrica y distribuida a donde es requerida.

Se dan a conocer los tipos de cimentaciones que van en función al tipo de suelo donde se instalará la torre. Cada tipo de cimentación conlleva diversos análisis, pero la base de la mitigación de riesgos que es realizada en esta investigación brinda un análisis completo que ayudará a realizar los planes de seguridad de cualquier tipo de excavación para la variedad de cimentaciones.

Como punto importante en el análisis de los riesgos al realizar excavaciones se encuentra el estudio de los suelos, ya que la capacidad portante del suelo dará un parámetro de la estabilidad de las paredes de la excavación. Por eso se detallan las características más importantes del suelo, como también se hace énfasis en saber interpretar los resultados de los estudios que se realizan, en función de poder tomar decisiones de los tipos de sistemas de entibación a implementar, si fuera necesario. Se enlistan las ventajas y desventajas de los materiales con los que son realizados los sistemas de entibación, esto con el fin de saber qué material es conveniente usar, después de analizar los riesgos.

OBJETIVOS

General

Realizar un análisis de los riesgos y peligros al llevar a cabo trabajos de excavación manual, para la cimentación de torres de transmisión eléctrica, creando un plan de seguridad como informe de estudio que los mitigue.

Específicos

1. Incentivar una cultura de seguridad en obra y adaptarse a todo lo relacionado con esta.
2. Analizar y enlistar los estudios necesarios para obtener las condiciones del suelo donde se realizan las excavaciones, con el fin de conocer su estabilidad.
3. Llevar a cabo un estudio de los riesgos que puedan darse en excavaciones a consecuencia de la pérdida de estabilidad del suelo.
4. Dar a conocer los sistemas de protección del suelo y sus procedimientos correspondientes.
5. Indicar el equipo de seguridad, señalización y documentos específicos necesarios para llevar a cabo las excavaciones de forma segura.

INTRODUCCIÓN

Crear una cultura de seguridad en el área de trabajo es de vital importancia hoy en día, más aún para el ingeniero civil, quien se dedica a la administración y ejecución de proyectos, tomando en cuenta la prevención de riesgos en obra, protegiendo así la vida de sus trabajadores.

Por la necesidad de proporcionar el conocimiento sobre prevención de riesgos, en el presente trabajo de graduación se desarrollará un análisis de riesgos para prevenir accidentes en la realización de excavaciones manuales, siendo el punto de estudio las excavaciones realizadas para las cimentaciones en torres de transmisión eléctrica, dando un aporte que puede tomarse como guía para realizar un adecuado plan de seguridad.

La excavación para las cimentaciones de torres de transmisión eléctrica es un proceso que, la mayoría de las veces, no es analizado, dando como resultado grandes índices de accidentes, debido a la mala implementación de los sistemas de protección del suelo, falta de conocimiento técnico, supervisión, equipo de protección, planificación de actividades e investigación de las normativas existentes. Por eso se realizará, como medio de mitigación y análisis de riesgos, un plan de seguridad, desarrollado desde su planificación y evaluación hasta su ejecución.

Las cimentaciones para torres de transmisión eléctrica suelen ser diferentes, en función del tipo del suelo donde serán realizadas, el cual influye de igual manera en el análisis de riesgos al realizar las excavaciones, por lo que se describen las características principales del suelo, tanto las proporcionadas

en el estudio de suelos como las encontradas en campo por los diversos métodos establecidos, para su posterior interpretación e implementación en el diseño de los sistemas de entibación, diseño que va en función tanto del tipo de suelo como de la profundidad de la excavación. También se detalla el análisis en espacios confinados para excavaciones profundas.

Por último, se detallan los conceptos básicos que ayudarán a realizar el análisis de riesgos en excavaciones para torres de transmisión eléctrica, los cuales informan y dan criterio al profesional competente para realizar el debido estudio.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Torres de transmisión eléctrica

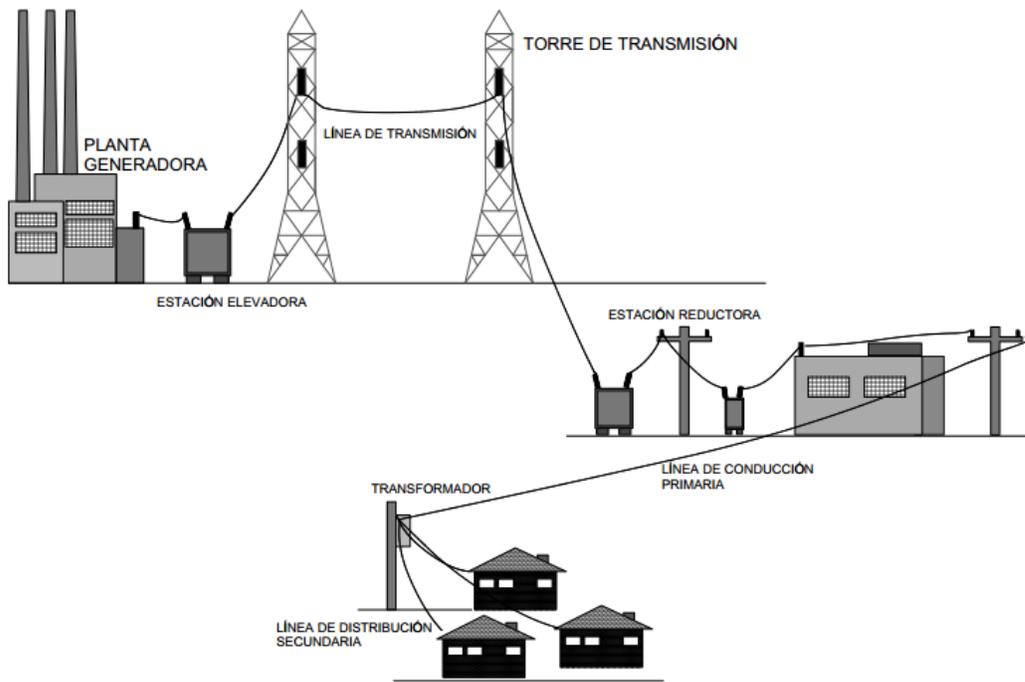
La energía eléctrica es un factor importante que marca la calidad de vida de los habitantes de un país. Es esencial para el desarrollo tecnológico y educativo, ya que impulsa el crecimiento económico por su costo y disponibilidad. Se obtiene de diversas maneras, ya sea por medio de centrales hidroeléctricas, en donde se aprovecha el movimiento y caída del agua, o por medio de energías renovables como la energía solar y la energía eólica (energía mecánica producida por el viento), entre otras fuentes de energía. La energía obtenida es transformada en energía eléctrica y al momento en que se produce la electricidad en las plantas es transportada, de manera inmediata, a los lugares de consumo donde es requerida, por medio de un sistema eléctrico.

Un sistema eléctrico está conformado por una planta generadora (sistema que produce la energía en corriente alterna), una estación elevadora, líneas de transmisión, estaciones reductoras, líneas de transmisión primaria y líneas de transmisión secundaria, como se muestra en la figura 1.

Dentro del sistema eléctrico se encuentran estructuras de soporte de los cables conductores de voltaje, en las líneas de transmisión, que pueden ser postes o torres. Los diseñadores de líneas de transmisión suelen encontrarse con obstáculos al momento de establecer la dirección por donde conducirán la línea de transmisión para llegar al lugar donde la energía es requerida.

Algunos de estos pueden ser: abarcar largas distancias, no intervenir en regiones donde existen siembras de cultivo, o bien la topografía del terreno, si es terreno plano o montañoso.

Figura 1. **Sistema eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Las estructuras de soporte, como los postes, tienen separaciones mínimas que se deben cumplir por norma, es por eso que se utilizan estructuras de soporte que permitan vanos de mayor longitud y den solución a esta problemática. Dichas estructuras son las torres metálicas de acero galvanizado, construidas de elementos ensamblados armadas *in situ* y destinadas a las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, como se muestra en la figura 2.

Las torres de transmisión eléctrica se clasifican por la posición que ocupan en la línea de transmisión y sus ángulos de desviación.

Es de mucha importancia conocer los tipos de torres, porque la profundidad de las cimentaciones, aparte de depender del soporte del suelo, dependen del tipo de torre que se instalará, y por lo tanto es de vital importancia conocerlo para poder mitigar el riesgo al realizar la excavación.

Figura 2. **Torre de transmisión eléctrica**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Torre No. 69, Escuintla, División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

1.1.1. Torres de suspensión

“Son las que soportan el peso de los cables, cadenas de aisladores y herrajes, además del viento transversal, siendo las tensiones longitudinales despreciables, son usadas en los tramos rectos de la línea de transmisión, son estructuras muy livianas.”¹

¹SEMBLANTES VÉLEZ, Marcelo Leonardo. *Diseño de una torre de transmisión eléctrica autosoportada para una línea de 69Kv*. www.bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2587/1/CD-3271.pdf. Consulta: 24 de junio de 2015. P. 4.

Este tipo de torre es utilizado cuando no existe un cambio de dirección en la línea, es decir que tienen una localización tangente. Además en este tipo de torre los cables y cadenas van suspendidos, es decir que se fija el conductor en la parte baja por medio de una grapa que cumple la función de pasador.

1.1.2. Torres de retención

“Soporta las mismas cargas que las torres de suspensión, además, este tipo de torre también tiene cargas transversales producidas por el ángulo entre los cables de llegada y los de salida, son usadas en los tramos donde se requiere un cambio de dirección en la línea de transmisión para sortear obstáculos como vías, montañas o poblados; estas torres necesariamente son más robustas que las torres de suspensión y por lo general tienen una apertura mayor entre las patas, para soportar el momento de volteo generado por los cables”.²

Las torres de retención dependen de la topografía del terreno y de cuando es necesario un cambio de dirección en la línea. En el punto de intersección pueden darse deflexiones mayores a 5 grados.

²SEMBLANTES, op. cit.

1.1.3. Torres de remate o terminal

“Son colocadas al inicio y al final de la línea de transmisión, soportan una carga longitudinal muy grande, la misma que genera un momento de volteo importante en el análisis, este tipo de torres son las más robustas de la línea y se debe tener especial cuidado en sus cimentaciones”.³

En las torres de retención y de remate los cables no van suspendidos sino anclados horizontalmente, por lo que estas torres también son conocidas como torres de anclaje.

1.2. Tipos de cimentación en torres de transmisión eléctrica

Las cimentaciones son construidas por debajo de la superficie del terreno y transmiten las cargas recibidas hacia el suelo, dando sustento y evitando asentamientos de la estructura soportada. Para eliminar los asentamientos de una estructura se debe transmitir la carga hacia un estrato del suelo, que puede estar a cualquier nivel, ya sea superficial o profundo, que tenga la resistencia suficiente para soportar dicha carga. Por esta razón existen dos tipos de cimentaciones: superficiales y profundas.

Para elegir el tipo de cimentación es necesario un estudio de suelos que de la información necesaria para conocer la capacidad de soporte del suelo, estudio que posteriormente será utilizado para analizar los posibles riesgos en el momento de realizar la excavación. En el diseño también se toman en cuenta las cargas que deberá soportar la cimentación, que están en función del tipo de torre a utilizar.

³Ibidem, p. 5.

El diseñador de la cimentación conoce cada una de las cargas, tanto las externas como las cargas consideradas por las características de cada tipo de torre, las que ya se explicaron en el inciso anterior. La cimentación de las torres de retención y las torres de remate o terminal, por la característica de cada torre, es más profunda que la de las torres de suspensión.

Conocer el tipo de cimentación es importante para obtener la información del sistema constructivo que se llevará a cabo en campo, con el cual se podrá saber el riesgo al que estarían expuestos, al momento de realizar la excavación, el trabajador o los trabajadores, y realizar así el cálculo del tiempo y tipo de trabajo que realizarán. En la figura 3 se puede observar una parte de la cimentación terminada para una de las patas de la torre de transmisión eléctrica.

Figura 3. **Cimentación para una torre de transmisión eléctrica en una de sus cuatro patas**

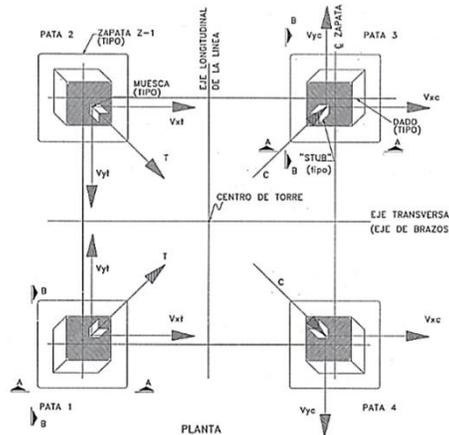


Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Interconexión eléctrica Guatemala-México. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

Debido a la separación que existe entre las patas de una torre, el tipo de cimentación debe ser aislada, como se muestra en la figura 4.

Los cimientos soportarán el momento de volteo producido por la condición de carga exterior más desfavorable.

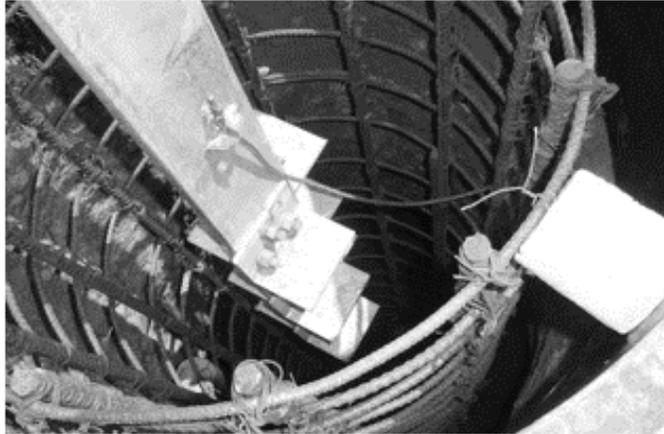
Figura 4. Ejemplo de ubicación de zapatas aisladas



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. *Planta de aplicación de cargas de zapatas ancladas a roca*. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

Fundido dentro de la cimentación es colocado el *stub*, que es un perfil de acero galvanizado, de varias dimensiones, dependiendo del proyecto, que transmite los esfuerzos de la estructura a la cimentación y al suelo. Los *stubs* deben quedar fijados a sus distancias, inclinaciones y niveles, como los planos lo indican. Este procedimiento se realiza con el mayor cuidado, debido a que, si estos son mal instalados, al momento de colocar la estructura de la torre, esta puede quedar expuesta a esfuerzos adicionales, como se muestra en la figura 5. Este es un procedimiento que se realiza posterior a la excavación, pero es uno de los trabajos que ponen en riesgo a los trabajadores si quedan expuestos dentro de la excavación por un tiempo prolongado.

Figura 5. **Colocación de *stub* dentro de cimentación**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Interconexión eléctrica Guatemala-México. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

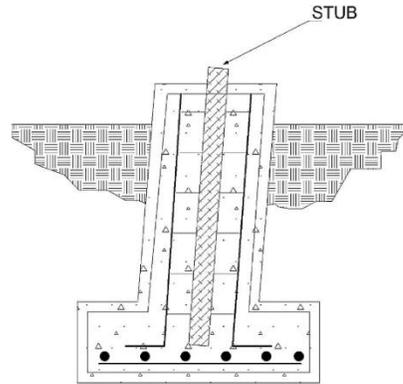
1.2.1. Cimentaciones superficiales

Tipo de cimentación que se utiliza cuando el soporte del suelo por debajo de la estructura es capaz de resistir las cargas a la que es sometido, por lo tanto, es suficiente distribuir la carga mediante zapatas, que pueden ser corridas o aisladas.

- Tipos de cimentaciones superficiales
 - Cimentación con zapata y pedestal

Fundición tradicional de concreto armado en forma de zapata y pedestal, de forma rectangular o cuadrada. El pedestal lleva una inclinación igual a la inclinación dada al *stub* según planos, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. **Cimentación con zapata y pedestal**

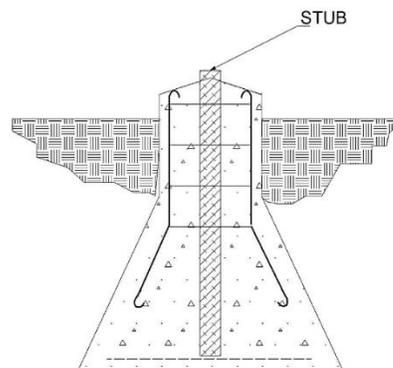


Fuente: elaboración propia.

- **Cimentación con zapata no armada**

Cimentación de concreto con refuerzo únicamente en el pedestal, es similar a la anterior con la diferencia de que la zapata no va armada. La elección de esta cimentación depende de criterios constructivos, es actualmente limitada a cimentaciones con escaso volumen de concreto y en caso de que el suelo este formado por roca sólida, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. **Cimentación con zapata y pedestal, donde la zapata no va armada**

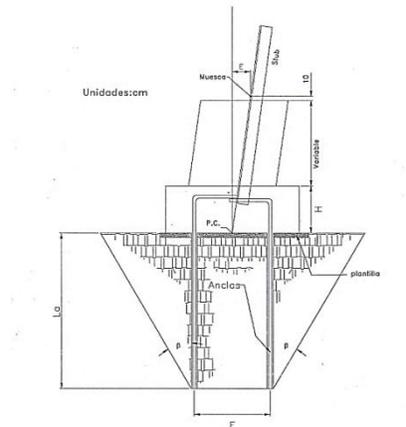


Fuente: elaboración propia.

- Zapatas ancladas a roca

Zapatas de concreto y anclas de fricción (varillas de acero de alta resistencia $f_y = 4\,200\text{ Kg/cm}^2$), requeridas para resistir íntegramente las cargas últimas de compresión, tensión y cortante, que cada una de las patas de la torre transmite a la cimentación. Es una solución de cimentación para las torres de transmisión localizadas en terreno rocoso, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Zapata anclada a roca**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. *Memoria básica de cálculo para cimentaciones ancladas a roca*. Interconexión eléctrica Guatemala-México. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

En la figura 9 se puede observar el armado para la cimentación de una de las patas correspondientes a una torre de trasmisión eléctrica, la cual se puede clasificar como una cimentación superficial, zapata y pedestal.

Figura 9. **Ejemplo de armado de cimentación para una de las patas de la torre de transmisión eléctrica**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Línea de transmisión 230 kv, Tac Tic-Guate Norte. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

1.2.2. Cimentaciones profundas

Cuando la capacidad portante de los estratos superiores del suelo no es suficiente para una cimentación superficial, y existen estratos más firmes a profundidades mayores, se utilizan pilas o pilotes que transmiten la carga hasta los estratos más profundos y de mayor firmeza. Este tipo de cimentación es utilizado también en terrenos con alto riesgo de inundación. “Las cimentaciones de algunas estructuras, como torres de transmisión, plataformas fuera de la costa y losas de sótanos debajo del nivel freático, están sometidas a fuerzas de levantamientos. Algunas veces se usan pilotes para estas cimentaciones y así resistir la fuerza de levantamiento.”⁴

⁴DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P. 472.

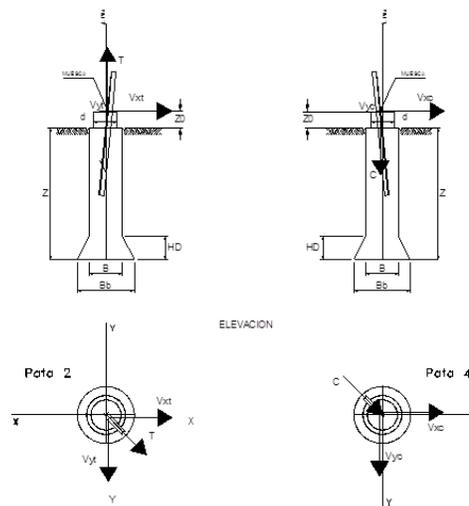
Figura 10. **Excavación para cimentación de estructura de soporte donde se encontró el nivel freático**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Línea de transmisión Escuintla-Cocales.
División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

Un tipo de cimentación profunda puede ser una pila acampanada utilizada para terrenos cohesivos y/o granulares, como se observa en la figura 11.

Figura 11. **Pilas con campana**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. *Memoria básica de diseño para cimentaciones a base de pilas cortas con campana*, Interconexión eléctrica Guatemala-México.
División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

“Las pilas de cimentación son pilotes colados *in situ* con diámetro de aproximadamente 750 mm (2,5 pies) o mayor, con o sin refuerzo de acero y con o sin pedestal. A veces el diámetro es tan pequeño como 305 mm (1pie).”⁵

1.3. Seguridad en la construcción

La seguridad en la construcción es un tema que actualmente ha dado un giro positivo, tanto en los procesos constructivos como en el resguardo de la vida de los trabajadores, brindándoles un ambiente de trabajo adecuado para el desarrollo de sus actividades. No tomar en cuenta una cultura de seguridad, por no invertir económicamente en esta, trae consigo factores negativos, como daños a la propiedad, como el mal uso de la maquinaria y herramientas, que puede poner en peligro al operario y averiar el equipo que este utiliza, incidentes causados por no mitigar los riesgos y estos, si no son detectados a tiempo, pueden llevar a la muerte del trabajador.

La seguridad en el área de trabajo no solo mitiga riesgos presentes y futuros, sino también ordena los procesos de ejecución, crea un ambiente seguro y, a muchas empresas, contar con una cultura de seguridad les da ventaja sobre otras. La seguridad pasó a ser de un enfoque sencillo de eliminación de agentes de lesión, por lo que ahora es muy frecuente observarle como un estudio complejo de control de daños.

Es importante mencionar que el derecho del trabajador en Guatemala avanzó considerablemente después de implementar el sustento a los trabajadores y sus familiares en caso de enfermedad o incapacidad, permanente o accidental, para trabajar.

⁵DAS, op. cit., p. 578.

Esto fue publicado en el Diario Oficial para su cumplimiento. Se dio el paso a las primeras manifestaciones del Código de Trabajo de la República de Guatemala, que contiene las medidas de higiene y seguridad en el trabajo, en el capítulo único, del Título Quinto:

“Art. 197. Todo patrono está obligado a adoptar las precauciones necesarias para proteger eficazmente la vida, la salud y la moralidad de los trabajadores. Para este efecto debe proceder, dentro del plazo que determine la Inspección General del Trabajo y de acuerdo con el reglamento o reglamentos de este capítulo, a introducir por su cuenta todas las medidas de higiene y de seguridad en los lugares de trabajo que sirvan para dar cumplimiento a la obligación anterior.⁶”

Mediante el ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, realizado en el 2014, se emitió el reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, en donde se regulan las condiciones de seguridad y salud para los trabajadores en la ejecución de sus labores, reglamento que es aplicable para el sector público, privado e instituciones autónomas, y que entró en vigencia el 8 de agosto de 2015. Este acuerdo contiene varios temas. Se extrajeron los más importantes, afines al tema de análisis y prevención en el proceso de excavación para torres de transmisión eléctrica:

- Obligación de los patronos

En los artículos 4, 5 y 6 se expone que los encargados de ejecutar los trabajos deben implementar las medidas de salud y seguridad ocupacional en las operaciones y procesos de trabajo, como también deben suministrar y dar uso y mantenimiento a los equipos de protección personal.

⁶ Congreso de la República de Guatemala. *Código de Trabajo*. Ayala Jiménez Editores, Guatemala, C.A. Pág. 46

Estos deben dar capacitación al personal y permitir a los inspectores de trabajo supervisar, para constatar que se cumple con el reglamento de seguridad y salud ocupacional, como también deben prohibir el ingreso a los trabajadores en estado de ebriedad o bajo influencia de cualquier narcótico o estupefaciente.

- Obligación de los trabajadores

En los artículos 8 y 9 se expone que los trabajadores deben cumplir con las recomendaciones técnicas respecto al uso y conservación del equipo de protección personal suministrado, así como normas de seguridad y salud ocupacional. Tienen prohibido negar y dañar el equipo que se les proporciona, presentarse en estado de ebriedad o bajo influencia de droga, presentarse sin la vestimenta y herramienta adecuada e ignorar las medidas de seguridad.

- Señalización

En los artículos 105 y 106 se expone que se debe implementar la señalización, cuando los riesgos no han podido ser controlados o minimizados con las técnicas de seguridad y salud ocupacional. Las señales deben dar mensajes de prohibición, protección contra incendios, advertencia, obligación y salvamento.

- Espacios confinados

En el artículo 143 se expone que en los lugares de trabajo donde exista limitada entrada de aire y ventilación natural desfavorable, o bien pueda acumularse concentración de tóxicos o inflamables, debe colocarse una persona en el exterior para actuar en cualquier caso de emergencia.

También, antes de iniciar los trabajos, se debe notar la ausencia de residuos o sustancias tóxicas y asegurar una adecuada calidad de aire revisando que la concentración de sustancias tóxicas esté por debajo de lo permisible.

- Excavaciones

En el artículo 144 se expone que en los trabajos de excavación se deben adoptar las precauciones necesarias para evitar derrumbes, según la naturaleza y condiciones del terreno.

- Materiales de excavación

En el artículo 148 se expone que el material de excavación se debe colocar a una distancia suficiente del borde de excavación, como mínimo el doble de la profundidad de la excavación, para no causar una sobrecarga que conlleve un desprendimiento de tierras.

- Maquinaria de excavación

En el artículo 149 se expone que cuando se trabaje con maquinaria los trabajadores deben estar siempre fuera del radio de acción del elemento mecánico.

- Subida y bajada de los trabajadores

En el artículo 151 se expone que los trabajadores no pueden ascender o descender por el entibado o entarimado de la excavación.

- Condiciones de higiene ambientales en el lugar de trabajo

En el artículo 157 se expone que los trabajadores no pueden fumar en el área de trabajo.

- Equipo de protección personal

En los artículos 230 y 231 se expone que el equipo de protección debe ser destinado para proteger al trabajador de los riesgos que amenazan su salud y seguridad. Los equipos deben cumplir con el respaldo de certificación y homologación de organismos reconocidos como ANSI, NIOSH, OSHA y otros que autoricen las autoridades competentes. Se debe llevar un registro de entrega del equipo de protección personal que incluya la fecha y nombre del trabajador.

- Ropa de trabajo

En el artículo 232 se expone que la vestimenta del trabajador deber ser de tejido ligero y flexible que permita su fácil limpieza, se debe ajustar al cuerpo, las mangas, siempre que el trabajo lo permita, deben ser cortas y, si son mangas largas, estas se deben ajustarse a los puños. Debe eliminarse el uso de bolsillos o botones.

- Protección de la cabeza

En los artículos 235 y 236 se expone que cuando exista el riesgo de caída y proyección violenta de objetos sobre la cabeza, se debe usar casco protector garantizado, de uso personal y obligatorio, y fabricado con material resistente al impacto.

Existen varias clases:

- Clase A: para impactos, lluvia, fuego, sustancias químicas y protección eléctrica no menor de dos mil doscientos (2 200) voltios.
- Clase B: con idénticas características a los cascos clase A, pero con protección eléctrica no menor de quince mil (15 000) voltios.
- Clase C: con idénticas características a los cascos clase A, pero no deben ser utilizados cerca de cables eléctricos o donde existan sustancias corrosivas.
- Clase D: con idénticas características a los cascos clase A, variando el contorno del ala delantera y trasera (uso bomberil).

También se habla del uso de gafas o lentes de seguridad para protección de la vista. Estas son seleccionadas para evitar choque e impacto de partículas sólidas, acción de polvos y humos. Deben adaptarse perfectamente a las características físicas de cada trabajador.

- Protección de las extremidades inferiores
- En los artículos 249, 254, 256 y 262 se expone del uso de calzado de seguridad, este debe tener suela antideslizante y punta de acero con resistencia acorde al riesgo. Se habla de la protección de las manos y brazos con guantes y mangas, y de la protección respiratoria certificada donde se exponga al trabajador a contaminantes químicos como polvo, humos, gases, vapores, neblinas, entro otros.

- Servicios de atención de urgencias médicas y servicios de atención en salud

En los artículos 304 y 305 se expone que en todos los centros de trabajo se tendrán botiquines fijos y portátiles, que estén bien señalizados y situados en lugares convenientes. Estos deben revisarse manualmente y se debe reponer el medicamento usado de manera inmediata. Cuando se presten los primeros auxilios por la persona encargada, la empresa debe prestar la atención médica necesaria.

- Plan de seguridad e higiene

En el artículo 371 se expone que antes del inicio de la construcción de la obra se debe tener un plan de salud y seguridad, con las medidas de seguridad que se van a adoptar en el transcurso de la ejecución, y debe ser verificado por el Departamento de Salud y Seguridad de Ministerio de Trabajo y Previsión Social o por la Sección de Seguridad e Higiene del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, cuando corresponda a patronos afiliados. El plan de seguridad deber contener el programa de seguridad y salud ocupacional, el equipo de protección, el estudio geotécnico del terreno y el estudio de impacto ambiental.

1.3.1. Factores que disminuyen los índices de accidentes

Numerosos factores aumentan las dificultades en los problemas de seguridad. Uno de los más difíciles de afrontar es la aceptación de los procedimientos por parte de los trabajadores, por ser complejos o incómodos al momento de realizar los trabajos, y otro es la resistencia que ponen para no utilizar el equipo de protección personal.

La seguridad debe ser considerada por todos como instrucciones que deben ser aplicadas y que con el tiempo se harán rutinarias. Entre los factores que disminuyen los índices de accidentes están:

- Capacitación del grupo de trabajo

El propósito primordial del especialista profesional en seguridad o, como es mencionado en OSHA, persona competente y certificada en temas de seguridad, es guardar a sus trabajadores contra riesgos innecesarios. La mayor labor del trabajo de administrar o dirigir consiste en convencer a otros que trabajen de forma segura, las capacitaciones logran esto, ya que son actividades que refuerzan el conocimiento del trabajador y lo hacen capaz de solucionar cualquier clase de problema que surja al ejecutar sus actividades de trabajo. La seguridad es una responsabilidad compartida que debe ser fortalecida a través de métodos que puedan orientar correctamente al trabajador a medir los riesgos a los que se expone, tomando las decisiones adecuadas para prevenir accidentes.

Los temas de seguridad pueden darse a conocer a las cuadrillas de trabajo, motivándoles constantemente y llevando al campo publicidad visual que recuerde y transmita conciencia del por qué implementar la seguridad para todos, guiados por normas nacionales. Pero el propósito consiste en crear conciencia en el individuo acerca de su responsabilidad en pro de su seguridad, como también informarle y motivarle para que por iniciativa propia realice lo que sea necesario para evitar un accidente.

Las empresas deben impartir capacitaciones constantes para todos los trabajadores que se exponen a riesgos en campo, como también deben contar con un equipo encargado de esta labor, que conllevará que estos realicen

constantes visitas de campo para percatarse si se está cumpliendo con la seguridad. También pueden visualizar futuros incidentes que pueden investigar y dar solución para que posteriormente estos sean parte de las charlas que impartan.

Es importante que se reporten los accidentes que suceden, tomando fotografías y dando explicación de lo sucedido, ya que esto mitigará futuros accidentes si se pone en común con todos los trabajadores. Estos hechos sucedidos crearán conciencia en ellos, y los irá motivando de forma indirecta a tomar en serio los procedimientos de seguridad.

- Material de investigación acerca de seguridad

El mantenerse actualizado sobre la investigación de la seguridad y aumentar los conocimientos sobre esta hará más eficaces las actividades que se realizan. Basarse en estudios estadísticos, realizando un análisis sobre ellos para evitar futuros accidentes, retroalimentará la calidad y seguridad en el trabajo. Existen políticas de prevención de accidentes que ayudarán de alguna forma a los procesos de investigación:

- Interés en la seguridad
 - Investigación de causas
 - Evaluación de efectos
 - Acción correctiva
- Análisis de edades en los trabajadores

La edad es un factor determinante, ya que existe la probabilidad de que un trabajador de edad mayor sufra con frecuencia más accidentes.

Estudios demuestran que los trabajadores jóvenes entre 18 y 30 años tienen una frecuencia de accidentes mayor que los demás, por ser impulsivos y autosuficientes. A partir de los 30 años el número de accidentes disminuye, debido al aumento de responsabilidades. Entre los 45 y 50 años vuelve a aumentar el índice de frecuencia, por el exceso de confianza profesional del trabajador.

- Aptitud y capacidad del trabajador

Es un factor importante que enlaza la exigencia de las tareas a realizar en función de las capacidades de la persona. Encontrar las aptitudes del trabajador es importante para depositar la confianza en la realización de los trabajos, a quien le será más fácil realizarlos de forma segura. El especialista competente debe observar la aptitud y capacidad de los trabajadores, con esto podrá mejorar no solo la calidad del trabajo, sino que mitigará accidentes provocados por la mala ejecución del mismo.

- Selección adecuada del equipo de seguridad

El equipo de seguridad es un recurso de defensa que no elimina el accidente directamente, sino que evita que se den daños aún más graves. Con el uso de equipo de seguridad no se está diciendo en su totalidad que los trabajadores están seguros, pues el mejor método consiste en eliminar las causas que ponen en riesgo la vida del trabajador, como la creación de un plan preventivo.

Para cada trabajo hay diversidad de equipo de seguridad a implementar, por ejemplo, si se realizara un trabajo y los trabajadores están expuestos al polvo o proyección de partículas, se mitigará el riesgo de futuras enfermedades

con el uso de mascarilla certificada para ese uso en especial. Por eso es importante que el especialista competente en temas de seguridad, junto con la cuadrilla de trabajo, antes de empezar los trabajos analice los riesgos para que una parte de estos pueda ser mitigada con el equipo de protección personal.

1.3.2. Efectos positivos de adoptar la seguridad en el trabajo

El adoptar la prevención de riesgos en el trabajo da como resultado una buena marca de seguridad, que reduce los costos, da a conocer un sistema de trabajo más ordenado y ejecuta con trabajadores motivados y aptos. La reducción de accidentes aumenta la productividad, y mejora la calidad y condiciones de los métodos de trabajo, haciéndolos más eficientes y logrando de una mejor forma los objetivos planteados.

Un buen récord de seguridad, en el que pueden observarse pocos accidentes, es una buena forma de darse a conocer ante las demás empresas, con un adecuado plan de seguridad que logre un control y orden de los procedimientos constructivos de los proyectos que se realizan.

1.3.3. Rentabilidad de la seguridad

La seguridad influye en las utilidades del proyecto a ejecutar y a la inversa, un historial de seguridad negativo puede deteriorarlas de forma considerable. Los costos en implementar seguridad en los trabajos deben tomarse en cuenta en el presupuesto inicial, por eso es importante contar con un plan de seguridad previo y tener un dato de lo que se invertirá. Entre las cosas que se toman en cuenta están los seguros de vida, el equipo de protección y señalización y los materiales de los procesos correctivos a adoptar.

El problema de no invertir en seguridad es que los trabajos pueden estar expuestos a riesgos que, por no ser analizados, provoquen accidentes o daños a la propiedad, lo que aumentará los costos de manera significativa.

1.3.4. Programa de prevención de accidentes

Todo programa de prevención de accidentes requiere de una organización y estructuración que permita enlistar los procedimientos más importantes que se deben seguir en la ejecución de los trabajos. Para que el programa sea eficiente es necesaria la colaboración de todo el equipo de trabajo, especialmente del profesional competente en temas de seguridad, que supervisará y mitigará los riesgos. Este es el encargado de que el programa de seguridad sea cumplido de una manera correcta.

1.3.4.1. Objetivos

Se debe coordinar con los supervisores y encargados de la seguridad en el área de trabajo cumplir con los siguientes procedimientos:

- Planificar el trabajo a realizar, evitando accidentes y daños a la propiedad.
- Realizar un análisis para descubrir las prácticas y condiciones poco seguras.
- Proveer del equipo de protección a utilizar para cada trabajo, dar una breve explicación justificando su uso e importancia, y revisar que se encuentre en buen estado, como también que cumpla con las normas establecidas. Como anteriormente se explicó, en el artículo 231 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, debe existir un registro de

entrega del equipo de protección personal, incluyendo fecha y nombre del trabajador.

- Estar al tanto del mantenimiento adecuado de la herramienta y equipo.
- Dar a conocer un programa de seguridad a los trabajadores, con los requerimientos básicos de control y prevención de accidentes, llevando el control de mantenerlos orientados constantemente, haciendo varias capacitaciones y distribuyendo el adecuado material de seguridad a todos los involucrados en la realización de los trabajos.
- Documentar los accidentes que puedan darse en la realización de los trabajos, aunque parezcan insignificantes. Es importante para realizar una investigación de las causas que lo produjeron y, de esta manera, hacer un plan correctivo, e irlos incluyendo en un historial de incidentes y accidentes, para insistir constantemente en adoptar una cultura de seguridad en los trabajos.

1.3.4.2. Obligaciones y deberes de los coordinadores de seguridad

- Es responsabilidad del encargado de seguridad velar porque se cumpla de forma adecuada el programa de prevención de accidentes, junto con una serie de actividades, como crear un informe de la forma en que se está llevando a cabo la seguridad en los trabajos, inspeccionar el uso adecuado del equipo de seguridad, realización de visitas imprevistas y asistir a las reuniones periódicas de seguridad.
- Los encargados de la seguridad deben realizar informes de seguridad, resúmenes de violación de normas e inspecciones de campo.
- Los encargados deben saber actuar de forma inmediata ante situaciones de peligro e implementar medidas correctivas.

- El encargado de seguridad también debe tener el carácter para tomar medidas disciplinarias evitando la violación del programa de seguridad, y debe velar por que los trabajos que se realicen sean llevados de forma segura. También es su función motivar continuamente a sus cuadrillas de trabajo.

1.3.4.3. Comunicación de lesiones y accidentes

El programa de prevención debe contener de forma clara y ordenada la manera de comunicar los accidentes y lesiones. Es necesario que los supervisores de seguridad deban comunicarlo a todos los trabajadores para mitigar futuros accidentes.

1.3.4.4. Parte típica de un procedimiento disciplinario

Cuando se administra un programa de seguridad es importante que los procedimientos de la política disciplinaria sean congruentes y justos. Para que todos los trabajadores entren en un sistema disciplinario es necesario que, si ha habido violaciones en la seguridad, se comunique de forma escrita y quede registrada en la documentación de seguridad, para que el trabajador vea la formalidad y puedan tomarlo en serio. Todo supervisor deber tener a la mano fotocopias de llamadas de atención, para realizar las sanciones a los que no cumplen con el programa de prevención de accidentes.

2. ESTUDIO Y PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

2.1. Estudio de seguridad y salud

El estudio de seguridad y salud forma parte importante en un proyecto, ya que en este se analizan los riesgos, se dejan documentados los procedimientos de los trabajos a realizarse de forma segura, los normativos que se deben adoptar, los análisis de costos y equipos de protección. Es realizado por un técnico especialista en el área. Para integrar la prevención de riesgos en el proceso constructivo se deben conocer las exigencias técnicas aplicadas a la obra de construcción. La prevención de riesgos debe estar presente desde el inicio hasta el final de la obra, por lo que al inicio se realiza el estudio de seguridad y salud, dando a conocer las medidas preventivas a adoptarse, que van en función de los recursos y los métodos de trabajo a seguir para la ejecución.

El objetivo del estudio de seguridad y salud es facilitar la integración de los principios de la acción preventiva, es decir que da las bases para la elaboración del plan de seguridad. En este se encuentran los aspectos más importantes de la obra con relación a prevención de riesgos, posteriormente esta información es llevada al plan de seguridad, para que puedan ser gestionados de manera eficiente. A continuación se da una información general que puede tomarse como guía para elaborar un estudio de seguridad y salud.

2.1.1. Documentos mínimos del estudio de seguridad y salud

2.1.1.1. Memoria descriptiva

Está constituida por la descripción de la obra, análisis de los métodos de trabajo y el equipo que se debe utilizar, todo en función de tomar medidas de prevención para reducir accidentes. La memoria descriptiva contiene las tareas y operaciones a desarrollar durante la realización de los trabajos, el orden cronológico de la ejecución, la identificación de los riesgos en obra, tanto los que puedan ser evitados como los que no pueden eliminarse, y las medidas alternativas para el control de un determinado riesgo. Se describirán las condiciones del entorno, la tipología de los materiales, y también se dan a conocer las características de los materiales a implementar para utilizarlos de manera correcta, así como el proceso constructivo (pasos ordenados de los trabajos a realizar) y, por último, el orden de los trabajos (estimación de tiempos e imprevistos), como se detalla a continuación:

2.1.1.1.1. Procedimientos

Incluye los trabajos que se van a realizar y el método de cómo deben realizarse. Si es posible debe incluir una planificación de las actividades a ejecutar, es decir el día que tienen que realizarse y quién debe realizarlas.

2.1.1.1.2. Equipos técnicos y medios auxiliares

En esta parte se deben analizar los riesgos que se derivan de la utilización de cualquier máquina, instrumento o instalación utilizada en el trabajo, en relación con el entorno de la obra en la que se encuentran.

2.1.1.1.3. Riesgos que pueden ser evitados

Se le llama así al tipo de riesgo que por medio de técnicas y medidas preventivas desaparece. Estas técnicas pueden ser modificaciones en el proceso constructivo, sustitución de materiales peligrosos, etc.

2.1.1.1.4. Riesgos que no pueden eliminarse

Este tipo de riesgo deberá identificarse y se podrán dar, si es el caso, medidas preventivas para controlarlo o reducir los daños que pueda producir.

2.1.1.1.5. Condiciones del entorno

En este análisis deben tomarse en cuenta los riesgos que pueden generarse en el área de trabajo por la ubicación en la que se encuentra. Existen varias condiciones, como los accesos al proyecto, el clima, el tráfico, la inestabilidad del terreno, los derechos de vía, entre otros. Lo más importante es conocer que las condiciones en las que se realizan los trabajos pueden variar a lo largo del tiempo y con ello las medidas preventivas para controlar los riesgos.

2.1.1.1.6. Tipología de los materiales y elementos

Debe nombrarse el aspecto de los materiales que vayan a utilizarse, como el peso, forma, volumen, entre otras características, que ayuden a analizar los peligros o riesgos cuando sean implementados en obra.

2.1.1.1.7. Características de los materiales y elementos

Es importante identificar los materiales a utilizar por sus características, especialmente los que son sustancias tóxicas.

2.1.1.1.8. Proceso constructivo

En el proceso constructivo se realiza una secuencia ordenada de los trabajos que se realizarán, organizados de tal forma que puedan identificarse los peligros al llevarlos a cabo.

2.1.1.2. Condiciones en función de las normas legales y reglamentarias

Se deben analizar las normas que rigen los procedimientos de instalación y construcción, los requisitos de los materiales, el equipo de protección individual, y las obligaciones de los contratistas, subcontratistas y trabajadores. Para Guatemala debe adoptarse el ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, que entró en vigencia en el 2014, siendo este el reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, en el cual se regulan las condiciones de seguridad y salud para los trabajadores en la ejecución de sus labores. En el proceso constructivo de la excavación se adoptará la Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala AGIES NSE 2.10-10, con el tema “Estudios Geotécnicos y de Microzonificación”, que contiene especificaciones para realizar las excavaciones de forma segura. También se adoptarán las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) y las recomendaciones dadas por la Administración para la Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés).

2.1.1.3. Planos del desarrollo de las medidas de prevención

Se realizarán los gráficos y esquemas para que queden definidas las medidas de prevención que se llevarán a cabo en los procesos constructivos. En los planos podrán quedar registrados los diseños que se realizan para prevenir accidentes, que en ocasiones pueden ser variables, como es el caso de las excavaciones, que dependen del tipo de suelo para saber el método de protección al realizar la excavación. En los planos se pueden señalar los lugares de acopio de material, las rutas de evacuación, el recorrido de la maquinaria, etc.

2.1.1.4. Mediciones de unidades de seguridad y salud definidos

El objetivo principal de realizar mediciones es poder identificar y cuantificar de una forma adecuada todos los aspectos correspondientes a seguridad y salud que se encontrarán en el proceso de construcción. Es importante definir y medir con suficiente precisión los elementos de seguridad, para que no exista duda en la aplicación del método preventivo, o puede ser que por medio de la cuantificación se observe algún procedimiento en el que no haya sido realizado el análisis de riesgos y peligros.

2.1.1.5. Presupuesto de gastos previstos para la aplicación y ejecución del estudio de seguridad y salud

La inversión generada para la seguridad en los proyectos debe tomarse en cuenta en el presupuesto del proyecto en general, desde el equipo de

protección hasta los gastos administrativos, generados al contratar técnicos de seguridad en obra.

2.2. Plan de seguridad

Un plan de seguridad es un instrumento fundamental para la evaluación de riesgos y planificar de tal forma la actividad preventiva de las obras a realizar. El estudio de seguridad y salud se utiliza como punto de partida para la elaboración del plan de seguridad.

El plan de seguridad incorpora todas las medidas preventivas que resultan de la evaluación de riesgos realizadas en el estudio de seguridad y salud, el cual debe adaptarse a las fases en las que el proyecto se encuentra. La planificación es una función importante en la administración de cualquier proyecto, que analiza el futuro a partir de la toma de decisiones en el presente, con el único objetivo de mitigar los riesgos que puedan darse en el transcurso de la realización de los trabajos.

La persona encargada de realizar el plan de seguridad debe planificar, organizar y controlar cada una de las actividades desde el punto de vista de la seguridad que se llevará a cabo en el lugar de trabajo. Para poder redactar un plan de seguridad, la información contenida en este debe permitir una decisión rápida y debe facilitar un control de todas las actividades. Se debe lograr que el contenido del plan se ajuste a la realidad de las actividades a desempeñar en obra.

No existe una estructuración de los temas que debe contener un plan de seguridad, solo se debe tomar en cuenta la función que desempeña este en la mitigación de riesgos y peligros de las actividades que se realizan en obra, y

que la estructura que se adopte debe facilitar su implementación. El plan de seguridad puede cambiar con el tiempo, debido a los agentes y condiciones que se pueden encontrar al ejecutar las labores, por lo que debe adoptarse cualquier modificación que suponga un riesgo para la seguridad y que al inicio no se tomó en cuenta.

2.2.1. Consideraciones generales

El plan de seguridad y salud deberá ser aprobado antes de iniciar los trabajos por el técnico de prevención de riesgos laborales encargado de la seguridad en el proyecto. Cuando se realiza un plan de seguridad se deben establecer los objetivos a corto, mediano y largo plazo, así como establecer políticas, que son guías que analizan la toma de decisiones y aseguran consistencia en los objetivos. También se debe establecer un plan eficiente cuyos resultados están en estrecha relación con los objetivos, organizar un sistema que lleve adelante los planes y, por último, tener un sistema de control con las acciones correctivas que mejoren la planificación. Dentro de las consideraciones que pueden tomarse para elaborar un plan de seguridad están:

- Planificar, organizar y controlar

Se deben controlar los riesgos que se puedan dar en todas las fases de construcción. También se debe incluir la designación de los responsables que llevarán a cabo las labores de seguridad. Se debe buscar no colocar una simple descripción de los riesgos y medidas preventivas que no se podrán poner en práctica, es mejor definir las obligaciones para la prevención de los riesgos y el procedimiento a realizar para el control de medidas de seguridad.

Además:

- Se debe contar con un registro e información de los trabajadores.
- Colocar una descripción general del trabajo a realizar, con medidas de seguridad concretas a implementar.
- Todo procedimiento a adoptar debe ser explicado en obra con una lista de instrucciones precisas a seguir. Se puede hacer un registro de la explicación dada, donde firmen todos los trabajadores involucrados, para que quede constancia que han entendido las instrucciones dadas y las implementarán de forma adecuada.
- Se debe contar con certificaciones del equipo a utilizar.
- Se deben realizar acciones de control, como inspecciones de seguridad y cuestionarios de comprobación, que indiquen que los trabajos se realizan conforme a las medidas adoptadas de seguridad.
- Es importante contar con un programa de trabajo que contenga la fecha y tiempos de todas las actividades a realizar.
- Se debe contar con un historial de reuniones donde se ponen en común los avances del proyecto y la forma en que se han venido implementado las medidas de seguridad, así como la forma en que puede llevarse a cabo un plan de emergencias, o bien, para conocer si es necesario cambiar algún procedimiento o es necesario capacitar más al personal en temas nuevos que surgieron durante la ejecución.

3. EXCAVACION PARA CIMENTACIÓN DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Una excavación es un proceso de extracción del suelo por medios manuales o utilizando maquinaria. Las excavaciones para torres de transmisión suelen ser verticales o inclinadas, en estas predomina la dimensión de profundidad sobre la longitud o anchura, pero pueden darse casos donde la longitud es más grande que la profundidad, como se observa en la figura 12.

Figura 12. **Excavación para cimentación de una de las patas de torre de transmisión eléctrica**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Excavaciones para cimentación de torres. Interconexión eléctrica Guatemala-México. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

Cuando se realiza un trabajo de excavación, en el suelo se produce un desequilibrio o inestabilidad, lo que puede producir deslizamiento de tierras, por lo que las excavaciones requieren bastante control, tanto de los trabajadores como del sistema de trabajo que se lleve a cabo. En terrenos suaves es posible efectuar las excavaciones empleando herramienta manual, en terrenos duros o rocosos es aconsejable el empleo de equipo de perforación, y en terrenos demasiado duros se hace necesario el uso de dinamita.

3.1. Procedimientos de excavación

Utilizar maquinaria para la excavación de las cimentaciones de torres, en el caso de pilas o pilotes, no es recomendable, debido a que conlleva posteriormente un cuidadoso procedimiento de compactación del suelo alrededor de la cimentación para estabilizarlo, esto debido a que, al realizar la excavación con maquinaria, no se puede excavar el agujero con la medida requerida en los planos. Existen empresas que ya no aceptan el uso de maquinaria para las excavaciones, debido a la mala realización de la compactación del suelo, y al momento que tensan los cables y la línea de transmisión empieza a funcionar, dichas fuerzas externas empiezan a accionarse, por lo que la torre cae por socavación debido a la inestabilidad del suelo.

Otro inconveniente de la maquinaria son los costos de implementarla y los lugares poco transitados donde se ubican las torres. Por este motivo se reducirán los procedimientos de excavación a los siguientes:

3.1.1. Excavación manual

Es el procedimiento de excavación para la cimentación de torres más utilizado en Guatemala. En este inciso se describirá la manera en que se realiza la excavación, esto con el fin de conocer el procedimiento y mitigar los riesgos.

Primero se calcula la ubicación y profundidad del fondo de las excavaciones, referido al eje de altura del teodolito colocado en el centro de la torre. Con esto se deducirá el corte que deberá efectuarse. Cuando son trazadas las excavaciones, se procede a excavar. Algunas herramientas utilizadas son las que aparecen en la figura 13. Dos personas realizan la excavación, una que excava y otra que recibe el material excavado. Este procedimiento lo realizan con una cubeta, de la cual amarran una cuerda para poder subirla y depositar el material en el exterior, como se muestra en la figura 14, donde se observan las cubetas a la par del material excavado.

Figura 13. **Herramientas utilizadas para excavación manual**



Fuente: SARKISSIAN, OLANO, MAZZITELLI. *Suelos de Fundación*. www.slideshare.net.

Consulta: septiembre de 2016.

Figura 14. **Excavación manual**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Excavaciones para cimentación de torres. Interconexión eléctrica Guatemala-México. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

3.1.2. Excavación con equipo mecánico

El equipo mecánico, así como los martillos de demolición, son utilizados para la excavación en roca cuando esta tenga que ser removida de su lugar de origen por medio del empleo continuo de este equipo. En algunas excavaciones este tipo de material suele encontrarse al fondo, y dependiendo el tipo de martillo, en el caso que sea un martillo eléctrico, debe conectarse a una planta eléctrica, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. **Excavación en roca**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Excavación para cimentación en línea de transmisión Escuintla-Cocales. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

3.2. Evaluación de los riesgos y peligros al realizar excavaciones

3.2.1. Tipos de Accidentes

Al realizar excavaciones los accidentes más frecuentes son los derrumbes por el colapso de las paredes de la excavación, quedando soterrados los trabajadores que se encuentran dentro de esta, y a consecuencia ocurren fatalidades como muerte por asfixia.

La forma de extraer el suelo y la estabilidad del mismo depende de sus propiedades, por lo que los riesgos y peligros al realizar excavaciones no son los mismos. Es común escuchar que las zanjas, las cuales son excavaciones angostas y profundas, donde la profundidad es mayor que el ancho, son más

peligrosas que otras excavaciones, debido a que estas son más confinadas y ambas paredes se colapsan atrapando al trabajador. Pero es más fácil entibar las paredes de una zanja que las de una excavación, por lo que se concluye que ambas son peligrosas si tienen más de 1,5 metros de profundidad y existe el peligro de que las paredes se derrumben.

“Las excavaciones siempre han presentado el problema de la estabilidad de sus paredes dependiendo de la profundidad de las mismas”.⁷ Otros tipos de accidentes se dan por intoxicación, cuando existe la presencia de gases en el interior de la excavación, golpes por caída de materiales o herramientas, caída de personas al transitar por el borde de la excavación y contactos con tuberías subterráneas.

3.2.2. Evaluación de riesgos

En la figura 16 se pueden detectar algunos riesgos que corren los trabajadores dentro de la excavación. Entre estos y otros riesgos se encuentran:

1. Caídas a distinto nivel
2. Caídas al mismo nivel
3. Caída de objetos
4. Desprendimiento de las paredes de la excavación
5. Redes subterráneas
6. Mala implementación del equipo para realizar la excavación
7. Ascenso y descenso del material de excavación
8. Pisada sobre objetos

⁷ Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES. *Estudios geotécnicos y de microzonificación NSE 2.1-10*. P. 23.

9. Resbalones
10. Proyección de partículas
11. Sobreesfuerzos
12. Ingreso y salida de trabajadores de la excavación
13. Cambio en las condiciones climáticas
14. Espacios confinados
15. Presencia de agua

Figura 16. **Colocación de refuerzo de cimentación dentro de excavación**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Excavación para cimentación en Línea de transmisión Escuintla-Cocales. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

3.3. Seguridad al excavar

Para cada riesgo del inciso anterior, se enlistan las medidas preventivas a tomar en cuenta:

- Caídas a distinto nivel

Se analiza este riesgo tanto para los que realizan la excavación como para las personas que circulan por la zona. En general, para mitigar este riesgo se debe delimitar el área de trabajo con estacas de madera rodeando el área, posterior a esto se colocarán mallas de seguridad color naranja, para evitar en su totalidad que personas ajenas a la obra se instalen en el área de trabajo. Se señalizará con cinta amarilla de precaución y carteles de señalización donde se indique lo que está prohibido en la zona. Si se utilizaran varillas de acero para colocar la malla de seguridad, las puntas deberán cubrirse con tapones. Si en la zona hay probabilidad de que circulen animales, los agujeros deberán ser tapados con tablas que puedan quedar ancladas al suelo. En las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE-ADZ) se indica que al finalizar la jornada o cuando se interrumpen los trabajos, se protegerá la parte exterior de las excavaciones de profundidad mayor a 1,30 metros con un tablero resistente, red o elemento equivalente.

OSHA indica que se debe usar protección alrededor, como barandas y cercos, para los trabajadores que se encuentran al borde de las excavaciones que tengan más de seis pies de profundidad (1,8 metros), o cuando estas no se vean fácilmente por vegetación u otros obstáculos visuales, para evitar caídas.

Para los trabajadores una caída a distinto nivel puede ocurrir por:

- Descenso para realizar trabajos dentro de la excavación
- Mal uso de la escalera
- Subir el material de la excavación y depositarlo en el exterior

Para mitigar estos riesgos, si se trata de una excavación para una cimentación tipo pila, el método de asenso puede realizarse por medio de una estructura de sujeción anclada al suelo y un sistema de poleas, utilizando arnés de seguridad que irá sujeta a esta. De esta estructura también puede integrarse un anclaje para subir el depósito que contiene el material excavado, como se observa en la figura 17.

Figura 17. **Ejemplo de delimitación y señalización**

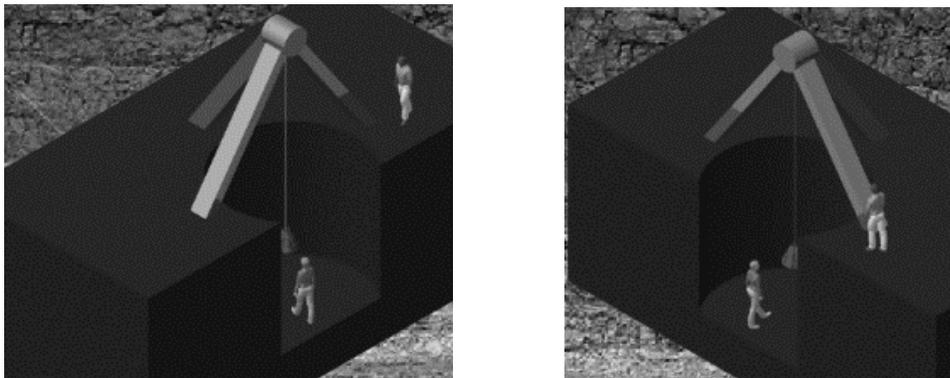


Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. División de Planeación e Ingeniería.
Departamento de Líneas de Transmisión.

- Caídas al mismo nivel:
 - Para mitigar este riesgo, el área de trabajo debe estar ordenada y limpia, llevando un control de la herramienta, equipo y materiales.
 - Uso de calzado adecuado (que sea antideslizante).

- Caída de objetos
 - Utilización de casco de seguridad con barbiquejo es de carácter obligatorio para las personas que se encuentran dentro de la excavación.
 - No se debe trabajar simultáneamente en distintos niveles de la misma vertical dentro de la excavación.
 - La herramienta no debe ser colocada en la orilla de la excavación.
 - El equipo de izado de cargas debe ser revisado y realizado de la manera correcta, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Estructura de ascenso y descenso de material**

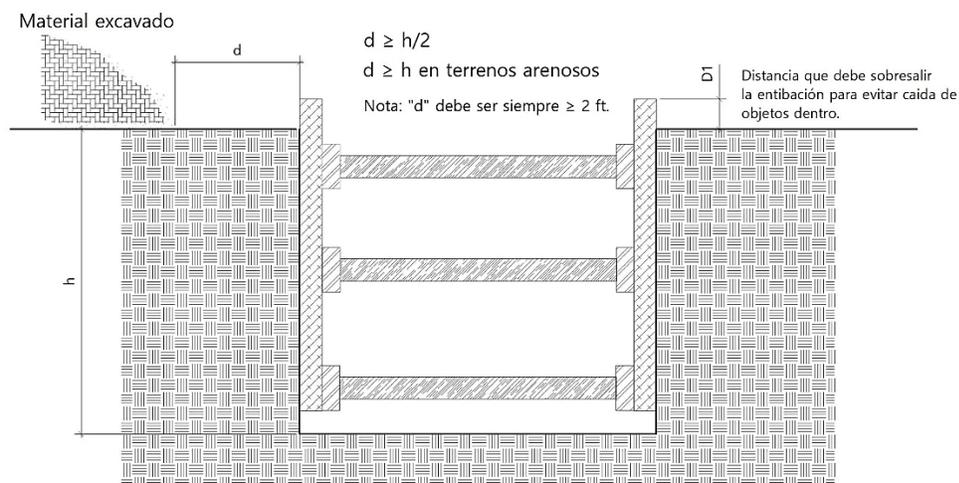


Fuente: elaboración propia.

- Mantener el área de trabajo limpia y ordenada.
- En las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE-ADZ) se indica que, si las excavaciones tienen algún método de protección como entibaciones y el corte de profundidad es mayor a 1,30 metros, dichas entibaciones deberán sobrepasar como mínimo 20 centímetros el nivel superficial del terreno, y 75 centímetros en el

borde superior de laderas. Esta distancia se indica como D1 en la Figura 19.

Figura 19. **Distancia de colocación de material excavado**



Fuente: elaboración propia, con base en la *Guía de buenas prácticas NTP 278, prevención del desprendimiento de tierras.*

- Desprendimiento de las paredes de la excavación:
 - Uso de casco de seguridad.
 - En el ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 se indica que los productos de la excavación que no puedan retirarse inmediatamente, así como los materiales que hayan de acopiarse, se deben apilar a una distancia suficiente del borde de la excavación para que no supongan sobrecarga que pueda dar lugar a desprendimientos o corrientes de tierras. Las distancias de seguridad pueden ser las indicadas en la figura 19. En los requisitos específicos de OSHA se establece que la tierra

excavada, materiales, herramientas y equipo se colocarán a un mínimo de dos pies (0,6 metros) del borde de la excavación.

- No circular con maquinaria en las proximidades de la excavación, debido a que las vibraciones producidas por esta hacen menos estable el suelo.
- Limitar zona de trabajo y respetar las señales de seguridad.
- Conocer el tipo de suelo para obtener la estabilidad de la excavación y poder implementar las medidas de protección. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), clasifica el suelo de la siguiente manera:
 - Suelo Tipo A: tipo de suelo más estable, está conformado por arcilla, arcilla limosa, arcilla marga y arcilla arenosa. Es altamente cohesivo, lo que indica que es difícil de romper cuando está seco y mantiene su firmeza cuando está húmedo. Ningún suelo es Tipo A si está fracturado o presenta fisuras, o si está sujeto a vibraciones por tráfico, maquinaria u otras actividades de excavación. Tampoco puede clasificarse Tipo A si está expuesto a filtraciones de agua. Tiene una fuerza de compresión de 1,5 o más toneladas por pie cuadrado.
 - Suelo Tipo B: tipo de suelo cohesivo, con capacidad media de compresión, compuesto de cieno, cieno-marga, marga arenosa y sólidos granulares cohesivos incluyendo piedra triturada. Tiene una fuerza de compresión mayor a 0,5 toneladas por pie cuadrado pero menor a 1,5 toneladas por pie cuadrado.
 - Suelo tipo C: tipo de suelo menos estable y no cohesivo, compuesto de suelos granulares, incluye arena, grava, marga arenosa, suelo que contenga agua y piedra

sumergida. Suelo con baja capacidad de compresión, siendo esta fuerza de compresión de 0,5 o menos toneladas por pie cuadrado.

- Roca estable: mineral sólido que al ser excavado verticalmente permanece en su sitio.

Para realizar la clasificación del suelo OSHA indica que una persona competente realizará dos pruebas, una visual y otra manual.

- En la prueba visual se realiza una inspección completa del lugar de trabajo, el área alrededor de la excavación y el suelo excavado. Con el suelo excavado se puede observar si el suelo es cohesivo y cualquier otra condición que indique inestabilidad, como suelo fisurado, terreno previamente alterado, filtraciones de agua o vibraciones.
- En la prueba manual se miden las propiedades del suelo, estos resultados se utilizan para conocer los sistemas de protección a implementar. No se debe entrar a la excavación si esta no se encuentra protegida. Para obtener una muestra de suelo, se obtiene del material recién excavado, y se lleva a cabo de manera inmediata para conservar la humedad natural.

✓ Prueba de plasticidad

Esta prueba se realiza para conocer si el suelo es cohesivo. Se enrolla una muestra de suelo entre las palmas de las manos hasta tener un hilo de aproximadamente un octavo de pulgada de diámetro y varias pulgadas de largo, este hilo se coloca en una superficie plana y, si al ser recogida esta muestra

permanece entera a lo largo de las dos pulgadas, se considera cohesiva. Se puede realizar otra prueba de respaldo de la prueba anterior. Se enrolla una muestra representativa de suelo formando un cilindro de aproximadamente tres cuartos de pulgada de diámetro y varias pulgadas de largo, después se aplana esta muestra con el dedo índice y el dedo pulgar hasta tener una cinta plana de un cuarto a un octavo de pulgada de grueso, la cual se permite colgar libremente entre los dedos; si la cinta no se rompe antes de que varias pulgadas sean apretadas, el suelo se considera cohesivo.

✓ Prueba de penetración

Esta prueba se realiza para calcular la fuerza de compresión de los suelos cohesivos y se basa en las pruebas definidas en la norma D2488 de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). Esta prueba consiste en obtener una muestra de forma definida de suelo recién excavado, se comprime la muestra con el dedo pulgar. Si el dedo marca fácilmente la muestra, pero se penetra con mucho esfuerzo, el suelo se clasifica como Tipo A. Si el dedo penetra hasta la base de la uña y se hace con dificultad moderada, el suelo es Tipo B. Si la muestra es penetrada fácilmente y puede ser moldeada con ligera presión del dedo, el suelo puede clasificarse como Tipo C. Esta prueba se realiza de forma inmediata, ya que al secarse la muestra influye considerablemente en los resultados.

✓ Prueba de firmeza en seco

Esta prueba sirve para identificar el suelo granular o fisurado. Si el suelo está seco y se desmorona solo o con presión moderada, y se hacen granos individuales o polvo fino, este suelo es granular y puede ser una combinación de grava, arena o cieno. Si el suelo está seco y cae en pedazos, los cuales se

rompen en pedazos más pequeños, pero los pequeños se rompen con mucho esfuerzo, este puede ser arcilla en alguna combinación con grava, arena o cieno. Si el suelo seco se desmorona en pedazos que ya no se rompen por si solos, estos solo se romperían con dificultad y no hay indicación de que el suelo tiene fisuras, el suelo puede considerarse no fisurado.

- ✓ También puede emplearse el uso de aparatos mecánicos como el penetrómetro de bolsillo y el penetrómetro manual.
- Realizar la entibación adecuada dependiendo del tipo de terreno. Estos procedimientos se explican en el capítulo 5.
- En las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE-ADZ) se indica que, en zanjas o pozos de profundidad mayor a 1,30 metros, siempre que los trabajadores se encuentren dentro de estas, habrá un trabajador en el exterior que podrá actuar como ayudante y dará alarma en caso de producirse alguna emergencia.
- La entibación se debe retirar en el sentido opuesto de como fue colocada.
- Redes subterráneas

Antes de empezar un trabajo de excavación se debe conocer si existen redes subterráneas, tales como alcantarillados, tuberías de agua potable, tuberías de comunicaciones, cables eléctricos, etc. Estas tuberías deben identificarse y localizarse, debido a que, si no son localizadas, en el caso de las tuberías que conducen agua, estas pueden averiarse y hacer que los trabajos de excavación tengan otro grado de dificultad, debido a que la presencia de agua en la excavación trae consigo derrumbes de sus paredes.

- Mala implementación del equipo para realizar la excavación

El equipo que puede usarse en una excavación es el martillo de demolición, la bomba de agua, etc. La utilización de este equipo debe atender a las especificaciones que indica el fabricante. Se debe tomar en cuenta el uso de protección personal al implementar cada equipo.

- Ascenso y descenso del material de excavación

El material de excavación se manipulará haciendo uso de medios mecánicos, como el sistema que se describe en la figura 18. Se debe tomar la carga firmemente, manteniendo la espalda recta y haciendo flexión en las piernas para el correcto levantamiento y manejo de la carga. Para este procedimiento son de uso importante los guantes de seguridad, casco de protección y botas antideslizantes.

- Pisada sobre objetos

Mantener las herramientas ordenadas, el área de trabajo limpia y dar uso al calzado de seguridad adecuado.

- Resbalones

No se debe correr en el área de trabajo, tampoco se debe pasar por zonas resbaladizas. Procurar todo el tiempo que el área de trabajo esté limpia y ordenada.

- Proyección de partículas

Cuando se realiza la excavación con herramienta manual o equipo de demolición se pueden proyectar pequeñas partículas de suelo, por lo que es obligatorio el uso de gafas protectoras y protección respiratoria como mascarillas de seguridad.

- Sobreesfuerzos

Si la carga de suelo que se retira de la excavación es muy pesada, se debe solicitar ayuda o emplear un método mecánico para la subida del material.

- Ingreso y salida de trabajadores de la excavación

OSHA indica que para excavaciones con profundidades mayores a cuatro pies (1,2 metros) se deben colocar escaleras u otro medio seguro para el ingreso y egreso de los trabajadores. Las escaleras deben estar sujetas al suelo con cuerdas tanto en la parte superior como en la inferior, para evitar su deslizamiento. La parte superior de estas deben sobresalir tres pies arriba de la superficie. Las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE-ADZ) indican que se debe evitar golpear la entibación durante las operaciones de excavación, y que los trabajadores no deben utilizar los elementos de la misma para ingresar y salir.

- Cambio en las condiciones climáticas

Se debe conocer el pronóstico del tiempo en el área donde se trabajará, debido a que de esta manera se previene que los trabajadores se expongan a

realizar los trabajos cuando llueve, evitando que el trabajador esté expuesto a arrastre de finos y socavación.

- Espacios confinados

Los espacios confinados pueden ser un riesgo al realizar excavaciones, debido a la falta de oxígeno a la que pueda estar sometido el trabajador, o los componentes tóxicos que se puedan encontrar en excavaciones profundas. OSHA indica que en excavaciones de más de cuatro pies de profundidad (1,2 metros), con la posibilidad de una atmósfera peligrosa o falta de oxígeno, se deben realizar pruebas del aire antes de que los trabajadores entren a la excavación, y para mitigar este riesgo se puede hacer uso de ventilación o protección respiratoria. Este tema se explicará en el capítulo 6.

El artículo 152 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 indica que en los trabajos en interior de pozos, antes de que los trabajadores entren se deben hacer las pruebas necesarias para conocer el estado de la atmósfera. Los trabajadores no podrán penetrar hasta después de haber tomado las precauciones oportunas para impedir cualquier accidente por intoxicación o asfixia. Este artículo es aplicable a las excavaciones para la cimentación de torres, debido a los casos donde se pueden dar excavaciones profundas.

- Presencia de agua

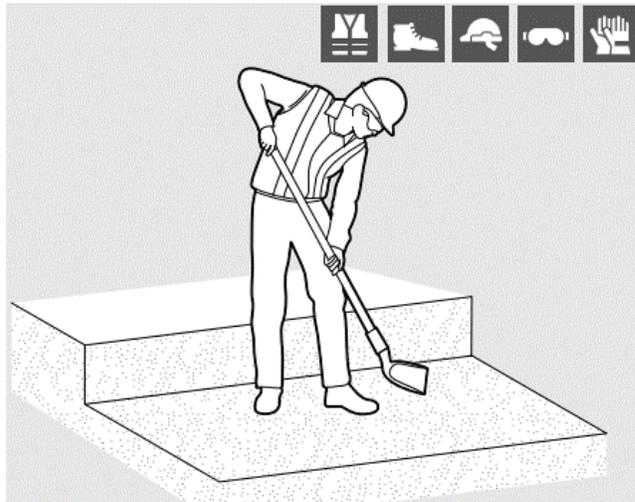
Si en el interior de la excavación hay agua, no se deben utilizar herramientas o extensiones eléctricas, y si se emplea un sistema de bombas para extracción del agua, este debe ser evaluado antes de ser utilizado.

3.3.1. Equipo de protección personal

Los trabajadores que realicen las excavaciones deben utilizar los elementos de protección personal básicos, como botas de seguridad antideslizante, casco de protección con barbiquejo, guantes, gafas de seguridad, mascarilla para protección respiratoria y chaleco de alta visibilidad, como se muestra en la figura 20. Si se utiliza equipo para demolición se deberán utilizar orejeras como protectores auditivos. Es importante mencionar que el trabajador debe utilizar ropa adecuada, no rota, sino que se encuentre en buenas condiciones, y si el trabajo se realizara bajo el sol, este deberá cubrirse los brazos con mangas que no deberán quedar holgadas.

Si existe riesgo de caída dentro de la excavación, tanto para los que se encuentran en la parte superior de la excavación como para quienes se encuentren dentro de esta, y la profundidad es mayor a 1,5 metros, los trabajadores deben utilizar arnés de seguridad y línea de vida, anclado a alguna estructura de soporte. Si los trabajadores, al realizar la excavación, están expuestos a la presencia de agua, deben utilizar botas de goma con punta de acero. El equipo de protección debe de estar certificado por organismos reconocidos, como se indica en el artículo 231 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, descrito en el capítulo 1. En el capítulo 1 también se detallan las especificaciones del equipo de protección que establece el ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014.

Figura 20. **Equipo de protección personal**



Fuente: ACHS. *Control de riesgos en excavaciones*.

http://www.achs.cl/portaIqa/Comunidad/Documents/2_Manual_de_seguridad_en_excavaciones.pdf. Consulta: diciembre de 2016.

3.3.2. Protección colectiva

Las protecciones colectivas incluyen barandillas, extintores, elementos de entibación, escaleras de mano y equipos de medición de gases.

3.3.3. Lista de comprobación

Las listas de comprobación son eficientes para realizar las inspecciones de los procesos de seguridad, como también son utilizadas para dar una inducción a los trabajadores de la forma correcta de realizar los trabajos al inicio. Utilizar listas de comprobación ayuda a mitigar riesgos que no han sido previstos en el plan de seguridad, ya que se pone en común con todos los trabajadores involucrados los posibles riesgos a los que se ven afectados.

3.3.3.1. Antes de realizar los trabajos

La lista de comprobación antes de realizar los trabajos contiene, en detalle, todos los posibles riesgos a los que se ven afectados los trabajadores, y el equipo de protección personal y colectiva a implementar para mitigar cada riesgo. También contiene los procedimientos adecuados para realizar los trabajos, los cuales serán explicados por el profesional competente encargado de la seguridad en el área de trabajo. El anexo I contiene una lista de comprobación para adecuar antes de realizar los trabajos de excavación.

3.3.3.2. Cuando se están ejecutando los trabajos

Las listas de comprobación cuando se realizan los trabajos suelen ser elaboradas por supervisores o coordinadores de seguridad externos, que son los que dan legalidad de que los procedimientos y el equipo de seguridad son adecuados y cumplen con el plan de seguridad previsto para dichos trabajos. Si estos no son realizados de la forma correcta, pueden sancionar al profesional encargado de la seguridad, incluso se puede detener la ejecución de la obra hasta que se readapten los procedimientos y exista equipo adecuado.

3.3.4. Plan de emergencia

Cuando un trabajador queda atrapado, puede morir por asfixia o por el síndrome de aplastamiento. La asfixia sucede cuando los pulmones se quedan sin oxígeno, la mayoría de las personas muere cuatro o seis minutos después por la falta de aire. El síndrome de aplastamiento sucede cuando se comprimen los músculos prolongadamente, se puede dar cuando el aplastamiento dura más de 15 minutos, dependiendo del grado de compresión.

En el caso que surgiera un derrumbe o un atrapamiento se debe:

- Pedir ayuda especializada.
- Evacuar el área donde sucedió el accidente, verificando que no exista el riesgo de otro derrumbe.
- Se debe detener la operación del equipo implementado.
- En el artículo 304 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 se establece que en todos los centros de trabajo se dispondrá de botiquines fijos o portátiles, bien señalizados y convenientemente situados, que estarán a cargo de auxiliares de enfermería o socorristas diplomados. Cada botiquín contendrá como mínimo: esfigmomanómetro, estetoscopio, agua oxigenada, alcohol de 95°, clorhexidina, gasa estéril, algodón hidrófilo, vendas, esparadrapo, antiespasmódicos, antiácidos, analgésico intramuscular y vía oral (IM y PO), antieméticos, bolsas de goma para agua o hielo, guantes esterilizados, jeringuillas, agujas inyectables y termómetro clínico, cabestrillos de tela e inmovilizadores. Se debe revisar mensualmente y se debe reponer inmediatamente lo usado.
- En el artículo 305 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 se establece que, prestados los primeros auxilios por la persona encargada, la empresa debe disponer lo necesario para la atención médica consecutiva al o los trabajadores enfermos o lesionados.

4. ESTUDIOS PREVIOS

El suelo es un elemento complejo y de vital importancia para soportar las cargas de estructuras con fines diversos. Cuando se realizan alteraciones en este, como excavaciones, los trabajadores que las realizan se exponen a diversos riesgos, por lo que es necesario hacer un estudio que identifique sus características principales, y con estas observar si es necesario un método de protección para mitigar los deslizamientos de tierra o inestabilidad de la misma. Al conocer el tipo de suelo se puede identificar el equipo y herramienta a utilizar, así como la forma de realizar la excavación, tomando en cuenta las medidas preventivas. Es por eso que cuando se emplean trabajos de excavación la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES recomienda: “realizar un estudio geotécnico y de estabilidad de taludes debiendo hacer el mismo para toda excavación de más de 1,50 metros de profundidad.”⁸

4.1. Estudio geotécnico

Las propiedades geotécnicas del suelo pueden determinarse mediante pruebas de laboratorio. Existen métodos para conocer las características del suelo que se realizan *in situ*, como se observa en el capítulo 3, tal como los métodos establecidos por OSHA para determinar el tipo de suelo. El ingeniero deber saber interpretar los resultados de los estudios de suelos, sin importar si son realizados en el laboratorio o campo, por lo que debe conocer los principios básicos de la mecánica de suelos.

⁸ *Ibíd.*

En el informe del estudio de suelos que se realiza cuando se lleva a cabo un proyecto de instalación de líneas de transmisión, se indica la estabilidad del suelo a diversas profundidades. Regularmente se generalizan las observaciones del suelo que se encuentran en el trayecto de línea de transmisión, las zonas de arena y arcilla o si existieran zonas cercanas a cauces de ríos donde pueden encontrarse gravas o arenas. Este informe establecerá si es necesario un sistema de protección para las excavaciones, cuando el terreno se encuentra expuesto a estas condiciones. En el estudio de suelos se indica, además, la estratigrafía y las características físicas de los suelos, se tipifica el terreno en función al tipo de material y su dificultad para ser excavado, como se describe en la tabla I.

Tabla I. Tipos de suelo en función de la dureza y la herramienta a utilizar para realizar la excavación

Tipo de suelo	Herramienta de excavación
Tipo I	Por sus características de dureza puede ser excavado con pala de mano o herramienta similar.
Tipo II	Por sus características de dureza requiere para su excavación la utilización de pico y pala.
Tipo IIA	Por sus características de dureza requiere para su excavación la utilización de barretas y rompedoras.
Tipo III	Para su excavación se requiere la utilización de explosivos.

Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Informe del estudio de mecánica de suelos. Interconexión eléctrica Guatemala-México LT 400 kv. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

También se realiza un análisis de capacidad de carga, para los usos que convengan. Estos datos son necesarios para realizar un diseño de entibación adecuado como método de protección de las paredes de la excavación.

4.1.1. Suelos cohesivos y suelos no cohesivos

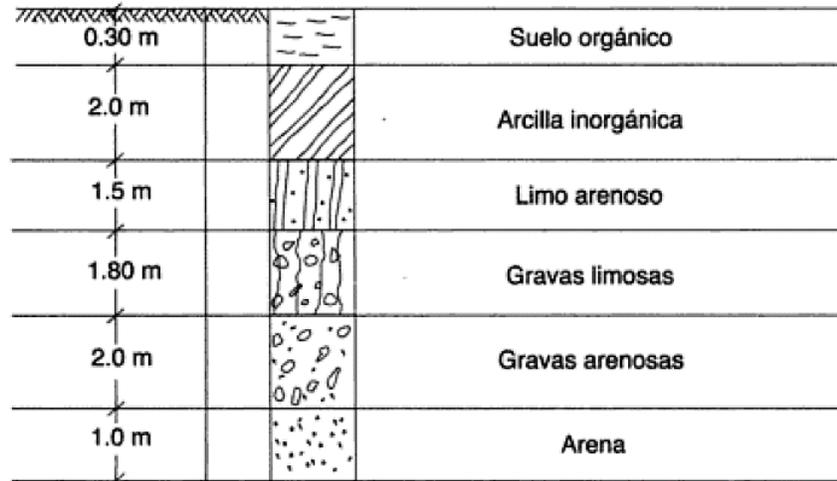
La cohesión es una característica que marca la diferencia entre los distintos tipos de suelo. “Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como arcillas. Los suelos no cohesivos son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.”⁹ Como se estudió en el capítulo 3, el suelo, mientras más cohesivo sea, es más estable al realizar las excavaciones.

4.1.2. Estratificación del terreno

A medida que se profundiza en el suelo, existen diferentes estratos de diversos tipos de suelo que pueden ser gravas, arenas, limos, arcillas o mezcla de los mismos, como se muestra en la figura 21.

⁹VILLALAZ, Crespo. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. P. 26.

Figura 21. **Estratigrafía de un sondeo**



Fuente: VILLALAZ, Crespo. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. P. 27.

En el anexo II se pueden observar los perfiles del terreno que se realizaron en el estudio de suelos del proyecto de instalación de las torres de transmisión eléctrica para la línea de transmisión de 400 kv., Interconexión eléctrica Guatemala-México, realizado por el Departamento de Líneas de Transmisión del Instituto Nacional de Electrificación, INDE.

4.1.3. **Ensayos de laboratorio**

4.1.3.1. **Permeabilidad**

El suelo es un material con arreglo variable de partículas que dejan entre ellas una serie de poros que forman una compleja red de drenajes, es por eso que parte del agua que cae sobre el suelo escurre y parte se filtra. Es importante conocer la permeabilidad del suelo, debido a que la presencia de agua en suelos permeables puede ocasionar el desprendimiento de las paredes de la excavación de manera repentina. En los ensayos que se realizan a los suelos, los coeficientes de permeabilidad son más pequeños para las arcillas

que las gravas y arenas, esto quiere decir que es más fácil que el agua se filtre en suelos arenosos que en suelos arcillosos.

4.1.3.2. Granulometría

El ensayo de granulometría es utilizado para conocer la variedad del tamaño de las partículas que conforman el suelo. Este ensayo indica el porcentaje de grava, arena, limo y arcilla que está contenido en el suelo.

Dependiendo del porcentaje de material que predomina, así es nombrado el suelo, por ejemplo: limo arenoso, arcilla limosa, entre otros.

- Tipos de suelos más comunes
 - Gravas

“Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Sus partículas varían desde 7,62 cm (3”) hasta 2,0 mm.”¹⁰

- Arenas

“La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2mm y 0,05 mm de diámetro.”¹¹

¹⁰VILLALAZ, op. Cit., p. 21.

¹¹Ibídem, p. 22.

- Limos

“Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05 mm y 0,005mm.”¹²

- Arcillas

“Se da el nombre de arcillas a las partículas sólidas con diámetro menor de 0,005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.”¹³

- Clasificación de los suelos

Existen dos métodos para clasificar el suelo:

- Sistema de clasificación de los suelos AASHTO (American Association of State High-way and Transportation Officials), que es utilizado principalmente para clasificar suelos en función de su adaptabilidad para ser usados en carreteras y caminos.
- Sistema unificado de la clasificación de los suelos SUCS, que clasifica el suelo según sus propiedades de plasticidad, siendo un sistema adecuado para analizar el suelo que se presenta para el diseño de cimentaciones de torres de transmisión eléctrica, estudio que es utilizado también para analizar los riesgos en los

¹² Ibíd.

¹³ Ibíd.

procedimientos de excavación. Esta clasificación está basada tanto en las propiedades de plasticidad como en la distribución del tamaño de grano, ya sea suelos de grano grueso (grava y arena) o suelos de grano fino (limos y arcillas). Se representa mediante letras que significan:

- G: grava.
- S: arena.
- M: limo.
- C: arcilla.
- O: orgánico.
- P: pobremente graduado (indica que el suelo contiene variedad en el tamaño de grano, aunque predomine uno de ellos).
- W: bien graduado (indica que en el suelo hay predominio de un tamaño de grano).
- H: alta plasticidad.
- L: baja plasticidad.

4.1.3.3. Consistencia

La consistencia se define como el grado de cohesión de las partículas de una masa de suelo, y está en función de la cantidad de agua presente. La consistencia se estudia para suelos arcillosos, ya que una arcilla estable con buenas características de dureza puede estar referida a que su plasticidad es nula, pero la arcilla con gran contenido de agua puede representar un material plástico líquido o semilíquido. Existen límites de consistencia basados en que los suelos finos en su medio natural pueden encontrarse en diferentes estados dependiendo del contenido de agua, es decir, el contenido de agua con que se

produce el cambio de estado, por ejemplo, la arcilla puede pasar de un estado sólido a un estado plástico, y como última fase a un estadio líquido. Es importante conocer estos límites para establecer el comportamiento plástico del suelo, que es la propiedad que se caracteriza por la existencia de deformación sin producirse grietas.

4.1.3.4. Resistencia a corte del suelo

Se entiende por resistencia al corte del suelo la máxima resistencia del suelo a fracturarse y a que sucedan fallas por deslizamientos. Es importante conocer la resistencia al corte del suelo para analizar los problemas de capacidad de carga y presiones laterales sobre estructuras de contención de tierra, que pueden ser las entibaciones que se realizan como método de protección al desprendimiento del suelo al realizar las excavaciones.

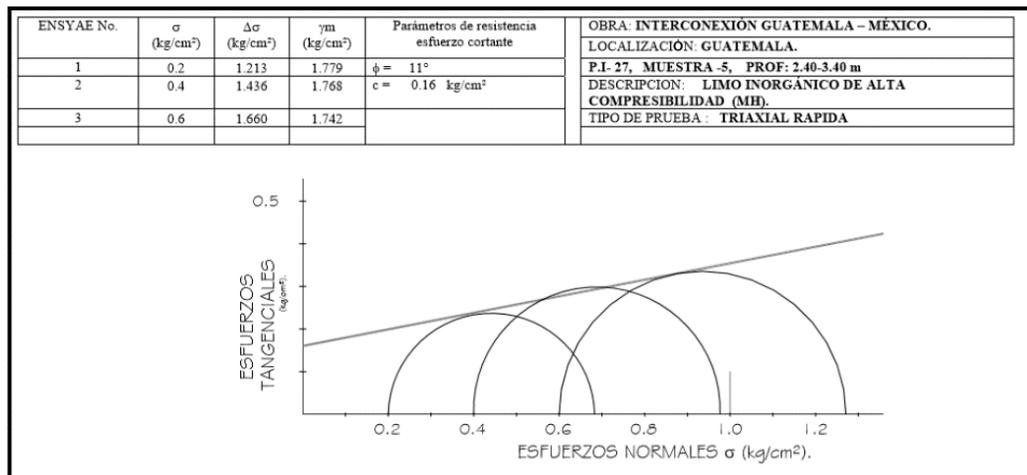
- Pruebas en campo:
 - Ensayo de penetración estándar (SPT)
 - Ensayo de cono de penetración (CPT)
 - Ensayo de penetrómetro de bolsillo
 - Ensayo de corte con veleta

4.1.3.4.1. Ensayo de compresión triaxial

Es una prueba utilizada para conocer los parámetros de resistencia al corte del suelo, siendo uno de los métodos más versátiles para el estudio del suelo respecto a su esfuerzo y deformación. Las ventajas de este ensayo son que puede producirse un estado de tensiones similares a aquellas en que el

suelo se encuentra naturalmente, y puede revelar una superficie débil con relación a la naturaleza de la estructura del suelo. Se realiza esta prueba para conocer la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo, que son necesarios para el diseño de un sistema de entibación adecuado. En la figura 22 se puede observar un ejemplo de cómo se presentan los resultados del ensayo triaxial.

Figura 22. Ejemplo de informe de ensayo triaxial



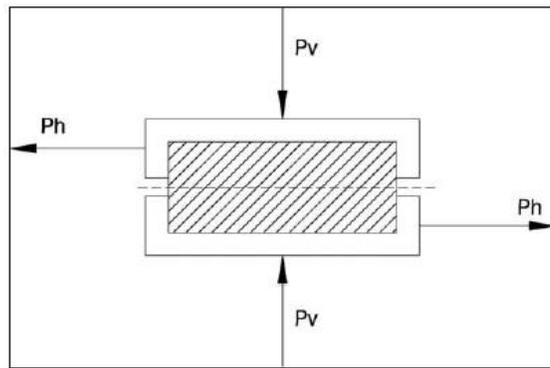
Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Informe del estudio de mecánica de suelos. Interconexión eléctrica Guatemala-México LT 400 kv. División de Planeación e Ingeniería. Departamento de Líneas de Transmisión.

4.1.3.4.2. Ensayo de corte directo

Este ensayo induce la ocurrencia de una falla a través de un plano donde actúan dos fuerzas o esfuerzos, un esfuerzo que genera una tensión normal y un esfuerzo cortante generado por una fuerza tangencial, como se muestra en la figura 23. La ventaja de este ensayo es la facilidad de realizarlo e interpretarlo, y una de las desventajas es que la superficie de rotura no es

necesariamente la más débil y la distribución de las tensiones no es uniforme. Si se desean conocer únicamente los parámetros de suelo como la cohesión y el ángulo de fricción interna, los valores que brinda el ensayo de corte directo son bastante aceptables.

Figura 23. **Aplicación de esfuerzos para ensayo de corte directo**



Fuente: DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P.56.

4.2. Estudio geológico

Guatemala se encuentra ubicada sobre una porción terrestre geológicamente muy activa y una muestra de ello es su actual actividad volcánica. El ingeniero debe tener un conocimiento pleno de la geología de la zona, es decir, del origen y naturaleza del suelo, así como de las condiciones del agua del subsuelo. En el estudio geológico se establecen las características del suelo que forman el territorio en estudio, indica la existencia de depósitos de limos, arenas y arcillas. Es de mucha importancia conocer las zonas tropicales, la temperatura promedio, la precipitación pluvial que indique en qué época del año las lluvias son abundantes, las condiciones de vegetación, el clima que predomina, así como las características eólicas como registros de velocidad del viento y las características sísmicas de la zona.

5. MÉTODOS DE PROTECCIÓN PARA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

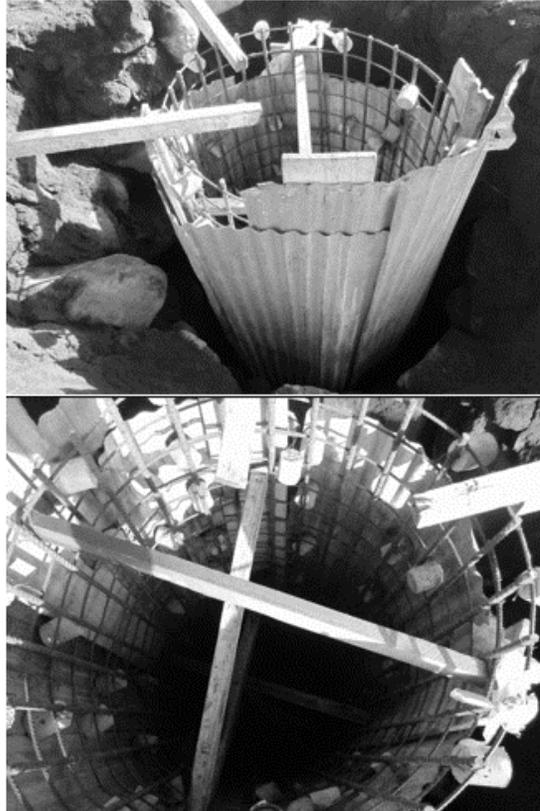
Las excavaciones son trabajos en los que se producen con frecuencia accidentes a causa del desprendimiento del suelo. Existen sistemas de protección que se implementan para reducir los accidentes al realizar los procesos de excavación. El uso de cualquier tipo de método o combinaciones de estos está en función del espacio, tipo de suelo, dimensiones, profundidad, agentes y condiciones naturales.

Las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala establecen que: “si la posibilidad de falla de un talud o de las paredes de la excavación es alta, se debe adjuntar un sistema de sostenimiento provisional por medio de puntales o ademes”.¹⁴ Como también se establece, en el artículo 144 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, que los trabajos de excavación deben adoptar precauciones necesarias para evitar derrumbamientos, según la naturaleza y condiciones del terreno.

Generalmente se debe de considerar peligrosa toda excavación que alcance una profundidad de 0,80 metros en terrenos inestables y 1,30 metros en terrenos consistentes. En la figura 24 se puede observar el sistema de entibación realizado para un suelo arenoso, el cual no es el más adecuado para el fin que se propone.

¹⁴ Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES. *Estudios geotécnicos y de microzonificación NSE 2.1-10*. P. 25.

Figura 24. **Entibación realizada en suelo arenoso**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. División de Planeación e Ingeniería.
Departamento de Líneas de Transmisión.

Debido a la importancia de dar a conocer los métodos de protección de excavaciones, para este y cualquier otro tipo de suelo que presente un riesgo para los trabajadores, se presentan a continuación los distintos tipos de sistemas de entibación.

5.1. Sistemas de entibación

Los sistemas de entibación son estructuras de contención provisionales y flexibles, instaladas para soportar los posibles desprendimientos de las paredes

de una excavación, generalmente realizados con madera. El tipo de sistema de entibación es determinado en función de las características del suelo en el que se realizará la excavación. Con los sistemas de entibación se brinda una protección adecuada para las personas que se encuentran trabajando dentro de la excavación y corren el riesgo de quedar soterradas por el desprendimiento de las paredes de esta.

La seguridad industrial, en su análisis de los sistemas de entibación, fomenta no solo la seguridad de los trabajadores sino también la estabilidad psicológica de estos, para trabajar en un ambiente seguro, lo que aumenta en cierta forma la productividad y calidad de los trabajos que se realizan. Para aplicar un sistema de entibación el profesional competente, encargado de realizar los trabajos de forma segura, deberá tener un criterio apropiado, tanto para establecer un sistema de entibación como para sustituirlo por otro que cumpla la función de mitigar el riesgo del desprendimiento de tierras. Agregado a esto, se debe considerar un sistema de entibación, dependiendo de las condiciones del terreno y de cuando la profundidad de la excavación sobrepase los 1,3 metros, o existan en las cercanías cimentaciones de edificaciones o movimientos inducidos por cargas viales.

5.1.1. Elementos que componen un sistema de entibación

Un sistema de entibación está compuesto por elementos, ya sea de madera o metálicos, que brindan rigidez al sistema. Dichos elementos pueden ser tablaestacas, puntales y largueros, como se muestra en la figura 25.

5.1.1.1. Tablaestacas

Las tablaestacas son elementos utilizados en estructuras temporales, comúnmente pueden ser de madera, de acero y, comercialmente, también de aluminio. El objetivo de la tablestaca es contrarrestar el momento flexionante máximo, transmitiendo dicha carga lateral desde el suelo hasta los largueros, que transmiten la carga a la tablaestaca opuesta, funcionando todo como un sistema en donde se reparten los esfuerzos en todos los elementos que la conforman. Las tablaestacas de madera se usan solo para estructuras ligeras temporales, arriba del nivel freático.

5.1.1.2. Puntales

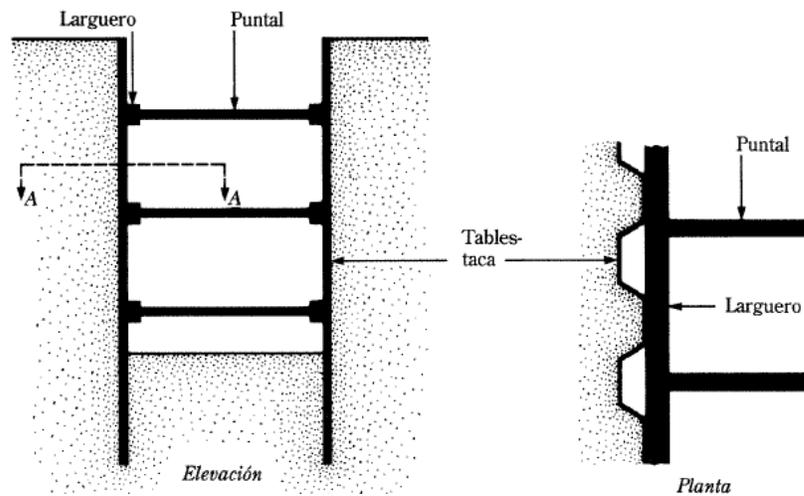
Un puntal cumple la función de una columna horizontal sujeta a flexión. La capacidad de carga de las columnas depende de la relación de esbeltez, cuyo efecto puede reducirse proporcionando soportes verticales y horizontales en puntos intermedios. Cuando los lados de las entibaciones son anchos se hace necesario el empalme de los puntales. Los puntales se utilizan como soporte lateral en las entibaciones, contrarrestando el empuje horizontal del suelo. Los puntales deben tener un espaciamiento vertical mínimo de aproximadamente 2,75 metros o un poco más. Existen varios tipos de puntales, entre ellos los puntales de madera y los puntales metálicos extensibles.

5.1.1.3. Largueros

Son elementos colocados de manera horizontal continua, si los empalmes se realizan de forma adecuada. Se pueden tratar como si estuvieran articulados en los dos puntales. Los largueros están en contacto en toda su longitud con la

pared de la excavación. También trabajan a flexión, reparten y distribuyen la carga.

Figura 25. Elementos de un sistema de entibación



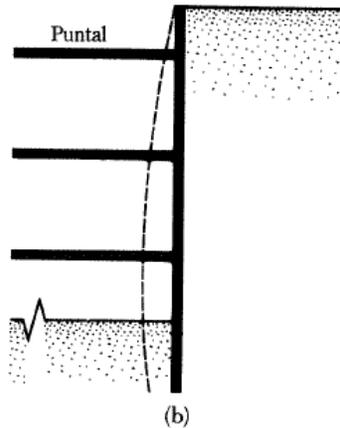
Fuente: DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P.440

5.1.2. Criterios básicos de diseño

Para diseñar los sistemas de entibación, que conlleva seleccionar largueros, puntales y tablaestacas, un ingeniero o profesional competente debe estimar la presión lateral del suelo a la que la entibación estará sometida.

Como se observa en la figura 26, la deformación de las paredes de la excavación aumenta gradualmente con la profundidad de la excavación, esta variación depende tanto de la profundidad de la excavación como del tipo de suelo.

Figura 26. **Diagrama de esfuerzos que el suelo aplica a las entibaciones**

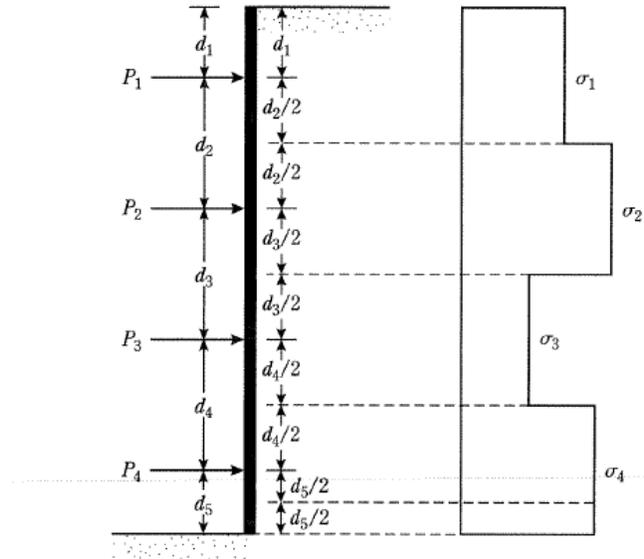


Fuente: DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P.312

5.1.2.1. Envoltentes de presión

La presión lateral de la tierra no es constante, varía de lugar en lugar, es por eso que la función de la envolvente de presión es esquematizar las presiones a las que se encuentra sometida la entibación en los diversos estratos de suelo. Los puntales son diseñados para la carga máxima a la que estarán sometidos, es por eso que las envolventes de presión son diagramas desarrollados por observaciones de campo, a partir de las cargas medidas en los puntales, como se observa en la figura 27.

Figura 27. **Diagrama de presión horizontal aparente en función de las cargas medidas en los puntales**



Fuente: DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P.442

5.1.2.2. **Envolvente de presiones para cortes en suelos estratificados**

En algunas ocasiones, cuando se construye una entibación, se encuentran estratos diversos de suelo. Estos pueden ser arcilla y arena, cuyas envolventes de momento para los diseños se indican en figura 28.

Figura 28. **Envolvente de presión para arcillas y arenas**

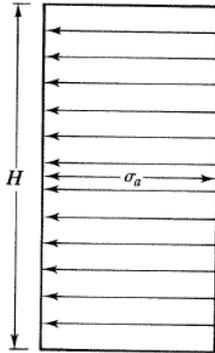


Figura 10.5 Envolverte de presión aparente para cortes en arena según Peck (1969)

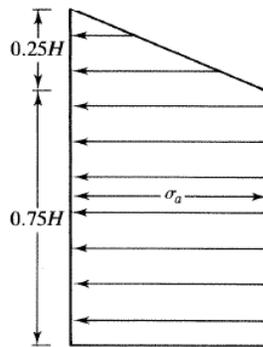


Figura 10.6 Envolverte de presión aparente para cortes en arcillas blandas y medias según Peck (1969)

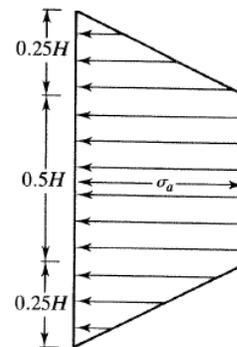


Figura 10.7 Envolverte de presión aparente para cortes en arcilla firme según Peck (1969)

Fuente: DAS, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. P. 506

5.1.3. Materiales de entibación

5.1.3.1. Madera

La madera es un material de uso importante para las entibaciones. La mayoría de las entibaciones son realizadas con este material, debido a su bajo costo en comparación a otros materiales y a su fácil acceso al área de trabajo. El uso de madera está restringido cuando las excavaciones son profundas, existe presencia de agua y el uso es únicamente de carácter provisional. La madera también tiene un tiempo de vida útil, esto debido a su origen orgánico. Los elementos de madera que conforman las entibaciones son colocados después de realizada la excavación, lo que pone en riesgo a los trabajadores durante su colocación, por lo que el profesional competente debe controlar la colocación del sistema de protección con mayor precaución.

La madera puede ser sustituida por entibaciones metálicas, debido a que el uso de esta supone un costo y tiempo considerable por instalación. La entibación en madera debe ser construida con madera estructural, con dimensiones calculadas según el esfuerzo a que estará sometida. En la tabla II se hace una comparación de las ventajas y desventajas de la utilización de la madera como material para entibación.

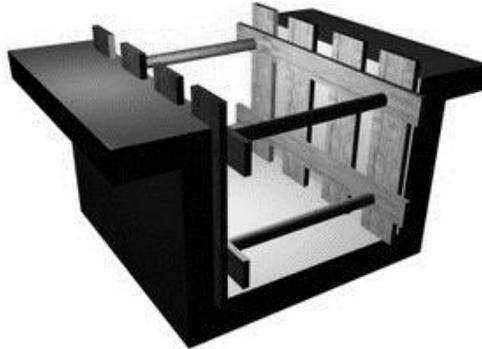
Tabla II. **Ventajas y desventajas de una entibación en madera**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es modulable, permitiendo diferentes anchos de la excavación. • Material comúnmente usado en construcción. • Cuenta con disponibilidad en sus elementos. • Su costo es bajo en comparación a otros materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Está limitada para excavaciones poco profundas. • Construcción lenta. • Cuenta con poca vida útil. • Mayor uso de mano de obra. • Existen factores de riesgo en su construcción y desinstalación. • Los elementos de madera están expuestos a sufrir cambios, como hinchamientos, torsión u otras deformaciones.

Fuente: ACHS. *Manual de control de riesgos para excavaciones*. P. 18

En la figura 29 se observa un ejemplo de entibación con elementos de madera.

Figura 29. **Entibación con elementos de madera**



Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. *Entibaciones de madera*.

<http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/07/21/entibaciones-de-madera/>. Consulta: enero de 2017.

5.1.3.1.1. Características generales de la madera para entibaciones¹⁵

- Madera resinosa, de fibra recta de pino.
- La madera no debe presentar principio de pudrición.
- Contenido de humedad no mayor al 15 %.
- Módulo de elasticidad superior a 90 000 kilogramos sobre centímetro cuadrado.
- Resistencia a esfuerzo cortante, en dirección perpendicular a la fibra, mayor o igual a 50 kilogramos sobre centímetro cuadrado.

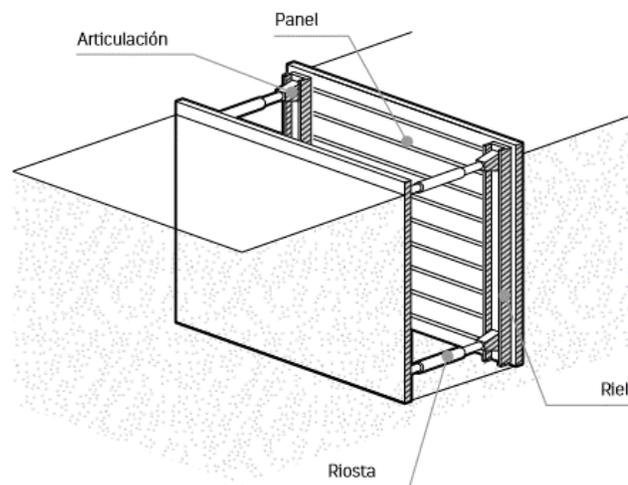
5.1.3.2. Metal

El metal es uno de los materiales que brinda al sistema de entibaciones una mayor estabilidad y resistencia. Se recomienda el uso de este material en excavaciones de profundidad superior a 6 metros, o cuando se deban soportar

¹⁵ NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Zanjas y pozos*. P. 5

presiones laterales mayores. Los elementos metálicos que forman parte de este tipo de entibación son tablaestacas metálicas y puntales metálicos. Este tipo de elementos tiene una estructura modular y flexible, fabricada industrialmente, que puede ser utilizada en cualquier tipo de suelo. En la figura 30 se observan los elementos que forman parte de una entibación metálica. El panel que se observa en la figura tomaría el lugar de la tablaestaca metálica y la riosta tomaría el lugar de los puntales metálicos.

Figura 30. **Partes que conforman un sistema de entibación metálica**



Fuente: ACHS. *Manual de control de riesgos para excavaciones*. P. 22

En la tabla III se realiza una comparación de las ventajas y desventajas de utilizar elementos metálicos para las entibaciones.

Tabla III. **Ventajas y desventajas de una entibación metálica**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Brinda seguridad a los trabajadores, debido a que la excavación ya se encuentra protegida antes que los trabajadores entren. • Adaptación de los elementos al ancho y profundidad de la excavación. • Rápida ejecución. • Son permitidas en excavaciones profundas. • Cuenta con mayor resistencia para contrarrestar los esfuerzos de empuje. • Reducción de mano de obra para su colocación y retiro. • Cuenta con mayor vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere mano de obra calificada para su instalación y desinstalación. • Costo alto por el suministro del servicio. • Costo alto por traslado.

Fuente: ACHS. *Manual de control de riesgos para excavaciones*. P. 22

5.1.4. Tipos de sistemas de entibación

Para el diseño de las entibaciones se debe tomar en cuenta que la entibación deber ser dimensionada para soportar las cargas máximas aplicando un factor de seguridad. Dicha carga es considerada como la más desfavorable para el sistema. Cuando existan sobrecargas producto del paso de maquinaria o cualquier vehículo pesado, que sea un riesgo para la estabilidad de las paredes de la excavación, la entibación debe ser reforzada.

5.1.4.1. Entibaciones verticales

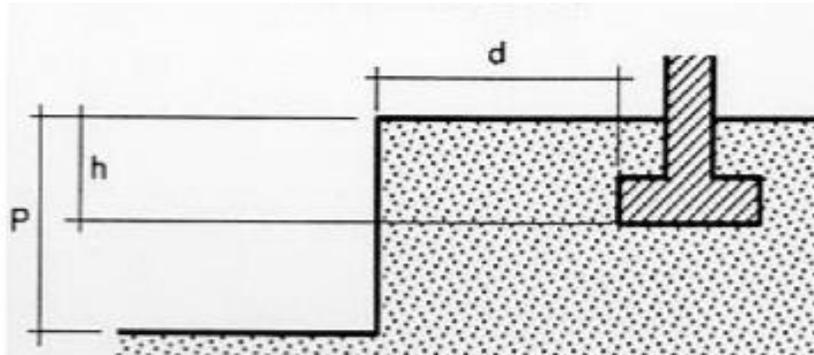
Regularmente las entibaciones horizontales son implementadas en zanjas. En el caso de las excavaciones de torres de transmisión eléctrica, el corte de la excavación es vertical, lo que quiere decir que su profundidad es mayor a su sección de corte. La entibación vertical es requerida cuando el terreno no presenta la suficiente cohesión o no se tiene garantía de ello.

Independientemente de que se realice la entibación con tablas verticales u horizontales, si por las condiciones del terreno es necesario cubrir totalmente las paredes de la excavación, a este tipo de entibación se le denomina cuajada. Si por las características del terreno es necesario cubrir el 50 % de las paredes de la excavación, se le denomina a este tipo de entibación semicuajada. Y si a criterio de la persona competente y con base en los estudios realizados, se concluye que es menos la proporción para cubrir las paredes de la entibación, se le denomina entibación ligera.

Los sistemas de entibaciones verticales que se detallan a continuación están restringidos a excavaciones realizadas con medios manuales o mecánicos, con ancho o diámetro no mayor de 2 metros, ni profundidad superior a 7 metros, y donde el nivel freático no sea un factor influyente.

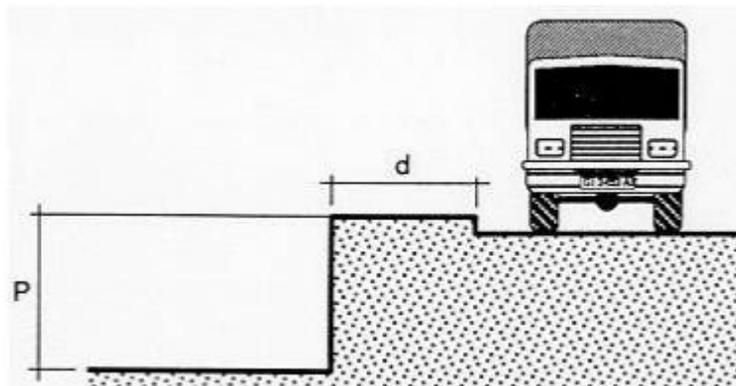
Para conocer el tipo de entibación necesaria para un suelo dado, el primer análisis que se debe realizar es conocer la proximidad de las cimentaciones existentes a la excavación, y la cercanía de las carreteras por donde transitan vehículos, como se observa en las figuras 31 y 32.

Figura 31. **Corte vertical junto a cimentación**



Fuente: NTP 278, Zanjas. *Prevención del desprendimiento de tierras*. P. 7

Figura 32. **Corte vertical junto a vial**



Fuente: NTP 278, Zanjas. *Prevención del desprendimiento de tierras*. P. 7

La tabla IV es útil para conocer el tipo de entibación a realizar en función del tipo de terreno, proximidad de excavaciones y carreteras y profundidad de las excavaciones a realizar.

Tabla IV. **Elección del tipo de entibación mínima en función del tipo de terreno**

Tipo de terreno	Solicitud	Tipo de corte	Profundidad P del corte en metros			
			< 1,30	1,30 - 2	2,00 - 2,50	>2,50
Coherente	Sin solicitud	Zanja	*	Ligera	Semicuajada	Cuajada
		Pozo	*	Semicuajada	Cuajada	Cuajada
	Solicitud vial	Zanja	Ligera	Semicuajada	Cuajada	Cuajada
		Pozo	Semicuajada	Cuajada	Cuajada	Cuajada
	Solicitud de cimentación	Cualquiera	Cuajada	Cuajada	Cuajada	Cuajada
Suelto	Cualquiera	Cualquiera	Cuajada	Cuajada	Cuajada	Cuajada

* Entibación no necesaria en general

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 1

En el artículo 150 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 se indica que se debe realizar la entibación adecuada a cada clase de terrenos en los pozos circulares. Esta entibación debe consistir en un revestimiento de blindaje efectuado con tablas estrechas o con piezas especiales que se adopten a la curva, mantenida verticalmente en su posición mediante una serie de arcos o cinchos de hierro extensibles y regulados por cualquier procedimiento mecánico o bien por medio de cuñas.

A continuación se detallan los parámetros de diseño para los sistemas de entibación, en función del grueso del tablero y el diámetro del codal. Entiéndase por codal el elemento utilizado en excavaciones que toma la función de un puntal.

5.1.4.1.1. Grueso del tablero “E”

- Entibación semicuajada

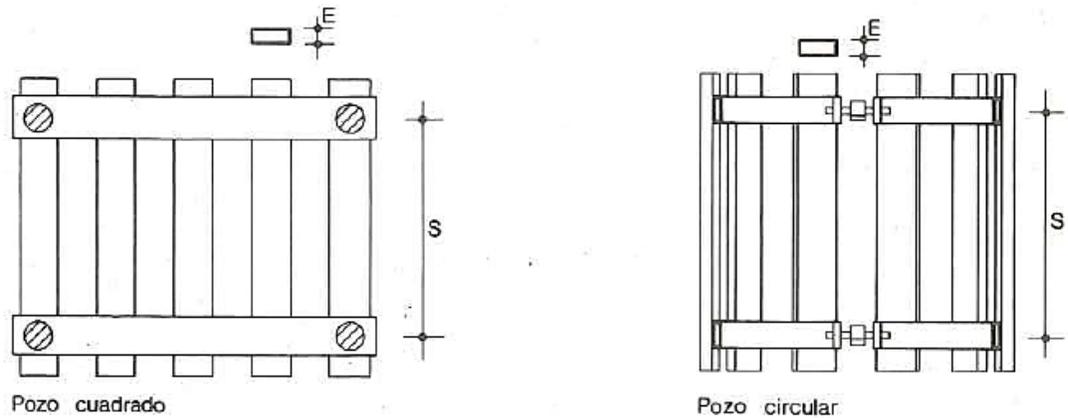
La tabla V se utiliza para determinar la separación vertical S en centímetros entre ejes de apoyo, en función del grueso mínimo “E” en milímetros del tablero con entibación semicuajada, en excavaciones donde el empuje total “q” se especifica en kilogramo sobre centímetro cuadrado, o viceversa. El esquema de entibación se muestra en la figura 33. Se adapta el término pozo a las excavaciones para cimentación de torres, ya que este término es utilizado cuando la profundidad es mayor que la sección de la excavación, lo que la diferencia de una zanja.

Tabla V. **Determinación de la separación vertical “S”**

Grueso mínimo del tablero E en mm						Separación vertical S en cm
20	25	30	52	65	76	
0,17	0,27	0,39	1,20	1,87	2,53	30
0,06	0,10	0,14	0,43	0,68	0,92	50
		0,06	0,19	0,30	0,41	75
			0,10	0,16	0,23	100
Empuje q en kg/cm²						

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

Figura 33. **Simbología de entibación semicujada, aplicada a la tabla V**



Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos*. P. 3

- Entibación cuajada

La tabla VI se utiliza para determinar la separación horizontal “A” en centímetros, en función del grosor mínimo “E” en milímetros del tablero con entibación cuajada, para excavaciones de pozos cuadrados, respectivamente, y del empuje total “q” en kilogramos sobre centímetro cuadrado, o viceversa. El esquema de entibación se muestra en la figura 34. Se adapta el término pozo a las excavaciones para cimentación de torres, ya que este término es utilizado cuando la profundidad es mayor que la sección de la excavación, lo que la diferencia de una zanja.

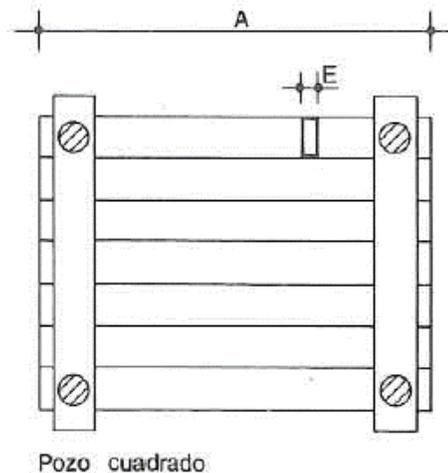
Tabla VI. **Determinación de la separación horizontal “A”**

Grueso mínimo del tablero E en mm			Separación horizontal M o A en cm
52	65	76	
0,21	0,33	0,46	100
0,13	0,21	0,29	125
0,07	0,15	0,20	150
0,05	0,09	0,15	175
0,03	0,06	0,10	200

Empuje q en kg/cm²

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

Figura 34. **Simbología de entibación cuajada, aplicada a la tabla VI**



Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3.

La tabla VII se utiliza para determinar la separación horizontal “S” en centímetros, entre ejes de apoyo, en función del grueso mínimo “E” en milímetros del tablero con entibación cuajada en excavaciones de pozos de planta circular, y del empuje total “q” en kilogramos sobre centímetro cuadrado, o viceversa. El esquema de entibación se muestra en la figura 35.

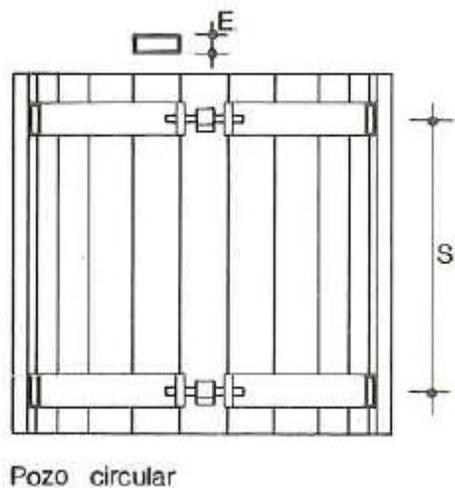
Se adapta el término pozo a las excavaciones para cimentación de torres, ya que este término es utilizado cuando la profundidad es mayor que la sección de la excavación, lo que la diferencia de una zanja.

Tabla VII. **Determinación de la separación horizontal “S”**

Grueso mínimo del tablero E en mm						Separación vertical S en cm
20	25	30	52	65	76	
0,35	0,55	0,79	2,40	3,75	5,06	30
0,12	0,20	0,28	0,86	1,35	1,84	50
	0,07	0,12	0,38	0,60	0,82	75
		0,05	0,21	0,33	0,46	100
Empuje q en kg/cm²						

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

Figura 35. **Simbología de entibación cuajada, aplicada a la tabla VII**



Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

5.1.4.1.2. Grueso del cabecero

El diseño en función del grueso del cabecero es importante para conocer la separación mínima entre codales para un pozo de sección cuadrada. La tabla VIII se utiliza para determinar la separación vertical "S" para un pozo cuadrado con entibación semicuajada. El esquema de entibación se muestra en la figura 36.

- Entibación semicuajada

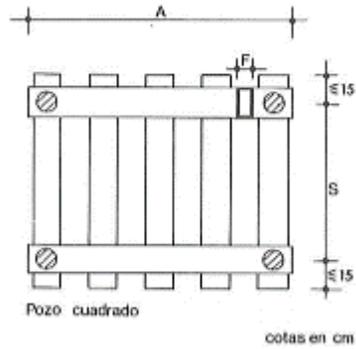
Tabla VIII. Determinación de la separación vertical S para un pozo cuadrado con entibación semicuajada

Grueso mínimo del cabecero F en mm			Separación vertical S + 30 en cm	Separación horizontal M o A en cm
52	65	76		
0,12	0,20	0,27	50	100
0,08	0,12	0,17	50	125
0,04	0,05	0,12	50	150
	0,05	0,09	50	175
0,10	0,16	0,22	60	100
0,06	0,10	0,14	60	125
	0,07	0,10	60	150
	0,04	0,07	60	175
0,08	0,12	0,18	75	100
0,05	0,08	0,10	75	125
		0,08	75	150
0,07	0,12	0,16	80	100
0,05	0,07	0,10	80	125
	0,05	0,07	80	150
00,6	0,10	0,12	100	100
	0,06	0,08	100	125
00,5	0,09	0,12	105	100
	0,05	0,08	105	125

Empuje q en kg/cm²

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

Figura 36. **Simbología aplicada a la tabla VIII**

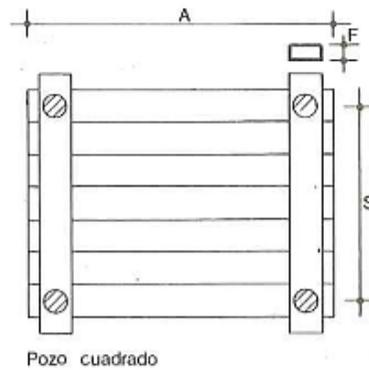


Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

- **Entibación cuajada**

La tabla IX se utiliza para determinar la separación vertical “S” para un pozo cuadrado con entibación cuajada. El esquema de entibación se muestra en la figura 37.

Figura 37. **Simbología aplicada a la tabla IX**



Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 3

Tabla IX. **Determinación de la separación vertical S para un pozo cuadrado con entibación cuajada**

Grueso mínimo del cabecero F en mm			Separación vertical S en cm	Separación horizontal A en cm
52	65	76		
0,72	1,12	1,52	30	100
0,40	0,62	0,86	40	
0,24	0,40	0,54	50	
0,18	0,28	0,38	60	125
0,56	0,90	1,20	30	
0,32	0,50	0,68	40	
0,20	0,32	0,44	50	150
0,14	0,22	0,30	60	
0,48	0,74	1,00	30	
0,26	0,42	0,56	40	175
0,16	0,26	0,36	50	
0,12	0,18	0,24	60	
0,40	0,64	0,86	30	200
0,22	0,36	0,48	40	
0,14	0,22	0,30	50	
0,10	0,16	0,22	60	200
0,36	0,56	0,76	30	
0,20	0,30	0,42	40	
0,12	0,20	0,26	50	200
0,08	0,14	0,18	60	

Empuje q en kg/cm²

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos*. P. 4

5.1.4.1.3. Diámetro mínimo del codal

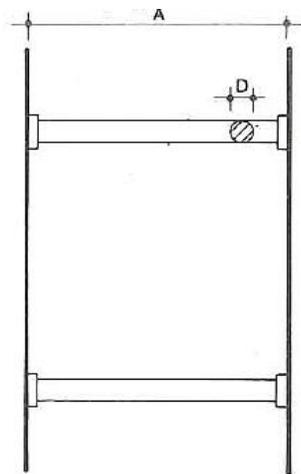
La tabla X se utiliza para determinar el diámetro mínimo “D” en centímetros, del codal de longitud no mayor de 2 metros, libre de pandeo y de aplastamiento, y que está en función del empuje horizontal “H” en kilogramos que soporta, o viceversa. El esquema de entibación se muestra en la figura 38.

Tabla X. **Diámetro mínimo de codal**

H max. en kg.	1.570	1.900	2.260	2.650	3.080	3.530
D en cm	10	11	12	13	14	15

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P. 4

Figura 38. **Simbología aplicada a la tabla X**



Siendo:

En zanjas con entibación:

Ligera:

$$H = 1,50q \cdot M \cdot S$$

Cuajada o semicuajada:

$$H = 0,75q \cdot M \cdot S$$

En pozos cuadrados con entibación
cuajada o semicuajada:

$$H = 0,50q \cdot A \cdot S$$

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos.* P.4

5.1.4.1.4. **Determinación de la presión radial para los tensores circulares**

La tabla XI se utiliza para determinar el mínimo valor de la presión radial "Q" en kilogramos sobre centímetro cuadrado, del tensor circular en función del empuje "q" en kilogramo sobre centímetro cuadrado, y de la separación "S" en

centímetros entre tensores, o viceversa, en entibaciones cuajadas y semicujadas de pozos con planta circular. El esquema de entibación se muestra en la figura 39.

Tabla XI. **Valor mínimo de la presión radial Q**

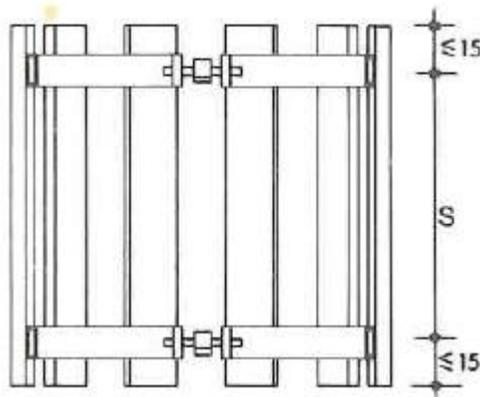
Siendo $q^* = 1,50q$

Separación vertical $S + 30$ en cm	Empuje q^* en kg/cm ²											
	$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,25	1,50
≤ 50	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	31	38
100	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	62	75

Presión radial Q en kg/cm

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos*. P. 4

Figura 39. **Simbología aplicada a la tabla XI**



Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos*. P. 4

5.1.5. Empuje del suelo en función del diseño de la entibación

Para la determinación del empuje total del suelo en función de la profundidad y el tipo de suelo, se puede usar la tabla XII como referencia para diseño de entibación.

Tabla XII. **Empuje del suelo en función del tipo del suelo y profundidad de la excavación**

Tipo de terreno		1	2	3	4	5	6	7
Arenas y gravas	Secos o casi secos y limpios de arcillas o limos	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Arenas arcillosas o limosas, arcillas arenosas o limosas	Secos o casi secos (**) y compactos a muy densos ($N \geq 15$) o firmes a duros ($q_u \geq 1$)	0,04	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26
	Húmedos en general Secos o casi secos y sueltos a compactos ($3 < N < 15$) o blandos a firmes ($q_u < 1$) ($c \geq 0,1$)	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46
Arcillas y limos	Medios a duros ($q_u \geq 0,5$)	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42
	Blandos a medios ($q_u < 0,5$) ($c \geq 0,1$) Firme a nivel de fondo	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56
	Blandos a medios ($q_u < 0,5$) ($c \geq 0,1$) Firme profundo	0,12	0,25	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84
		Empuje del terreno q_e en kg/cm² (*)						

(*) No se incluye la sobrepresión por cambios de volumen de suelos expansivos

(**) Para apertura prolongada del corte tómese los valores de la línea inmediata inferior

Fuente: NTE-ADZ 1976. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes, zanjas y pozos*. P. 2

5.1.6. Seguridad en los sistemas de entibación

Las entibaciones deben revisarse antes de comenzar los trabajos, tensando codales que pudieron haberse aflojado, como se observa en la figura 40. Cuando existen interrupciones de trabajo de más de un día, o luego de lluvias, la inspección de las entibaciones deberá de ser más controlada.

No se sabe con certeza si las condiciones del terreno pueden cambiar a las presentadas en el inicio de la excavación, por lo que se debe tener mayor

precaución en el proceso de desentibación, ya que, en algunos casos, dependiendo de las condiciones del terreno, es preferible perder el material de entibación que poner en peligro a los trabajadores que retiran dicho sistema. El proceso de desentibación se debe realizar de abajo hacia arriba, procurando realizar este proceso fuera de la excavación y en pequeñas etapas.

Figura 40. **Inspección de los sistemas de entibación**



Fuente: *Inspección de los sistemas de entibación.*

<http://www.americanpipeline.org/ToolBox/Spanish/ExcavationAndTrenching.pdf>. Consulta:
diciembre de 2016.

6. TRABAJOS EN RECINTOS CONFINADOS

Un recinto confinado es una abertura limitada de entrada y salida, es decir un recinto cerrado donde la ventilación natural es desfavorable. A profundidades mayores, como es el caso de cimentaciones profundas, puede existir deficiencia de oxígeno, o bien, presencia de gases o contaminantes tóxicos, que representan un riesgo considerable para la salud de los trabajadores, tanto en la inhalación de estas sustancias como en la falta permanente de oxígeno.

El tipo de espacio confinado correspondiente a las excavaciones profundas para las cimentaciones de torres es del tipo abierto por su parte superior y su profundidad dificulta la ventilación natural. El acceso a este tipo de espacio confinado se debe a que este tipo de excavaciones es realizado de forma manual, y el tiempo en que el trabajador se encuentra expuesto es considerable a la profundidad de la excavación y la actividad que realice dentro de esta, como colocación y centrado de la armadura de cimentación.

En el artículo 143 del ACUERDO GUBERNATIVO 229-2010 se establece que, cuando se realicen trabajos en espacios confinados en los que exista limitada entrada de aire y ventilación natural desfavorable, o donde pueda acumularse concentración de tóxicos o inflamables, o exista una concentración limitada de oxígeno, deben tenerse en cuenta las precauciones mínimas siguientes:

- Se requiere un ayudante en el exterior para actuación y procedimiento de emergencia.

- Antes de iniciar los trabajos se debe garantizar la ausencia de residuos de sustancias tóxicas o inflamables.
- Asegurar una adecuada calidad del aire interior, con una concentración de sustancias tóxicas por debajo de los niveles permisibles.

6.1. Riesgos generales

Dentro de los riesgos generales se encuentran:

- Atrapamientos, choques o golpes.
- Caídas a distinto y al mismo nivel.
- Riesgos por falta de comunicación del interior al exterior.
- Entorno ambiental extremo, es decir ambientes fríos o calurosos, que puede dar como consecuencia un riesgo en la salud física del trabajador, como fatiga.

6.2. Riesgos específicos

Son los generados por una atmósfera peligrosa, que pueden dar origen a los siguientes riesgos:

- Asfixia

El porcentaje de contenido de oxígeno en el aire es del 21 %. Al reducirse este porcentaje se empiezan a producir los síntomas de asfixia, que se agravan en función de la disminución de este porcentaje.

En la tabla XIII se describe la relación entre las concentraciones de oxígeno, el tiempo de exposición y las consecuencias.

Tabla XIII. Relación entre las concentraciones de oxígeno, el tiempo de exposición y las consecuencias

Concentración de Oxígeno %	Tiempo de exposición	Consecuencias
21	Indefinido	Concentración normal de oxígeno en el aire.
20,5	No definido	Concentración mínima para entrar sin equipos con suministro de aire.
18	No definido	Se considera atmósfera deficiente en oxígeno según la normativa norteamericana ANSI Z1 17.1 -1977. Problemas de coordinación muscular y aceleración del ritmo respiratorio.
17	No definido	Riesgo de pérdida de conocimiento sin signo precursor.
12 al 16	Seg. - min.	Vértigo, dolores de cabeza, disneas e incluso algún riesgo de inconsciencia.
6 al 10	Seg. - min.	Náuseas, pérdida de conciencia seguida de muerte en 6 - 8 minutos.

Fuente: NTP 223. *Trabajos en recintos confinados.*

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_223.pdf. Consulta: 20 de noviembre de 2016.

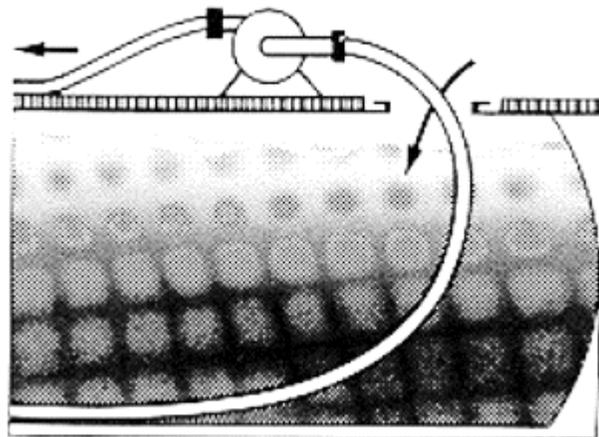
- **Intoxicación**

Se entiende por intoxicación el riesgo o peligro que corre un trabajador cuando se expone a sustancias tóxicas concentradas en el aire, como es el caso de gases. Este tipo de riesgo puede ser extremo cuando se realizan excavaciones en la cercanía de vertederos de basura.

6.3. Medidas preventivas

Una de las medidas preventivas más importantes es la ventilación, tanto previa como cuando se realizan los trabajos dentro de la excavación. Este es un tipo de ventilación forzada, en que se aporta una cantidad de aire donde se renueva la atmósfera interior. Los circuitos de ventilación deben estudiarse correctamente para que el proceso de ventilación sea el adecuado.

Figura 41. **Ventilación de un recinto confinado**



Fuente: NTP 223. *Trabajos en recintos confinados.*

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_223.pdf. Consulta: 20 de noviembre de 2016.

7. PLAN DE SEGURIDAD ADOPTADO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y PELIGROS EN EXCAVACIONES PARA CIMENTACIONES DE TORRES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

7.1. Objetivo

El objetivo del presente plan de seguridad es identificar los riesgos y peligros al momento de realizar las excavaciones, para las cimentaciones de torres de transmisión eléctrica a realizarse en un proyecto dado, estableciendo las medidas de seguridad adecuadas, detallando la metodología de las actividades, para ejecutar los trabajos de forma segura, implementando el uso de entibaciones como método adecuado para la estabilización de las paredes de la excavación.

7.2. Reglamentos y normas a implementar

Las normas que se aplican para el presente plan de seguridad son las siguientes:

- Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional para Guatemala, ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014 realizado en el 2014.
- Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala AGIES NSE 2.10-10.

- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE-ADZ 1976), zanjas y pozos.
- Normas de buenas prácticas NTP 278, prevención del desprendimiento de tierras.
- Normas de buenas prácticas NTP 223, trabajos en recintos confinados.

7.3. Alcance

El alcance de este plan abarca los procedimientos necesarios para una correcta ejecución de los trabajos de excavación, implementando el sistema de entibación vertical cuajada con madera.

7.4. Evaluación de riesgos

Tabla XIV. **Evaluación de riesgos**

No.	Riesgo identificado	Medida preventiva
1	Caídas a distinto nivel	Delimitar área de trabajo con cinta reflectiva de alta visibilidad y colocar señales de precaución y advertencia.
		No transitar alrededor de la excavación si no es con el propósito adecuado.
		Utilizar arnés y línea de vida.
2	Caídas al mismo nivel	No correr dentro del área de trabajo.
		Uso de calzado de seguridad industrial adecuado.
		Señalizar zonas resbaladizas.
		Mantener limpia y ordenada el área de trabajo.
3	Caída de objetos	No se debe trabajar en la misma vertical al mismo tiempo.

		<p>Uso obligatorio de casco de seguridad.</p> <p>Tener un orden adecuado de herramientas.</p> <p>Uso obligatorio del equipo de seguridad.</p> <p>Contar con un equipo de izado de cargas que soporte el material que se retira de la excavación.</p> <p>Las entibaciones deben sobrepasar como mínimo 20 cm el nivel superficial del terreno.</p>
4	Desprendimiento de las paredes de la excavación	<p>Uso de casco de seguridad.</p> <p>El producto de la excavación debe acopiarse a una distancia mínima de 0,6 metros.</p> <p>No circular con maquinaria o equipo móvil en las proximidades de la excavación.</p> <p>Limitar la zona de trabajo y respetar las señales de seguridad.</p> <p>Conocer el tipo de suelo para obtener la estabilidad de las paredes de la excavación, con las pruebas normadas de reconocimiento del suelo establecidas.</p> <p>Anotar cualquier peligro en el entorno de la excavación.</p> <p>Adoptar un sistema de entibación para profundidades de excavación mayores a 1,30m.</p> <p>La persona encargada de realizar la excavación debe estar acompañada por un ayudante en el exterior, que dará aviso en caso de cualquier anomalía.</p> <p>La entibación debe ser retirada en sentido opuesto de como fue colocada.</p>
5	Redes subterráneas	<p>Antes de iniciar los trabajos de excavación se debe hacer un levantamiento exacto de posibles redes subterráneas.</p>
6	Mala implementación del equipo y herramienta para realizar la excavación	<p>La utilización del equipo y herramienta para excavar debe atender a las especificaciones indicadas por el fabricante.</p>

		Cada trabajador debe contar con el equipo de protección adecuado para cada herramienta o equipo a utilizar.
7	Ascenso y descenso del material de excavación	Se hará uso de medios mecánicos como un sistema de poleas.
		La carga se tomará firmemente, manteniendo la espalda recta y haciendo flexión en las piernas, para el correcto levantamiento y manejo de la carga.
		Utilización de guantes de seguridad, cascos de protección y botas antideslizantes.
8	Pisada sobre objetos	Mantener la herramienta ordenada, el área de trabajo limpia y dar el uso adecuado al calzado de seguridad.
9	Proyección de partículas	Uso obligatorio de gafas protectoras y mascarilla.
10	Sobreesfuerzos	Solicitar ayuda si la carga es demasiado pesada o adoptar un método resistente de izarse.
11	Ingreso y salida de trabajadores de la excavación	Para excavaciones mayores a 1,2 metros, colocar una escalera sujeta por la parte inferior y superior.
		No utilizar los elementos de la entibación para ingresar o salir de la excavación.
12	Cambio en las condiciones climáticas	Antes de iniciar los trabajos se debe realizar un programa de actividades, tomando en cuenta el clima de la zona.
13	Espacios confinados	Para excavaciones con profundidades mayores a 1,2 metros donde existe posibilidad de una atmósfera peligrosa, se deben realizar pruebas del aire.
		Hacer uso de ventilación o implementar equipo de protección respiratoria adecuada.

Fuente: elaboración propia.

7.5. Medios humanos

Jefe de obra, como persona competente, quien recibió, previamente a la ejecución del proyecto, la inducción de seguridad indicada para los trabajos a

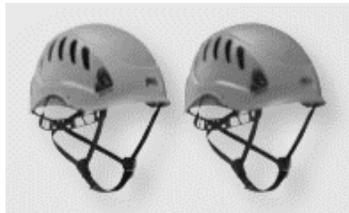
ejecutar. Los trabajadores fueron capacitados con los conocimientos de seguridad en la realización de excavaciones.

Cada excavador cuenta con un ayudante, quien cumple la función de vigilante, que dará aviso en caso suceda una emergencia. Los jefes de obra son los encargados de la supervisión, la cual es una actividad planeada y realizada constantemente, eficiente para detectar los riesgos y peligros que influyan en los trabajadores, regida por un normativo de seguridad.

7.6. Equipo de protección personal

- Casco de seguridad con barbiquejo, como se muestra en la figura 42.

Figura 42. **Casco de seguridad y barbiquejo**



Fuente: *Catálogo PETZL*. www.petzl.com. Consulta: 20 de noviembre de 2015.

- Botas de seguridad antideslizantes, como se observa en la figura 43.

Figura 43. **Botas antideslizantes**



Fuente: *Botas antideslizantes*. <http://www.triv3ntto.com/index.php/ref-trc401-402-bota-de-seguridad>. Consulta: diciembre de 2016.

- chaleco de alta visibilidad, como se observa en la figura 44.

Figura 44. **Chaleco de alta visibilidad**



Fuente: *Chaleco de alta visibilidad*. <http://www.fdsproteccion.com/Chaleco-de-alta-visibilidad-Velilla-145>. Consulta: diciembre de 2016.

- Gafas de seguridad, como se observa en la figura 45.

Figura 45. **Gafas de seguridad industrial**



Fuente: *Gafas de seguridad*. <http://rimacorp.com>. Consulta: diciembre de 2016.

- Guantes de protección mecánica, como se observa en la figura 46.

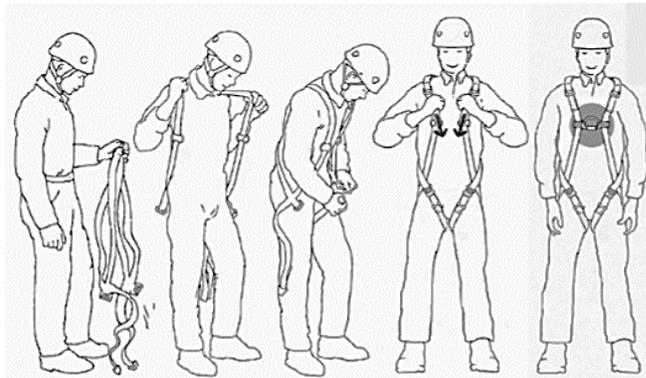
Figura 46. **Guantes de protección**



Fuente: *Guantes de protección*. <http://rimacorp.com>. Consulta: diciembre de 2016.

- Arnés y línea de vida. En la figura 47 se detallan los pasos para la colocación del arnés de seguridad.

Figura 47. **Colocación de arnés de seguridad**



Fuente: *Catálogo PETZL*. www.petzl.com. Consulta: 20 de noviembre de 2015.

En la figura 48 se observa la implementación del arnés y línea de vida. La línea de vida es de uso obligatorio cuando exista el riesgo de caída a distinto nivel.

Figura 48. **Sistema de ascenso y descenso, con la correcta implementación de arnés y línea de vida**



Fuente: *Catálogo PETZL*. www.petzl.com. Consulta: 20 de noviembre de 2015.

7.7. Herramienta y equipo

Por lo recomendado en el estudio de suelos, y por sus características de dureza, el suelo donde se realizará la excavación es tipo II, como se observa en la figura 49, por lo que la herramienta a utilizar será:

- Pala
- Barreta
- Piocha
- Herramienta menor

Figura 49. **Herramientas utilizadas para excavación manual**



Fuente: SARKISSIAN, OLANO, MAZZITELLI. *Suelos de fundación*. www.slideshare.net.

Consulta: septiembre de 2016

7.8. Materiales

Madera de pino, que cumple con las especificaciones indicadas, según ensayos realizados.

Para la entibación serán necesarios los siguientes materiales:

- 48 tablonces de 2" x 12" x 2m (reconocido técnicamente en el sistema de entibación como tablaestaca).
- 12 tablonces de 2" x 12" x 3.70m (reconocido técnicamente en el sistema de entibación como larguero).
- 20 parales de 4" x 4" x 1.80m (reconocido técnicamente en el sistema de entibación como puntal).

7.9. Protección colectiva

- Para la delimitación del área será necesario el uso de cinta de precaución.
- Botiquín.
- Extintor.
- Señalización.

Figura 50. **Ejemplo de delimitación de área de trabajo**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación, INDE. División de Planeación e Ingeniería.
Departamento de Líneas de Transmisión.

7.10. Metodología de trabajo

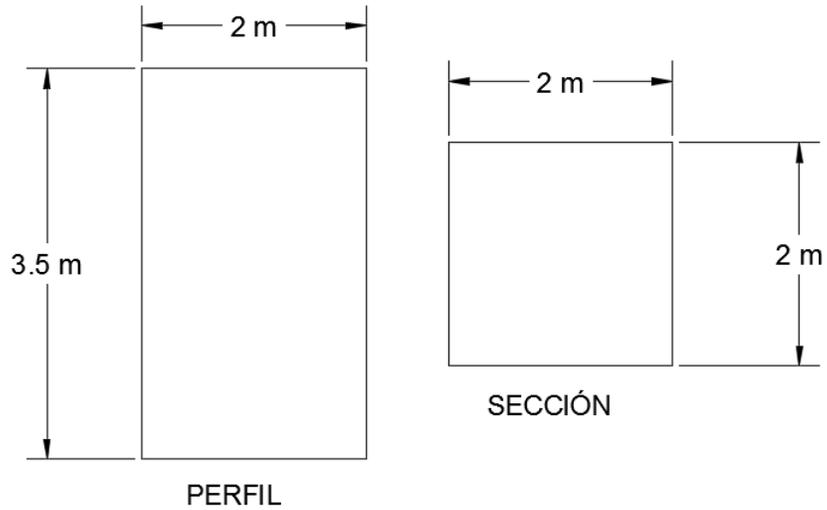
7.10.1. Trabajos previos

- Señalizar y delimitar área de trabajo.
- Impedir el paso a las personas ajenas a la ejecución del proyecto.
- Chequeo de calidad y cantidad necesaria de material en obra para realizar las entibaciones.
- Revisar anticipadamente los planos a utilizar, identificando instalaciones subterráneas existentes, en el lugar exacto.
- Realizar una inspección visual del terreno, anotando los riesgos que puedan darse en el entorno.
- Revisar que las condiciones del suelo sean las mismas que se establecieron en el estudio de suelos, y para el cual fue realizado el diseño de entibación. Para el reconocimiento del tipo de suelo en campo se realizan las pruebas establecidas por OSHA.
- Realizar la lista de comprobación realizada para los trabajos de excavación.
- Revisión del diseño del sistema de entibación.

7.10.2. Sistema de entibación

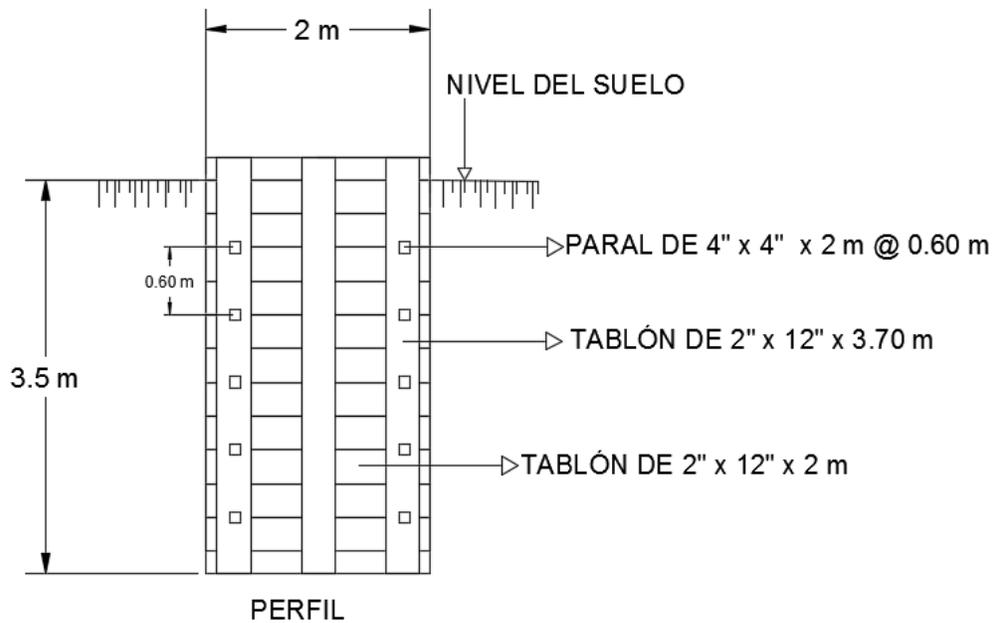
La excavación a realizar tiene dimensiones de 2 metros por 2 metros y 3,5 metros de profundidad, como se muestra en la figura 51. En el estudio de suelos se indicó que dichas excavaciones se realizarán en un suelo arenoso, con un empuje total de 0,20 kilogramos sobre centímetro al cuadrado, por lo que se propuso una entibación cuajada realizada con madera, como se observa en las figuras 52 y 53.

Figura 51. **Dimensiones de la excavación**



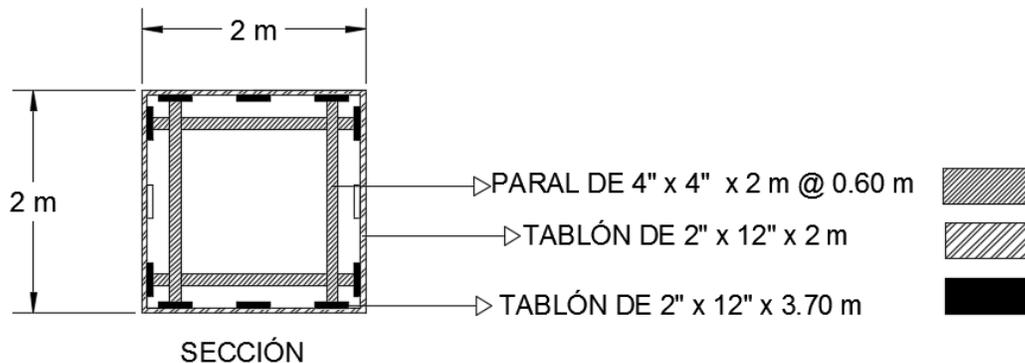
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Figura 52. **Perfil de sistema de entibación adoptado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

Figura 53. **Planta de sistema de entibación adoptado**

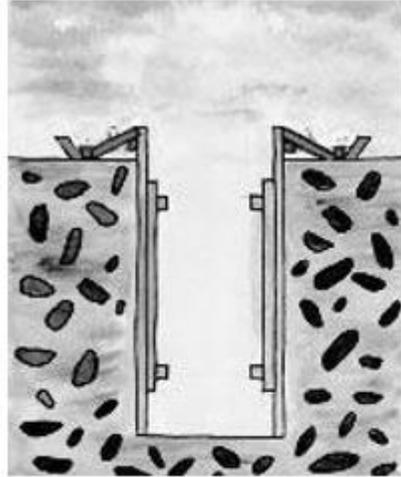


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2017.

7.10.2.1. **Montaje del sistema de entibación**

- Realizar la excavación según lo indicado en planos.
- Armar las paredes de la entibación en madera, fuera de la excavación. Esto comprende los tablonés de 2" x 12".
- Cada pared de la entibación puede ser colocada por un sistema de poleas, como polipastos, por la parte exterior, para que los trabajadores no se expongan a armar la entibación dentro. Las paredes de la entibación serán afianzadas en la parte superior de la excavación, mientras el sistema queda sujeto con los paraleles, como se muestra en la figura 54.

Figura 54. **Sistema de anclaje de las paredes de la entibación**



Fuente: OSHA. *Manual de seguridad laboral en construcción de obra civil*. P. 65

7.10.2.2. Desmontaje del sistema de entibación

- La entibación será retirada en sentido opuesto de cómo fue colocada

7.11. Anexos

Se anexa al plan de seguridad la lista de comprobación realizada antes de iniciar los trabajos, hoja modelo que se encuentra en el anexo I del presente trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

1. Llevar a cabo un plan de seguridad para analizar los riesgos y peligros al realizar las excavaciones para torres de transmisión eléctrica es la forma más eficaz para la prevención de riesgos de dichas actividades, ya que ordena los procesos constructivos, lo que ayuda a detectar fallas en el sistema, mitigando los riesgos y previniendo al personal involucrado.
2. La realización de las capacitaciones al personal que ejecutará las excavaciones son un inicio y un paso importante para la acción preventiva, que incentiva a los trabajadores a cumplir con los procedimientos de seguridad propuestos, haciendo conciencia que dichos procedimientos le protegen y ayudan a trabajar de una forma ordenada.
3. El conocimiento y correcta interpretación de los estudios realizados al suelo donde se llevarán a cabo las excavaciones, afianza y da seguridad al plan de mitigación de riesgos, ya que el suelo es un material complejo y variante, por lo que la persona competente que realiza dichos análisis tendrá grados de dificultad diferentes para cada trabajo de excavación.
4. Los sistemas de entibación realizados para las excavaciones de las cimentaciones de torres de transmisión eléctrica son la medida preventiva más importante en el análisis de riesgos y peligros, ya que obligan a la persona competente encargada de las excavaciones a realizar un estudio de suelos, analizar la profundidad de dichas excavaciones, hacer

un estudio del entorno e implementar los elementos y materiales adecuados.

5. El equipo de protección que se implementa para realizar las excavaciones es básico y fácil de adoptar en obra.
6. La señalización y delimitación del área de trabajo son medidas preventivas que, en los trabajos de excavación, mitigan los riesgos de daños a la propiedad que influyen en personas ajenas a la ejecución de dichas actividades.
7. Las listas de comprobación, como conjunto de documentos específicos que forman parte de los anexos de un plan de seguridad, ayudan a la ejecución de las medidas preventivas que se van a implementar para las excavaciones, ya que contienen los riesgos mínimos que deben ser evaluados en campo.

RECOMENDACIONES

1. El profesional competente, encargado de realizar el análisis de riesgos y peligros en excavaciones, debe poseer los conocimientos básicos de suelos para saber interpretar y adoptar las medidas preventivas necesarias.
2. Las entibaciones, como medios de protección contra los deslizamientos del suelo al realizar las excavaciones, deben ser supervisadas antes de iniciar los trabajos dentro de la excavación. Si los trabajos fueron suspendidos por un largo período de tiempo, estas entibaciones deben tener un grado de supervisión más alto.
3. Los trabajadores deben ser capacitados con tiempo anticipado. Estas capacitaciones deben ser constantes y, en la medida de lo posible, se deben ir corrigiendo los procedimientos preventivos que no han logrado el fin para el que fueron propuestos.
4. El equipo de seguridad que se implementa para la realización de las excavaciones debe estar certificado, según lo indicado por el ACUERDO GUBERNATIVO 229-2014, y los trabajadores deben utilizarlo de la manera correcta, por lo que es importante dar una inducción anticipada en que se expongan los riesgos que evitan tanto el equipo de protección como la forma adecuada de utilizar el mismo.

5. El análisis realizado, que se encuentra dentro del plan de seguridad, debe ser llevado a cabo tal y como está especificado, sin pasar por alto ninguna medida preventiva.
6. Cuando se llevan a cabo los trabajos de excavación, los análisis realizados no siempre se ejecutan en campo, esto debido a que los trabajadores no se adaptan a una cultura de seguridad y ven estas medidas como innecesarias, compensando esto por su alta experiencia en la realización de dichos trabajos. Es por eso que las listas de comprobación tienen un fin importante para la realización de los procesos analizados para mitigar los riesgos, ya que contienen la información necesaria para llevar a cabo un análisis de riesgos ordenado. Estas listas de comprobación deben realizarse todos los días antes de iniciar los trabajos, y no deben ser tomadas como una rutina de llenado de líneas, sino que deben ser tratadas según el fin para el que fueron realizadas.
7. Como respaldo legal y técnico, todos los procedimientos de prevención de riesgos para excavaciones de cimentaciones de torres de transmisión eléctrica deben regirse a las normativas de seguridad vigentes.
8. Para la realización de un plan de seguridad se deben investigar los procesos y técnicas preventivas a realizar, específicamente para los trabajos de excavación para la cimentación de torres de transmisión eléctrica, debido a que los análisis son distintos para cada tipo de cimentación que se realiza.
9. Cuando los trabajadores pongan resistencia a los procedimientos y uso de equipo de protección personal, la persona competente debe levantar

una sanción que quede por escrito, y debe ser capaz de tomar decisiones, como prohibirles entrar en el área de trabajo, si no adoptan las medidas preventivas dadas.

10. La supervisión es una actividad que debe ser llevada a cabo con responsabilidad, por lo que la persona encargada de esta debe tener pleno conocimiento del plan de seguridad realizado para mitigar los riesgos en excavaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). *Estudios geotécnicos y de microzonificación NSE 2.1-10*. Guatemala: AGIES 2010. Págs. 23-25
2. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5a ed. México: Limusa, 2005. 26 p.
3. DAS, Braja M. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thomson Learning, 2001. Págs. 56-578
4. HERNÁNDEZ ROSAS, Alma Nancy; MORALES PADILLA, Fabián. *Diseño de torres de transmisión eléctrica*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México, 2005. 18 p.
5. NTE ADZ. *Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Zanjas y pozos*. Guía de buenas prácticas. España, 1976. Págs. 1-5
6. NTP 278. *Prevención del desprendimiento de tierras*. Guía de buenas prácticas. España, 1989. Págs. 1-9
7. NTP 223. *Trabajos en recintos confinados*. Guía de buenas prácticas. España, 1989. Págs. 1-5

8. Real Decreto Español. *Evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción*. Guía Técnica. España, 24 de octubre 1997. Págs. 25-115

9. XOCOY CANÁ, Julio Roberto. *Prevención y control de riesgos en excavaciones temporales realizadas en la construcción de obra civil a través de sistemas de entibación en la República de Guatemala*. Trabajo de graduación, Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, junio de 2014. Págs. 23-87

ANEXOS

Lista de comprobación

Excavaciones - Inspección diaria

Fecha: _____

Información inicial

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Condiciones climáticas: _____

Tipo de suelo: _____

Profundidad de la excavación: _____ metros

Longitud: _____ metros Ancho : _____ metros

Tipo de sistema de protección: _____

Se cuenta con persona competente para dar primeros auxilios: Si No

Los trabajadores se han capacitado para realizar excavaciones de forma segura: Si No

Protección colectiva

Delimitación y señalización del área de trabajo: Si No

Elementos de entibación:	Madera	<input type="checkbox"/>	Buen estado:	<input type="checkbox"/>	No aplica	<input type="checkbox"/>
	Metálica	<input type="checkbox"/>	Mal estado:	<input type="checkbox"/>		

Escalera:	Madera	<input type="checkbox"/>	Buen estado:	<input type="checkbox"/>	No aplica	<input type="checkbox"/>
	Metálica	<input type="checkbox"/>	Mal estado:	<input type="checkbox"/>		

Botiquín de primeros auxilios: Si No

Equipo de medición de gases:	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	No aplica	<input type="checkbox"/>
	Buen estado:	<input type="checkbox"/>	Mal estado:	<input type="checkbox"/>		

Estructura de izaje para subir y bajar material:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	

Protección individual

Casco con barbuquejo:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Calzado de seguridad adecuado:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Gafas protectoras:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Guantes mecánicos:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Ropa de trabajo:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Mascarilla para protección respiratoria:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Orejeras para protección auditiva:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Arnés y línea de vida:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	
Chaleco con alta visibilidad:	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	No aplica <input type="checkbox"/>
	Buen estado: <input type="checkbox"/>	Mal estado: <input type="checkbox"/>	

Excavación	SI	NO	NA
Materiales, tierra excavada, herramientas o equipo se encuentra a una distancia apropiada para no crear sobreesfuerzos en las paredes de la excavación (la distancia a partir del bolder de la excavación será como mínimo, la mitad de la profundidad de la excavación y mayor 2 pies, para suelos arenosos esta distancia será igual a la profundidad de la excavación).			
Empleados protegidos contra tierra o rocas sueltas.			
Se tiene establecido un sistema de alerta cuando hay equipo móvil trabajando cerca del borde de la excavación.			
Se ha protegido y delimitado el área de trabajo.			
Se ha revisado la estructura de izaje para subida y bajada de material excavado.			
La escalera se encuentra fija en la parte superior e inferior y sobresale de la superficie 3 pies.			

Excavación	SI	NO	NA
Se ha establecido un método de protección adecuado en función al tipo de suelo.			
La entibación es retirada en el sentido opuesto de como fue colocada.			
Servicios públicos	SI	NO	NA
Se tiene la localización exacta de los servicios públicos que pueden afectar la excavación.			
Instalaciones subterráneas protegidas.			
Condiciones de humedad	SI	NO	NA
Precaución tomada para proteger a los empleados de la acumulación de agua.			
Equipo de remoción de agua supervisado por una persona competente.			
Agua de la superficie controlada o desviada.			
Inspección realizada despues de cada tempestad.			
Atmósfera peligrosa	SI	NO	NA
La atmósfera es evaluada cuando hay posibilidad de deficiencia de oxígeno o acumulación de gases peligrosos			
El contenido de oxigeno oscila entre 19.5% y 21%.			
Ventilación apropiada para prevenir la acumulación de gases inflamables a 20% del limite explosivo mas bajo de gas.			
Se hicieron pruebas para asegurarse de que la atmosfera sigue siendo segura.			
Equipo de respuesta a las emergencias disponible fácilmente donde una atmósfera peligrosa podría existir o existe.			
Empleados estan capacitados en el uso del equipo de protección personal y de respuesta de emergencias.			
El arenés de seguridad y cuerda de vida son utilizados cuando los empleados entran a una excavación confinada profunda.			

Explicación y dibujo del método de protección a implementar:

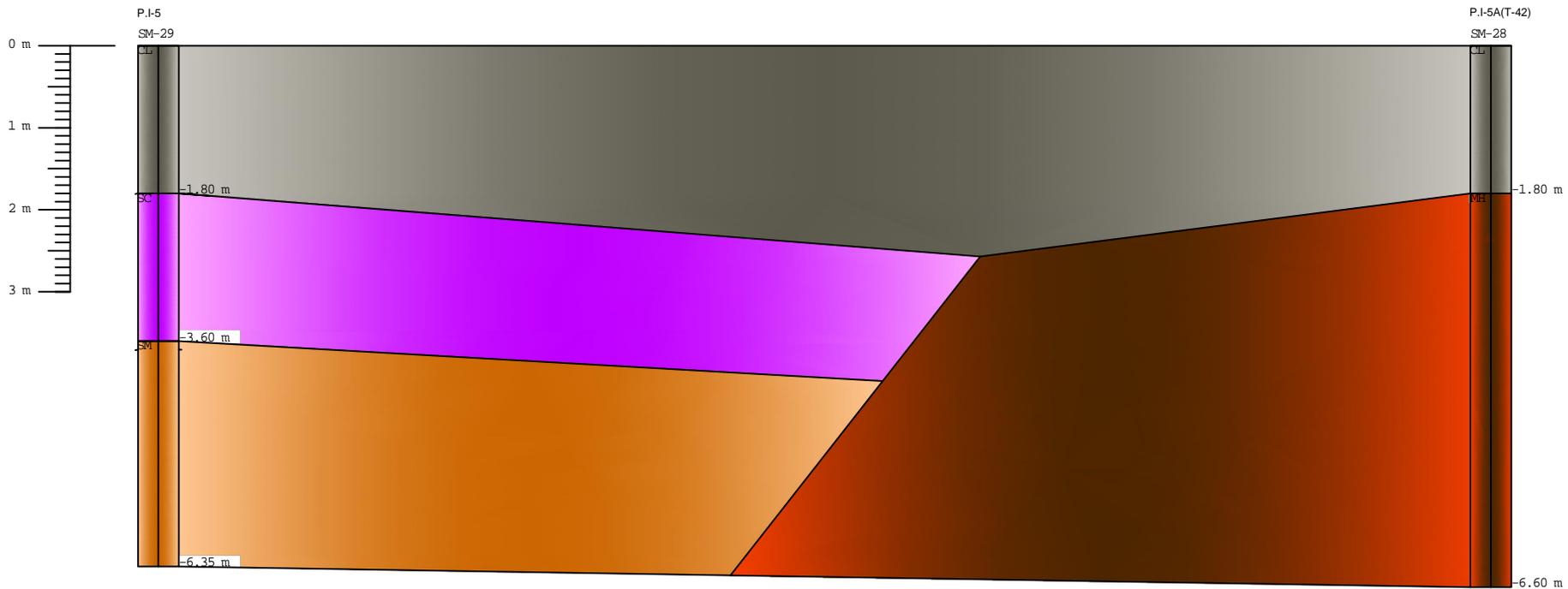
Observaciones:

	SI	NO
¿Se han explicado a los trabajadores las condiciones anteriormente analizadas?		
¿Han entendido los trabajadores la forma de realizar el trabajo de excavación con los procedimientos preventivos explicados?		

Firma del Tecnico de Prevención de Riesgos

Firma del Jefe de Cuadrilla

Fuente: elaboración propia, basada en "Guía para la inspección diaria de Trincheras y Excavaciones" de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés).




PÉRFIL ESTRATIGRAFICO Y ZONIFICACIÓN GEOTECNICA

PROYECTO: PROYECTO LT 400 KV INTERCONEXIÓN
GUATEMALA - MEXICO.

DEPARTAMENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
DIVISIÓN DE PLANEACION E INGENIERIA
INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN
INDE